

Étude de la fatigue auditive et de l'écologie sonore des œuvres interactives

Antoine ZAKRZEWSKI

Tuteur de thèse : Guillaume Tiger

Mastère Spécialisé IDE - Session 2021-2022



Résumé

L'ambiance sonore est charnière dans la création d'environnements interactifs.

Portail vers l'imagination, on demande beaucoup à cette dernière pour réussir l'immersion et la transmission d'information aux joueur·euses. Est-il possible que toutes ces tâches demandées au son dans les jeux vidéos causent un trop-plein ? En clair, quand est ce que l'environnement sonore d'un jeu vidéo provoque la fatigue auditive et va nuire à l'expérience d'un·e joueur·euse ? En s'appuyant sur les principes de l'écologie sonore et en les appliquant à des environnements sonores d'œuvres interactives, nous allons étudier la fatigue auditive dans les jeux vidéo, instaurant les limites du design sonore informatif et le rôle du silence dans les jeux vidéo.

Mots-clés : Jeux vidéo, fatigue auditive, écologie sonore, environnements sonores, oeuvres interactives, design sonore, design sonore informatif, silence.

Abstract

The sound atmosphere is pivotal in the creation of interactive environments. Portal to the imagination, we ask a lot of the latter to succeed in the immersion and the transmission of information to the players. Is it possible that all these tasks required of sound in video games cause an overflow? When does the soundscape of a video game cause auditory fatigue and will affect a player's experience? Based on the principles of sound ecology and by applying them to the soundscapes of interactive media, we are going to study auditory fatigue in video games, establishing the limits of informative sound design and the role of silence in video games.

Keywords : Video games, auditory fatigue, soundscape ecology, interactive media, informative sound design, silence.

Remerciements

Je tiens à remercier mon tuteur Guillaume Tiger, qui a su me suivre durant toute la thèse professionnelle et poser les questions qu'il fallait poser pour me débloquer et m'aiguiller vers la bonne voie.

Merci à toute l'équipe pédagogique des Gobelins - L'école de l'Image et du CNAM-ENJMIN pour leur suivi et les cours proposés, et en particulier merci à Stéphanie Mader et Vincent Caruso pour leur soutien et accompagnement.

Merci à toute l'équipe de la La chaire Science et Jeu vidéo qui a su m'accueillir dans leur équipe lors du développement de leur jeu tout en me donnant du temps pour écrire cette thèse professionnelle. Merci Catherine Rolland pour ta double casquette et tes conseils bienvenus.

Merci à la promotion IDE 2021-2022, l'ambiance de partage, les coudes serrés et les liens créés tout au long de l'année ont su me motiver à finir cette thèse. Merci à toutes les discussions qu'on a eu sur les sujets qui nous passionnent aujourd'hui, merci au temps passé à faire des jeux ensemble, je referais volontiers une autre année avec vous.

Je tiens à mentionner aussi Léo Mirland ici. Merci Léo, tu as su réveiller ma curiosité sur la place du silence dans les jeux vidéo lors de nos différentes discussions et qui a lancé ce sujet de thèse professionnelle.

Enfin, merci à toutes les personnes qui ont pu me donner un soutien affectif et la motivation de terminer l'écriture de cette thèse professionnelle. Vraiment, merci.

Table des matières

I. Introduction	7
II. Etat de l'art	9
A. Le Sound Design informatif et immersif	9
Aspects fonctionnels et immersifs du son	9
Sonification	10
Icônes auditifs	11
"Earcons"	12
La parole	13
Peut-on jouer sans son ?	14
B. La fatigue auditive et le silence	16
C. Environnements et écologie sonore	18
Environnements sonores	18
Principes d'évaluation d'un environnement sonore	21
Mesures sur le terrain	21
Provenance du son	23
D. Sur la perception et le lexique sonore	25
Lexique sonore	26
Sons abstraits	26
Mesures qualitatives et viabilité dans le son	30
E. Attention sélective auditive et fatigue auditive	31
III. De l'environnement sonore d'une oeuvre interactive	32
A. L'environnement sonore d'une oeuvre interactive	32
B. La fatigue auditive d'une oeuvre interactive	35
IV. Quels environnements sonores sont nocifs pour l'expérience d'un jeu ?	36
A. De la difficulté à qualifier le son pour un·e joueur·euse	36
Sur le rapport aux sons informatifs et immersifs	38
L'absence de son est-elle dommageable ?	40
Critique de ces tests du jeu	41
B. La fatigue auditive et l'écologie sonore des oeuvres interactives	43
Densité sonore	44
Dynamique	46
Qualité du son et interprétation	50
L'argument de la direction artistique	52
De la fatigue auditive dans la production de jeux vidéo	53
Critique de ces entretiens	55
V. Un pas vers l'accessibilité et la création d'outils	56
Outils de mesures aux designers	58
Outils d'accessibilité aux joueur·euses	59

VI. Conclusion	60
Références	64
Annexes	70

I. Introduction

Lors de nos discussions avec un ami sur nos derniers jeux vidéos joués et appréciés, il nous arrive souvent de nous plaindre du son dans ces derniers. Rarement parce que le son n'est pas de notre goût, mais plutôt car il nous provoque une certaine fatigue. Après avoir fait ce constat plusieurs fois, nous nous sommes rendus compte que cette question de la fatigue auditive n'est pas assez soulevée dans les jeux vidéo.

Lorsque l'on joue à un jeu, nous nous devons de décortiquer les sons qui nous parviennent pour en sortir les informations qui sont utiles à l'avancement dans ce dernier et se défausser de celles qui ne le sont pas. Cette action de décorticage peut très bien être mise en parallèle avec des moments de la vie quotidienne d'un humain. Dans notre vie de tous les jours, cette écoute active peut entraîner une saturation lorsqu'elle est prolongée dans le temps, accélérée par différents paramètres. Cette saturation est aussi appelée fatigue auditive. Est-ce que les jeux sont aussi capables de créer cette fatigue auditive ? En effet, aujourd'hui, aucune recherche scientifique n'a été faite sur le lien entre jeux vidéo et fatigue auditive. Cependant, une discipline côtoie souvent ce terme, c'est l'écologie sonore¹ des environnements quotidiens humains. Si nous arrivons à prouver que les jeux sont des environnements auxquels sont appliqués les principes de l'écologie sonore, nous pourrions prouver que la fatigue auditive est causée dans les jeux vidéos, ce qui sera la première étape de cette thèse professionnelle. En seconde étape, nous appliquerons certaines des lignes directrices de l'écologie sonore pour combattre cette fatigue auditive, tout en prenant en compte les différences entre les environnements sonores des œuvres interactives et de la vie quotidienne à travers des entretiens de designers sonores de l'industrie.

De nos jours, les jeux sont plus grands. Plus grands dans leur narration, plus grands dans leurs ambitions. Il y a quelques décennies, entrevoir la possibilité de narrer ces

¹ ———. "Soundscape Ecology." Wikipedia, July 18, 2022.
https://en.wikipedia.org/wiki/Soundscape_ecology.

mondes interactifs si grands et précis n'était qu'un rêve, mais aujourd'hui les choses ont changé. Dans cette envie de donner plus aux joueur·euses, nous sommes arrivés aujourd'hui à avoir des environnements interactifs et denses. Dans cet écosystème d'œuvres interactives denses en informations, les œuvres où le silence joue un rôle prépondérant, où les moments de calmes sont plus calmes et les moments intenses sont plus intenses, arrivent à se frayer un chemin élégant, maîtrisé. Au-delà des questions d'écologie sonore, il sera intéressant aussi de s'intéresser à la valeur artistique du silence dans les jeux vidéo, car contrairement à la vie quotidienne, il est plus évident de classer certaines œuvres interactives comme étant artistiques, et le silence a sa place dans cet apport artistique. Nous allons pouvoir, encore une fois à travers les entretiens et pratiques liées à l'écologie sonore, donner une valeur à la puissance artistique du silence face au bruit dans les jeux vidéos.

II. Etat de l'art

Le son est un élément important d'un jeu vidéo. Longtemps utilisé principalement pour augmenter l'immersion des joueur·euses, il a aujourd'hui aussi la tâche de tenter d'aider à la compréhension. L'augmentation de ses tâches est-elle synonyme de trop-présence du son dans les jeux ? Pour voir cela, nous avons quelques définitions à donner pour pouvoir lier écologie sonore et jeux vidéo.

A. Le Sound Design informatif et immersif

Quel est le rôle du son dans une œuvre interactive ? A-t-il un rôle informatif ? Immersif ? Est-il indispensable ? Répondre à ces questions permettra de poser les bases et de comprendre face à quels besoins la discussion sur la fatigue auditive dans les œuvres interactives va exister.

Comprendre la fonction du son dans les jeux est intimement lié à comprendre les origines des jeux vidéo et autres oeuvres interactives : 1) Des systèmes qui sont centrés sur l'ergonomie, et 2) des mondes fictifs qui sont centrés sur le sentiment d'appartenance et d'immersion ².

Aspects fonctionnels et immersifs du son

Le *Design Sonore Informatif* est essentiel à la production de meilleurs jeux vidéo modernes. Il va en effet aider à réduire le travail des informations visuelles à l'écran en en portant les

² Kristine Jørgensen. "On the Functional Aspects of Computer Game Audio," 2006.

plus possible. L'ouïe n'est pas le sens humain le plus développé mais arrive bien en seconde place, donnant une idée de son importance dans un monde virtuel (fig 1).

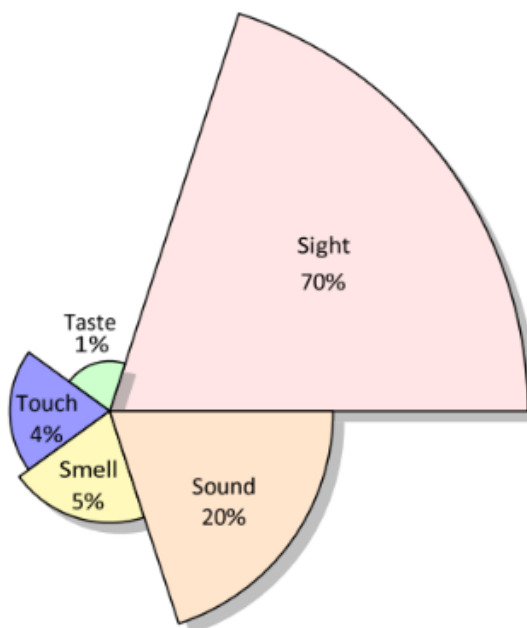


Fig 1 : Comparaison de l'importance des sens humains ³

Sonification

La plupart du temps, les développeur·euses utilisent le son avec l'aide des visuels, formant un lien entre les deux. Cette technique est appelée *sonification*⁴. Une des plus grandes difficultés de cette technique est la précision, chaque son doit être travaillé précisément en lien avec ses visuels pour que le lien soit compris. Le travail de sonification est aussi très lié à ces visuels. Par là on entend que les joueur·euses vont avoir tendance à faire des associations instantanées avec les expériences qu'ils ont déjà vécues, dans la vie ou dans d'autres expériences interactives. Moins le joueur a de travail à faire, mieux c'est, plus il est sûr d'avoir l'information. On voit déjà ici des problématiques d'informations plus ou moins

³ Schroeder, Ralph. *Possible Worlds: The Social Dynamic of Virtual Reality Technology*, 1996.

⁴ ———. "Informative Sound Design in Video Games." In *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment Matters of Life and Death - IE '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. <http://dx.doi.org/10.1145/2513002.2513015>.

difficiles à traiter pour les joueur·euses, point sur lequel nous reviendrons ensuite. Capter l'attention des joueur·euses aux bons moments et ne pas avoir d'informations "bruits" est aussi très important pour la réussite d'un son fonctionnel.

L'information portée par le son et l'image peut-être :

- *Complémentaire*, c'est-à-dire que le son et l'image donnent des informations différentes mais toutes utiles.
- *Contradictoire*, c'est-à-dire que le son et l'image donnent des informations opposées aux joueur·euses.
- *Redondante*, c'est-à-dire que le son et l'image donnent la même information.

Les utilisateur·rices vont avoir plus de mal à comprendre lorsque les informations sont contradictoires. Les informations redondantes sont intéressantes dans le cas de l'accessibilité, certaines personnes n'utilisent pas le son, ou l'image.

Icônes auditifs

Une icône auditive est un schéma sonore visant à répliquer ou se rapprocher d'un son pour donner l'information liée à un objet réel. On peut rapprocher son objectif à celui de l'affordance. La plupart des propriétés sonores des objets du monde réel sont connues des joueur·euses, demandant moins de travail au joueur à reconnaître. Par exemple, marcher avec des bottes sur un sol doit nous donner l'information sur le type de sol sur lequel on marche, pour augmenter l'immersion ici, mais aussi en fonction du type d'œuvre interactive, aider le joueur à prendre une décision. On peut avec ces icônes auditives aider le·la joueur·euse de différentes façons⁵ :

⁵ James Robb. "An Exploration of Informative Sound Design in Video Games," 2015.

- *Événements physiques* : Les événements parfois hors de l'écran qui changent les données des objets/actions des joueur·euses, comme lancer un vase qui se brise pour laisser un collectible par terre, hors de l'écran.
- *Événements invisibles* : Des structures invisibles (donc sans informations visuelles) peuvent agir sur les joueur·euses, et l'information peut être portée par du son.
- *Changements dynamiques* : Par exemple le remplissage d'une gourde d'une ressource limitée pour les joueur·euses. A quel point elle est remplie devrait être indiqué aux joueur·euses lors de son remplissage.
- *Spatialité* : Les joueur·euses doivent reconnaître d'où un événement provient.
- *Non-fonctionnement* : Quand un objet interactif ne fonctionne pas, l'information doit être donnée au joueur·euse quand il tente de l'activer.
- *Immersion* : Donner des informations sur les émotions portées par le lieu ou le moment dans lequel se trouve le·la joueur·euse.

Souvent, ces icônes auditives sont créées à partir d'enregistrements naturels, appelés *foleys*, les liant directement à leur contreparties réelles.

“Earcons”

Des earcons⁶ (mélange entre les mots anglais *icon* et *ear*), contrairement aux icônes auditives, sont des sons qui n'ont pas de précédent contexte pour les joueur·euses et qui ne peuvent donc pas être reliés instinctivement par les joueurs à des expériences précédentes. Ces earcons sont créés à partir de motifs musicaux, mélangeant rythme, timbre et pitch pour créer de nouveaux sons. Ces nouveaux sons synthétiques vont être plus complexes et

⁶ Stephen A. Brewster, Peter C. Wright and Alistair D. N. Edwards. “A Detailed Investigation into the Effectiveness of Earcons,” 1997.

riches en information pour le joueur, qui ne peut pas les reconnaître instantanément. On peut penser aux pings dans les jeux multijoueurs comme Apex : Legends⁷, mais aussi et plus simplement à la musique de fond d'un jeu. Les propriétés immersives de la musique dans les jeux ne sont plus à prouver, mais on peut souligner des cas spéciaux où cette dernière donne des informations aux joueur·euses, comme passer d'une musique plutôt calme à une musique d'action pour indiquer l'arrivée d'ennemis par exemple.

Les earcons répondent aux mêmes besoins que les icônes auditives. *Événements physiques, Événements invisibles, Changements dynamiques, Spatialité, Non-fonctionnement, Immersion.*

Les earcons ont contrairement aux icônes auditives besoin d'être appris par les joueur·euses. L'apprentissage de l'information par le·la joueur·euse est plus difficile évidemment et demande plus de travail aux joueur·euses, un point qui pourrait amener vers une certaine *fatigue*.

La parole

La troisième manière de donner de l'information aux joueur·euses avec le son est la parole, les voix. Ce moyen paraît assez évident à première vue, mais au final peut coûter cher aux développeurs tant il est complexe et amène évidemment des problèmes de traduction. La parole est un bon moyen pour donner de l'information au joueur sur des points plus abstraits et précis du jeu. Dans des situations où le nombre d'informations à donner au joueur est trop élevé pour qu'elles soient distinguées ou souvenues, la parole peut apporter beaucoup, l'information portée n'a pas besoin d'être décodée par les joueur·euses, elle est directe, l'effort cognitif est faible.⁸ Par exemple, dans les FPS, la parole va donner des

⁷ Apex : Legends. Respawn Entertainment / EA, 2019.

⁸ Ng, Patrick, and Keith Nesbitt. "Informative Sound Design in Video Games." In *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment Matters of Life and Death - IE '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. <http://dx.doi.org/10.1145/2513002.2513015>.

informations sur où le joueur doit aller sans briser l'immersion du champ de bataille. Dans les Real Time Strategy (RTS), les informations liées à la parole sont fondamentales sur les changements de statut des unités.

Le grand défaut de la parole est sa longueur. Une information donnée à travers la parole va peut-être être plus facilement comprise par le joueur, mais elle va prendre plus de temps à être donnée, brisant parfois le rythme du jeu ou même pire, donnant l'information avec du délai sur ce qu'il est en train de se passer à l'écran.

Peut-on jouer sans son ?

“Dans la plupart des cas, un mauvais design sonore est plus dommageable que pas de son du tout”⁹. Est-ce que cette phrase est vraie ? On va s'intéresser dans cette petite parenthèse aux limites du design sonore dans les œuvres interactives et à la possibilité de jouer sans le son, pour relativiser les points précédents. *Kristine Jorgensen* a travaillé sur une thèse très intéressante autour de ce sujet que nous allons utiliser pour développer ce point. Cette personne a proposé à des joueur·euses de jouer à plusieurs jeux (*Warcraft III*¹⁰ et *Hitman Contracts*¹¹, un RTS et un jeu d'infiltration) avec puis sans son pour comparer les réactions face à cette différence¹².

Des exemples de points intéressants que *Kristine Jorgensen* a soulevés lors de ces expérimentations :

⁹ Benjamin Kenwright. “There’s More to Sound Than Meets the Ear: Sound in Interactive Environments,” 2020.

¹⁰ *Warcraft III*, 2002.

¹¹ *Hitman Contracts*, 2004.

¹² Kristine Jorgensen. *Left in the Dark: Playing Computer Games with the Sound Turned Off*, 2008. /Collins, Karen. *From Pac-Man to Pop Music: Interactive Audio in Games and New Media*. Routledge, 2017.

- Sans le son, les joueur·euses ont tendance à refaire plusieurs fois l'action et à confirmer deux fois pour être sûr de la résolution de leur demande.
- Sans son, leur temps de réaction augmente (baissant leur "performance" dans des jeux demandant performances)
- Ils se sentent moins immergés dans le jeu, moins connectés émotionnellement, moins investis, comme si sans le son, l'expérience immersive ne l'était plus. On ne joue plus à un jeu vidéo, "juste" à un jeu de société.
- Même si beaucoup d'informations disparaissent sans le son, beaucoup de distractions aussi. Les joueur·euses jouent d'une manière plus systématique sans le son, la concentration sur des tâches précises était plus facile.
- Dans des situations plus chaotiques, le son peut devenir un frein à la compréhension et la concentration.
- Les conséquences de l'absence de son sont différentes en fonction du type de jeu joué. Par exemple, un jeu de rythme va être évidemment beaucoup plus complexe qu'un jeu d'action sans son. Cependant, un jeu de type RTS est plus facilement jouable sans son. Les joueur·euses vont devoir adapter leur attention et leur façon de récupérer les informations, mais réussiront mieux à se concentrer après quelques utilisations.

Il est donc possible de jouer à un jeu sans son (dans le cas plus extrême, les personnes sourdes jouent très bien aux jeux), mais on voit des différences dans la façon de jouer. Le son peut apporter de la rapidité dans la délivrance de l'information pour les joueur·euses, et lui donner beaucoup plus d'immersion. Les joueur·euses se détachent du jeu lorsque l'ambiance sonore disparaît, pour le transformer en "tâche". Cependant, la présence de son peut empiéter sur la concentration du joueur dans les cas où le nombre d'informations et de sons augmente. Des distractions peuvent apparaître aussi aux

joueur·euses. Toutes ces choses pourraient peut-être apporter une certaine *fatigue* aux joueur·euses.

On a vu les différents moyens de donner de l'information au joueur et de l'aider dans son immersion. On a aussi pu remarquer qu'en fonction du type de son (icônes auditives et voix contre earcons), les joueurs ont besoin de plus ou moins de travail pour les appréhender et comprendre leur signification. Plus de travail voudrait-il dire qu'une *fatigue* se crée ? Ce sujet n'a pas assez été étudié dans le monde des œuvres interactives, il est cependant intéressant de faire ce lien. Mais d'abord, qu'est ce qui causerait cette *fatigue auditive* ?

B. La fatigue auditive et le silence

Nous allons tenter de prouver dans ce papier que les jeux vidéo sont susceptibles d'apporter de la fatigue auditive aux joueur·euses. Mais comment est définie la fatigue auditive ? La fatigue auditive est une diminution temporaire de la sensibilité de l'oreille après une exposition sonore.¹³ La fatigue auditive est réversible, mais, si elle se répète trop souvent, elle peut provoquer une surdité progressive ou d'autres problèmes auditifs. On pense souvent ici aux musicien·nes ayant fait trop de concerts et souffrant plus tard dans leur vie d'acouphènes par exemple. Il est à noter que la fatigue auditive peut-être augmentée par des paramètres précis que nous verrons plus tard, mais par la simple exposition sonore continue, l'individu peut-être sujet à cette fatigue sonore. Il est aussi à noter que la fatigue auditive n'est pas définie par une simple intensité sonore trop élevée (qui peut provoquer des douleurs instantanées évidemment, voire plus), mais ce paramètre est un des paramètres qui constituent la liste.

¹³ Monikheim, Sabine. *Etude Psychoacoustique de La Fatigue Auditive à Court Terme*, 1991.

De nombreuses études ont travaillé sur les causes en précisant les différentes expositions sonores amenant à cette fatigue auditive. La fatigue auditive est présentée et étudiée dans beaucoup de milieux, souvent industriels, bruyants et redondants, et évoque une perte de concentration et de bien-être face à cette dernière.¹⁴ Ce dernier point va intéresser les développeur·euses de jeux précisément. Tout ce que souhaite un·e développeur·euse, c'est garder les joueur·euses dans sa paume. La perte de concentration, d'immersion peut très vite être égale à perte de rétention.

La fatigue auditive peut-être mesurée de manière très précise dans des environnements non-interactifs, comme nous montre *Chen (2007)*¹⁵.

“Les gens peuvent ressentir une perte mesurable de sensibilité auditive lorsqu'ils restent dans une zone bruyante, mais ils se rétablissent quelque temps après être retournés dans un environnement calme. Ce phénomène peut être mesuré comme un décalage des seuils audiométriques, et est appelé un décalage de seuil temporaire induit par le bruit (TTS), ou fatigue auditive”.

Ce seuil est calculable, et pourrait être utile à la création d'outils pour calculer la fatigue auditive. J'appuie bien ici que toutes les références sur la fatigue auditive n'existent que dans le cadres d'expériences ancrées dans le “réel” et non des oeuvres interactives, les différences peuvent être importantes (même si nous n'avons pas encore prouvé qu'une oeuvre interactive est sujette à la fatigue auditive pour le moment, nous y arrivons).

¹⁴ Lan Hing Ting, Karine . *Ecouter Le Bruit Au Travail : Le Cas Des Centres d'appels et Des Péages d'autoroute.*, 2013.

¹⁵ Chen, Chiou-Jong, Yu-Tung Dai, Yih-Min Sun, Yi-Chang Lin, and Yow-Jer Juang. “Evaluation of Auditory Fatigue in Combined Noise, Heat and Workload Exposure.” *Industrial Health* 45, no. 4 (2007): 527–34. <https://doi.org/10.2486/indhealth.45.527>.

Face à la fatigue auditive se trouve le silence. Nous ne sommes jamais vraiment au calme, le bruit nous entoure tout le temps. Notre corps humain est bruyant. Définir le silence commun est une tâche très difficile. Il semble être un concept très terre à terre, le silence étant le “0” du son, mais si l’on regarde du côté de la technique on se rend très vite compte de la complexité de la tâche. Le seuil de 0 db est défini comme suit : *“Il correspond au niveau de pression acoustique minimal pour qu’un son puisse être perçu de nos oreilles. À ces faibles niveaux, nous captons les sons provenant de notre propre corps (articulations, battements de cœur, circulation sanguine, etc.) ce qui peut être déstabilisant.”*¹⁶ On voit donc ici que même dans le “silence”, l’humain est entouré de sons. Alors qu’est ce que le silence ? Ne considérons-nous pas un moment calme à la campagne entouré de bruits de feuilles et de quelques gazouillis comme le silence ? Quelle est la différence avec des oiseaux bruyants et des klaxons tout aussi bruyants ?

Pour mieux définir le silence et le “trop de son”, nous allons devoir nous intéresser aux différents environnements sonores que l’humain côtoie dans sa vie, et ce qu’est un environnement sonore, car le silence n’est qu’une interprétation de notre environnement sonore par nous-mêmes.

C. Environnements et écologie sonore

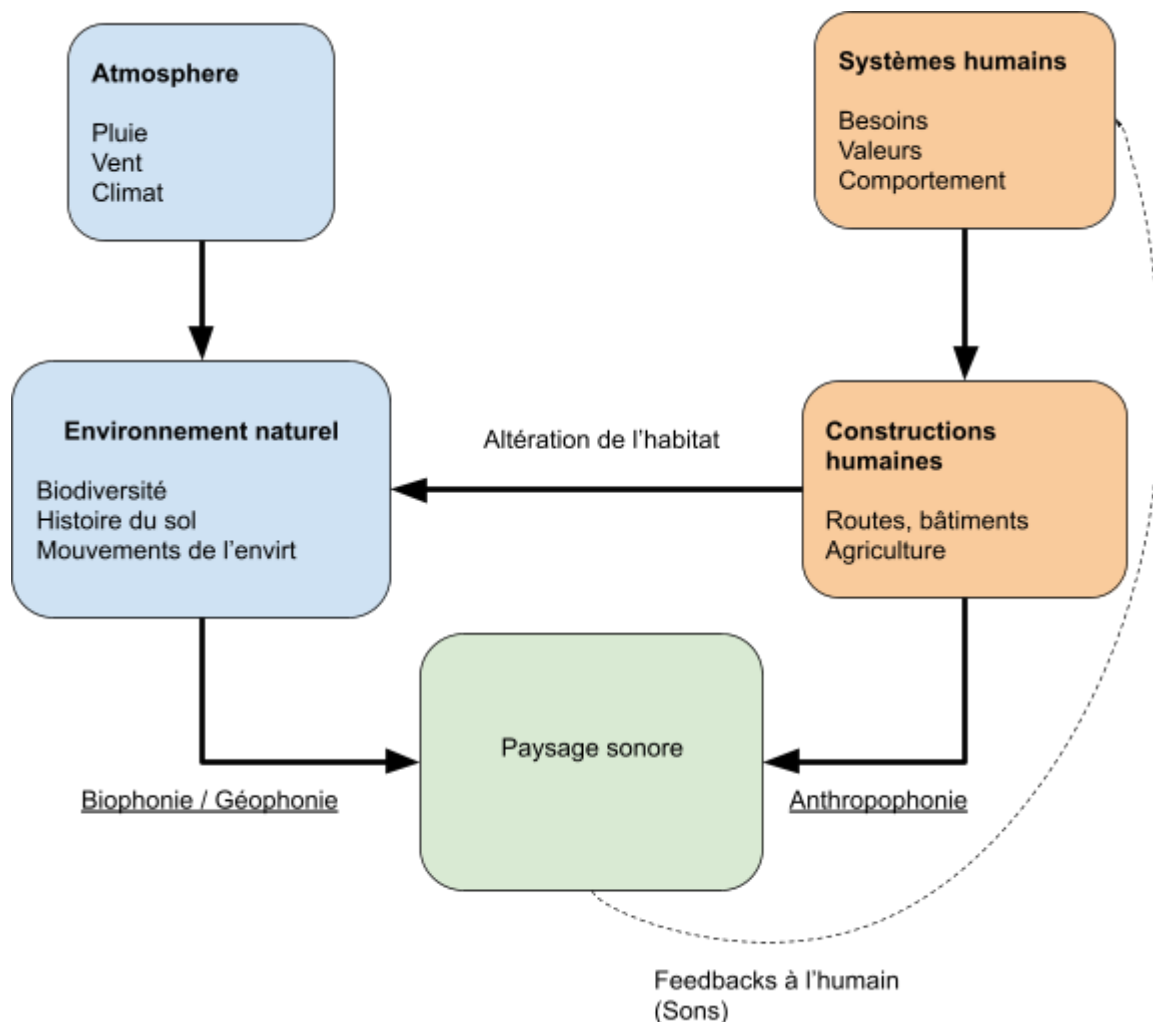
Environnements sonores

L’écologie sonore des environnements (ou paysages) quotidiens de l’humain est un sujet étudié dans l’urbanisme notamment. La musique, les sons et bruits qui nous entourent peuvent être considérés comme des territoires spatiaux et temporels qui vont influencer sur

¹⁶ “L’échelle Des Décibels.” Accessed October 31, 2022.
<https://www.bruitparif.fr/l-echelle-des-decibels/>.

notre vision sociale et interactive du monde que l'on traverse.¹⁷ Le climat, les transformations des espaces de vie humains, les changements de biodiversité, l'activité humaine autour de ces espaces sont tous des exemples de paramètres qui vont entrer en compte dans la compréhension et l'interprétation d'un environnement dynamique sonore pour un humain.

Au-delà des limites physiologiques humaines (la douleur au niveau des tympans par exemple), l'interprétation des sons qui nous entourent va décider grandement de notre fatigue auditive dans cet environnement.



¹⁷ Atkinson, Rowland. "Ecology of Sound: The Sonic Order of Urban Space." *Urban Studies* 44, no. 10 (September 2007): 1905–17. <https://doi.org/10.1080/00420980701471901>.

fig. 2 Représentation d'un paysage sonore (très fortement référencé par Farina, Almo¹⁸)

Un paysage sonore est constitué de plusieurs actions liées ou non à l'humain (voir fig.2). Cette figure simplifiée ne garde ici que les choses qui vont nous intéresser pour la suite. L'environnement dit naturel a sa biodiversité qui est régulée par l'atmosphère l'entourant. Cet environnement produit des sons indépendamment de la présence d'humains ou non. Nous appellerons par simplification tous ces sons *biophonie*¹⁹ ou *géophonie*²⁰, la nuance peut être importante mais pas ici. De l'autre côté se trouve l'humain. Par ses besoins, valeurs et comportements il va construire routes et bâtiments, produire, etc. Ces constructions humaines vont produire des sons très spécifiques, appelés *anthropophonie*²¹. L'addition de ces sons anthropiques et biophones va créer le paysage (l'environnement) sonore humain sur lequel les principes d'écologie sonore vont être appliqués. On remarque sur cette figure que l'action humaine va directement modifier l'environnement naturel, agissant même (débordant pourrions-nous dire) sur la biophonie. Ce paysage sonore, empli de sources différentes, va ensuite revenir directement à nos oreilles, modifiant notre compréhension de ce dernier.

Un point récurrent dans l'écologie sonore est que l'intrusion grandissante des activités humaines dans les écosystèmes durant les dernières décennies a grandement augmenté la présence d'environnements naturels dit "fragmentés"²². Les environnements sonores, les paysages (comme les parcs ou les petits bois par exemple), sont aujourd'hui utilisés comme régulateurs de sons dans des zones urbaines denses, et aussi comme terrains d'études sur leur utilité.

¹⁸ Farina, Almo. "Soundscape and Landscape Ecology." In *Soundscape Ecology*, 1–28. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1.

¹⁹ <https://fr.wiktionary.org/wiki/biophonie>

²⁰ <https://fr.wiktionary.org/wiki/g%C3%A9ophonie>

²¹ <https://fr.wiktionary.org/wiki/anthropophonie>

²² Roberto Benocci, Giovanni Brambilla, Alessandro Bisceglie and Giovanni Zambon. "Sound Ecology Indicators Applied to Urban Parks: A Preliminary Study," 2020.

Principes d'évaluation d'un environnement sonore

Un environnement sonore est étudié acoustiquement (son spectre par exemple), temporellement (ses schémas qui peuvent se répéter) et spatialement. L'étude de l'écologie sonore va consister à conserver ce paysage sonore, comme on pourrait conserver un paysage naturel. Mais le conserver face à quoi ? A partir de quel moment considère-t-on un paysage sonore comme étant nuisible à l'expérience humaine ?

Le champ d'étude de l'écologie sonore est né de 4 principes qui peuvent nous intéresser ²³:

1. La psychoacoustique, l'étude de l'identification sonore par l'humain, se rapprochant de la psychologie.
2. L'écologie acoustique, l'étude des classifications par l'humain des sons ambiants, de leurs valeurs esthétiques.
3. La bio-acoustique, mélangeant la morphologie humaine et les évolutions des productions musicales récentes.
4. L'écologie spatiale, rapprochant la géographie et la biodiversité.

Ces différents facteurs vont entrer en compte dans l'évaluation d'un environnement sonore pour le quantifier.

Mesures sur le terrain

Concrètement, la première étape sera la récupération d'informations sur le terrain. Pour ce faire, avec les outils appropriés, il faudra récupérer des informations sur les ambiances sonores de l'environnement, leur spatialité et leur temporalité. Pour ce genre de

²³ Farina, Almo. "Soundscape and Landscape Ecology." In *Soundscape Ecology*, 1–28. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1.

mesures les outils tels que spectrogrammes comme montrés dans la fig 3 ci dessous sont très utiles. Un spectrogramme est une représentation graphique sonore temps-fréquence utilisant la technique de la transformée de Fourier pour produire une visualisation de l'intensité des plages de fréquences (en ordonnées) dans le temps (en abscisse). Dans le cas des mesures sur le terrain, en utilisant simplement un micro on va pouvoir avoir une analyse visuelle des composantes de l'enregistrement

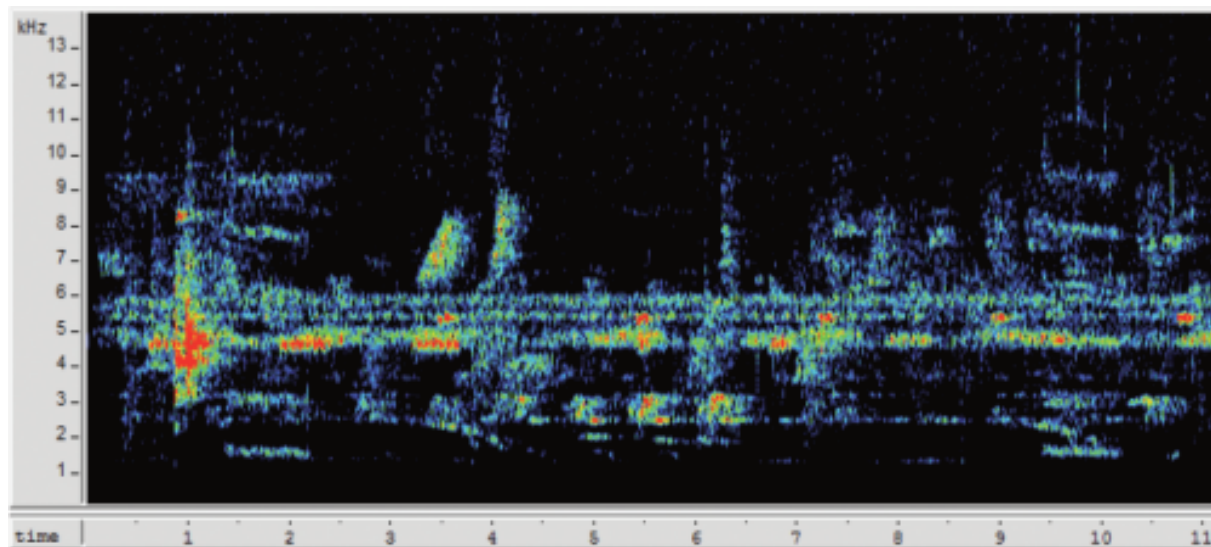


fig 3 : Pictogramme d'un enregistrement de 11 secondes du chorus de l'aube à La Selva Biological Station au Costa Rica ²⁴

On tente toujours de construire ces spectrogrammes en se basant sur l'audition humaine, qui ne dépasse pas 20 kHz en fréquence. Sur le spectrogramme, on voit le temps en (x), la fréquence en (y)(elle ne dépasse pas 13 kHz dans cet exemple). Plus les points sont proches du rouge plus ils ont une intensité élevée, on les considère sur un axe (z) (il est possible parfois d'avoir une représentation en 3D de spectrogrammes).

²⁴ Farina, Almo. "Soundscape and Landscape Ecology." In *Soundscape Ecology*, 1–28. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1.

Provenance du son

Ensuite, pour quantifier un environnement sonore il est intéressant de s'intéresser à "Qu'est ce qui produit le son ?". Les sons dits "naturels" produisent des spectres bien différents de ceux provenant de milieux urbains. Les paysages sonores urbains saturent leur auditeurs de sons qui paraissent ne contenir aucune information intentionnelles pour eux, et qui sont donc très souvent perçus comme bruit. On peut donner comme exemple les bruits de voitures, de métros, de foules, etc. Ces sons à fréquence moyenne-basse (en dessous de 4 kHz), qu'on peut qualifier de *drones* pour la plupart, ne sont pas dynamiques, restent à la même intensité, provoquent plus fortement de la fatigue auditive pour l'humain. L'oreille humaine n'a en effet pas une sensibilité plate en fonction des fréquences des sons qu'elle reçoit. Des courbes isosoniques²⁵ ont été créées, notamment celle de Fletcher-Munson²⁶ (déterminées expérimentalement), dans le but de caractériser plus précisément la sensibilité de l'oreille humaine. On en voit un exemple fig 4.

²⁵ ———. "Courbe Isosonique." *Fondation Wikimedia, Inc.*, July 25, 2006.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Courbe_isosonique#cite_ref-Rossi_2-0.

²⁶ Fletcher, Harvey, and W. A. Munson. "Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation*." *Bell System Technical Journal* 12, no. 4 (October 1933): 377–430.
<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1933.tb00403.x>.

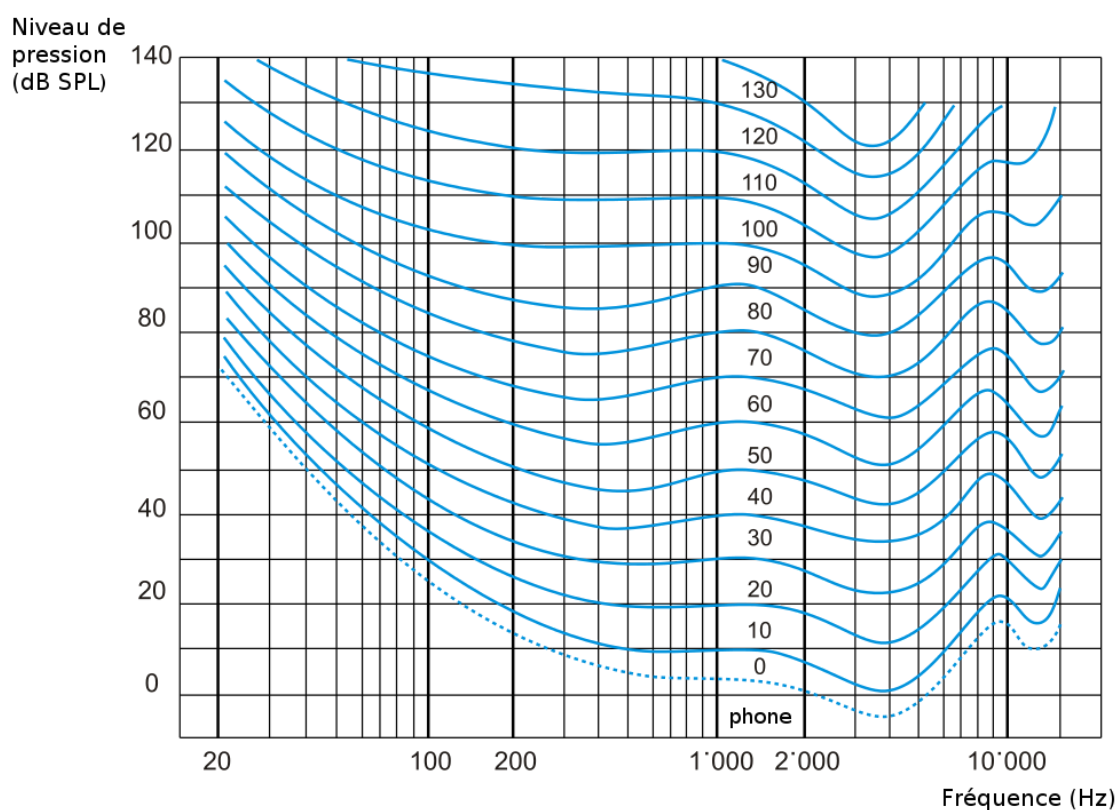


fig 4 : Courbes isophoniques normales selon la norme ISO 226:2003.²⁷

On voit avec ces courbes que l'humain est bien plus sensible aux informations des sons entre 1 kHz et 5 kHz, d'où la fatigue auditive plus facilement créée par des drones comme on a vu plus haut.

A contrario, la géophonie produit une variété de sons très contextualisés par l'humain. La gamme de fréquences est beaucoup plus large et la dynamique sonore aussi. La dynamique sonore d'un signal sonore ou d'une musique est le rapport entre son volume perçu maximal et minimal²⁸. Plus un passage est dynamique, plus on va passer par des moments calmes puis forts, puis calmes à nouveau, etc. En se référant à la figure au-dessus, on voit déjà que l'intensité change souvent, les fréquences varient plus, il y a plus de dynamique

²⁷ ISO. "ISO 226:2003." Accessed November 16, 2022. <https://www.iso.org/fr/standard/34222.html>.

²⁸ ———. "Dynamique Sonore." *Fondation Wikimedia, Inc.*, December 18, 2005. https://fr.wikipedia.org/wiki/Dynamique_sonore.

dans le son. Pour donner quelques exemples, des sons familiers comme le vent, la pluie ou l'eau qui coule ont des fréquences qui oscillent entre 100 et 1 000 Hz pour de petites pluies jusqu'à 8 kHz pour des pluies plus grosses. Les oiseaux chantent de 10 kHz à 12 kHz environ, les grenouilles de 2 à 5 kHz et les criquets 3 à 8 kHz. Les sons de la nature contiennent des rythmes et schémas qui se répètent, appelé souvent "rythmes de la nature"²⁹. Ces rythmes sont reconnus consciemment et inconsciemment par les humains. De l'oiseau de printemps aux pluies d'automne, l'humain traduit sans effort les informations derrière ces sons. Étudier ces patterns fait partie de l'étude qualitative d'un environnement sonore (pas seulement pour la géophonie, il est intéressant de trouver ces rythmes pour l'antropophonie aussi).

L'humain est aujourd'hui plongé dans des environnements sonores de moins en moins dynamiques, de son environnement urbain à sa consommation de médias sonores comme la musique ou les films. Le silence n'existe pas, l'auditeur ne le conscientise que par rapport à d'autres sons et leur interprétation. La dynamique d'intensité et de fréquence dans le temps va beaucoup jouer dans la définition de ce "silence" par l'auditeur.

Les environnements sonores causent de la fatigue auditive et les principes d'écologie sonore visent à réduire cette dernière. Nous allons tenter d'appliquer par la suite ces principes aux jeux vidéo en prouvant qu'ils sont des environnements sonores.

D. Sur la perception et le lexique sonore

On a vu plus haut qu'un son naturel est considéré plus agréable instinctivement par l'humain. Cependant, tous les sons "non naturels" ne sont pas identifiés comme bruit par

²⁹ Farina, Almo. "Soundscape and Landscape Ecology." In *Soundscape Ecology*, 1–28. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1.

l'humain. Des sons synthétisés sont des fois très agréables à l'humain même s'ils n'ont pas pour but de répliquer parfaitement des sons.

Lexique sonore

Chaque humain est différent, et sa perception du son l'est aussi. La perception est un stade plus évolué face à la sensation, plus physiologique. En fonction des expériences sonores passées qu'il a eu dans sa vie et de l'interprétation qu'il fait de la source du son, il pourra ou non apprécier ce dernier et le considérer comme plaisant (même si le son ne contient pas d'informations importantes). Ce qui veut dire que l'auditeur va avoir acquis au cours de sa vie un *lexique sonore* ³⁰. Ce lexique sonore contient différentes identités sonores invariables (le bruit d'un marteau sur une enclume, de clés que l'on rentre dans une serrure, etc.), des contenus d'expériences respectifs (la clé, le marteau, l'enclume) et de interrelations entre les fonctions de ces termes (forger, l'arrivée d'une nouvelle personne dans l'appartement). Ces objets du lexique sont des aspects de l'interprétation associée que l'on fait à ses sons. Ce sont ces associations qui sont "réveillées", activées lorsque l'on écoute un son qui nous paraît nouveau. Des caractéristiques de son nouveau sont analysées et comparées à notre lexique (notre expérience, nos souvenirs). En se basant donc sur cette base de données personnelle, nous allons donner ou non un sens aux sons en rapport à leur caractéristiques.

Sons abstraits

³⁰ Ute Jekosch . "Sound Perception and Sound Design ," 2006.

Certains sons ne peuvent pas être complètement dérivés et ne correspondent à aucun son de la base de données de l'auditeur·rice. Dans ces cas-là, on l'a vu plus haut dans le sound design informatif, l'auditeur·rice doit apprendre ce son et en définir son agréabilité. Nous référerons ces sons comme étant *abstraits* ici. Guillaume Lemaitre, Patrick Susini (2019) ont travaillé sur les liens entre la qualité sonore et le timbre.³¹ A travers un mélange de récupération d'informations du spectre des sons et de jugements donnés par des auditeurs de ces sons, ils ont pu donner une méthode de jugement des différents sons et de leur agréabilité. Il est à noter que cette méthode ne prend pas en compte l'idiosyncrasie liée à la subjectivité évidente de la perception des sons (à travers expériences, sensibilités personnelles etc). Selon eux,

“Il y a différents types d'intentions [sonores] : la première est d'efficacement atteindre un but à travers du son (fonctionnalité), et la seconde intention est de produire une solution harmonieuse dans l'environnement (écologie) qui combine satisfaction de l'utilisateur (agréabilité) et cohérence avec le produit (identité).”

On voit ici le rapport à l'identité, donc la subjectivité liée qui prend une part importante dans la création de sons. Leur point est ici que le design sonore informatif ne doit pas subvertir l'intention écologique du son. Ils citent ensuite une étude sur le son lié aux climatisations de Susini (2004)³². On voit en fig 5 leur graphique simplifié lié à cette étude.

³¹ Lemaitre, Guillaume, and Patrick Susini. “Timbre, Sound Quality, and Sound Design.” In *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*, 245–72. Cham: Springer International Publishing, 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-14832-4_9.

³² Susini, Patrick, Stephen McAdams, Suzanne Winsberg, Ivan Perry, Sandrine Vieillard, and Xavier Rodet. “Characterizing the Sound Quality of Air-Conditioning Noise.” *Applied Acoustics* 65, no. 8 (August 2004): 763–90. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.02.003>.

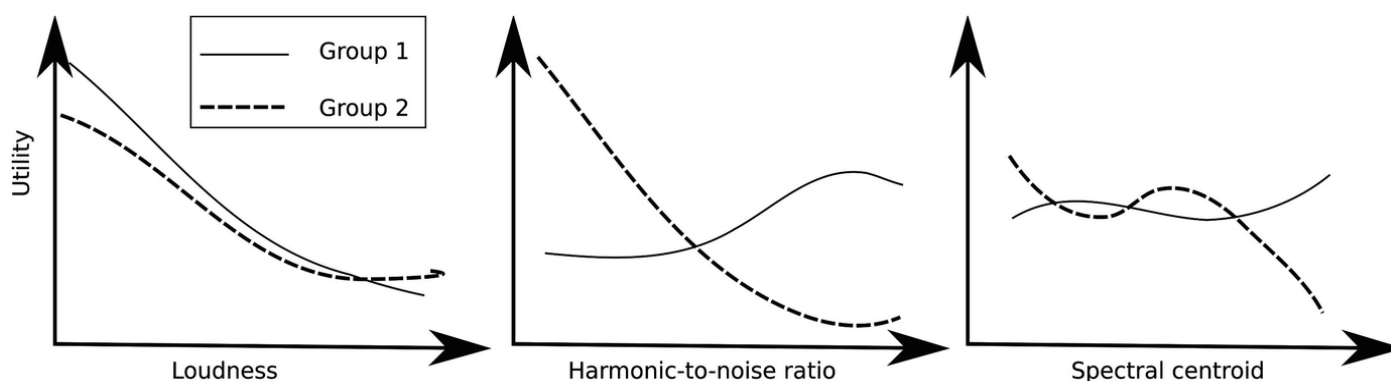


fig 5 : Fonctions utilitaires pour les sons des climatiseurs, trois descripteurs et deux groupes d'auditeurs latents (trait plein, pointillé).

Dans cette étude, deux groupes latents (on veut dire ici que ces groupes ont été discriminés à partir des résultats et non au départ de l'étude) ont donné leur jugements sur des sons différents (Sur la figure : *Harmonic to noise ratio* = balance relative en l'harmonie du moteur et le bruit du ventilateur; *Loudness* = Intensité sonore; *Spectral centroid* = Netteté, tranchant du son). Leur conclusion est la suivante :

“Sans surprise, les résultats ont montré que la qualité sonore de l'unité de climatisation est liée au volume sonore avec la même fonction monotone décroissante pour les deux groupes d'auditeurs : ils préfèrent unanimement les sons plus calmes. De manière plus inattendue, la relation entre la qualité et le rapport harmonique-tonalité est complètement différente pour les deux groupes d'auditeurs. Alors que les auditeurs du premier groupe (ligne pleine) préfèrent les sons avec une forte composante harmonique, les auditeurs du deuxième groupe (pointillés ligne) préfèrent les sons avec une forte composante bruyante. La situation est quelque peu similaire pour les Spectral Centroid : les auditeurs d'un groupe préférant les sons avec un Spectral Centroid inférieur et les auditeurs dans l'autre groupe fournissant une réponse plutôt plate. Dans

l'ensemble, les auditeurs du deuxième groupe se sont concentrés principalement sur le volume pour juger de leurs préférences. Ces résultats montrent clairement que, alors que les auditeurs perçoivent les différences de timbre de manière plus ou moins équivalente, chaque individu peut préférer des timbres différents. Ainsi, il est très important de considérer les différences individuelles [des individus ici] et de considérer les relations non linéaires entre la qualité sonore et le timbre.”

En substance, Guillaume Lemaitre et Patrick Susini proposent ici que le timbre (harmonie, bruit etc) est important pour le jugement d'un son abstrait par un individu, mais qu'il va utiliser son lexique personnel pour définir ce dernier. Ils disent aussi que l'identification des sons et la catégorisation des sons sont des processus cognitifs très forts qui viennent biaiser une tentative d'objectivité de la mesure de la qualité d'un son. Encore une fois, nos expériences passées et ce qu'on peut appeler notre goût individuel vont jouer dans notre appréciation d'un son. On retrouve ici des idées de la psychoacoustique aussi. Hugo Fastl nous dit ³³ :

“Lors de l'évaluation de la qualité sonore, le contexte culturel d'un sujet peut jouer un rôle important. Des études interculturelles avec des sujets au Japon et en Allemagne (Kuwano et al. 1997)³⁴ ont montré que parfois un même son peut être évalué différemment. Par exemple, le son d'une cloche était interprété par les sujets allemands comme le son d'une cloche d'église conduisant à des connotations d'« agréable » ou « sûr ». Au contraire, les sujets japonais ont référencés ces sons de cloche comme des sons d'un camion de

³³ Hugo Fastl. “Psychoacoustics and Sound Quality.” AG *Technische Akustik*, MMK, TU München, n.d.

³⁴ Kuwano S, Namba S, Fastl H, Schick A. “Evaluation of the Impression of Danger Signals-Comparison between Japanese ,” 1997.

pompiers ou d'un passage à niveau conduisant à des sentiments de "dangereux" ou "désagréables".”.

Mesures qualitatives et viabilité dans le son

On voit ici que des mêmes sons peuvent être interprétés de manière différente en fonction encore une fois du lexique de la personne. On peut poser l’hypothèse pour la suite que cela est vrai pour des sons anthropiques comme géophones car les associations que l’on fait sont pour les deux cas liées à notre lexique.

Certains tentent de trouver une valeur objective commune à tous les sons, une vérité absolue du “bon” son, on peut penser à l’harmonie dans la musique par exemple. Cependant, mathématiquement, le “bon” son n’existe pas. Il faut pour considérer un son comme “bon” le mesurer. Or, la mesure de la qualité sonore peut être appelée un processus qui compare des données de perception et données d’expérience et d’attente. Lorsqu’elles correspondent, le son est jugé de haute qualité, “bon”. Une grande partie de la mesure instrumentale, qui traite des valeurs acoustiques (physique), exige l’obtention de valeurs de mesure fiables (qualitative). Cependant, leur importance en ce qui concerne les données de perception et données d’expérience (au sens où le son est un support d’information qui conduit à des associations de sens comme dit précédemment) n’a pas encore été suffisamment précisée ³⁵. En exemple supplémentaire des biais de mesures sur ce sujet, il est connu dans le monde de la musique que l’auditeur aura toujours tendance à apprécier une musique lorsqu’elle est plus forte, montré par le modèle CAALM de *Fremaux et Welch* (2017) ³⁶.

³⁵ Hugo Fastl. “Psychoacoustics and Sound Quality.” *AG Technische Akustik, MMK, TU München*, n.d.

³⁶ Fremaux, Guy, and David Welch. “Understanding Why People Enjoy Loud Sound.” *Seminars in Hearing* 38, no. 04 (October 10, 2017): 348–58. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1606328>.

Par contre cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'outils, de choses qui peuvent aider le designer sonore. Pour revenir sur l'harmonie, c'est un outil qui fonctionne, qui a fonctionné et qui fonctionnera toujours sur la création de son. Une aide, pas une science absolue. Pour conclure sur ce point, l'agréabilité sonore est un sujet très vaste en pleine étude, mais on peut déjà aujourd'hui en se référant à nos pairs trouver des outils pour proposer des sons anthropiques agréables (On peut noter que le travail de Susini³⁷ cité avait pour but de trouver des moyens de mesurer qualitativement des sons anthropiques de climatisations, dans le but de mieux les contrôler et en faire une meilleure expérience pour l'humain).

E. Attention sélective auditive et fatigue auditive

La relation devenue habituelle avec le bruit ambiant et cette volonté des créateurs de ces sons (les humains) d'accaparer l'attention de leurs auditeurs constamment crée des environnements sonores fatigants. Accaparer l'attention avec le son revient à avoir plus de sons chargés en informations. On a vu dans le paragraphe précédent que les sons de la nature sont plus faciles à traiter pour l'humain, causant beaucoup moins de fatigue auditive. L'humain a la capacité de se concentrer sur une seule source à la fois dans des environnements denses, capacité appelée *attention sélective*.

L'attention sélective auditive fait référence à la capacité mentale à résister aux stimuli distracteurs et à sélectionner les informations pertinentes parmi les événements acoustiques environnants³⁸, comme illustré dans «l'effet cocktail». L'effet ou le phénomène de cocktail en

³⁷ Susini, Patrick, Stephen McAdams, Suzanne Winsberg, Ivan Perry, Sandrine Vieillard, and Xavier Rodet. "Characterizing the Sound Quality of Air-Conditioning Noise." *Applied Acoustics* 65, no. 8 (August 2004): 763–90. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.02.003>.

³⁸ Giard, Marie-Helene. "Neurophysiological Mechanisms of Auditory Selective Attention in Humans." *Frontiers in Bioscience* 5, no. 1 (2000): d84. <https://doi.org/10.2741/giard>.

psychologie est présenté comme étant notre capacité à n'écouter qu'une seule voix à partir de nombreuses conversations se déroulant dans une pièce bruyante³⁹.

Cette attention sélective, "utilisée" pendant des longues périodes amène à une fatigue auditive.⁴⁰ Les environnements sonores denses sont très sujets à l'utilisation de l'attention sélective pour l'humain, amenant une fatigue plus forte que dans des environnements sonores plus faibles. Si nous arrivons à prouver que les jeux vidéos sont des environnements sonores, nous prouverons par ailleurs que la fatigue auditive liée à l'attention sélective y sera très développée, en plus des autres points évoqués plus haut tout au long de cet état de l'art.

III. De l'environnement sonore d'une oeuvre interactive

A. L'environnement sonore d'une oeuvre interactive

Les jeux vidéo et les œuvres interactives ne sont que peu considérés comme ayant des environnements sonores. De plus, la fatigue auditive n'est souvent évoquée que rapidement dans les rapports et thèses. Cependant on a bien vu dès les premiers points de cette thèse que tout semble indiquer que les joueur·euses subissent les symptômes de la

³⁹ Dean, Jeremy. "Cocktail Party Effect: The Psychology Of Selective Hearing." PsyBlog, July 20, 2021. <https://www.spring.org.uk/2021/07/cocktail-party-effect-psychology.php>.

⁴⁰ Sonia CROTTAZ-HERBETTE . "Attention Spatiale Auditive et Visuelle Chez Des Patients Héminégligents et Des Sujets Normaux: Etude Clinique, Comportementale et Électrophysiologique." UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2001.

fatigue auditive : perte de concentration⁴¹ quand les environnements deviennent chaotiques, demande d'apprentissage lors d'utilisation d'earcons donc de charge mentale, etc.

Nous allons montrer que les jeux vidéo sont un environnement sonore, et qu'ils sont donc cause de la fatigue sonore et propices à l'utilisation des principes d'écologie sonore pour la combattre.

Premièrement, on peut noter des similarités entre la morphologie classique de l'analyse d'un paysage sonore et la façon dont les environnements ludiques sont créés. En effet, *Tjeerd, Andringa and Kirsten* (2013)⁴² proposent de découper les environnements sonores en plans successifs (arrière-plan, second-plan et premier-plan) pour chaque provenance des sons. Ce découpage correspond également à la structure d'une œuvre interactive et plus précisément des scènes sonores dans ces dernières (on a les sons individuels, les sons d'ambiances, tout est facilement distinguable). Finalement, la notion de paysage sonore a été créée pour nous aider à mieux qualifier les environnements sonores qui nous entourent.

En second point, *Grimshaw* (2007)⁴³ propose l'hypothèse que les jeux sont des environnements sonores (dans leur cas il s'agit de FPS, nous extrapolerons ici à toutes les œuvres interactives, car les points se valent pour toutes). Il se base sur les travaux d'*Anderson* (1996)⁴⁴ sur le cinéma et les environnements sonores et dit que les joueur·euses écoutent avec les oreilles d'un organisme écologique (participant à l'écologie eux-mêmes en jouant au jeu) et y répondent comme s'il était réel. En l'état, cette représentation ressemble à celle d'un environnement sonore classique (voir fig 6).

⁴¹ Kristine Jorgensen. *Left in the Dark: Playing Computer Games with the Sound Turned Off*, 2008.

⁴² Tjeerd C. Andringa, Kirsten A. van den Bosch. "Core Affect and Soundscape Assessment: Fore- and Background Soundscape Design for Quality of Life," 2013.

⁴³ Grimshaw, Mark Nicholas . "The Acoustic Ecology of the First-Person Shooter," 2007.

⁴⁴ Anderson, Joseph. *The Reality of Illusion: An Ecological Approach to Cognitive Film Theory*. SIU Press, 1998.

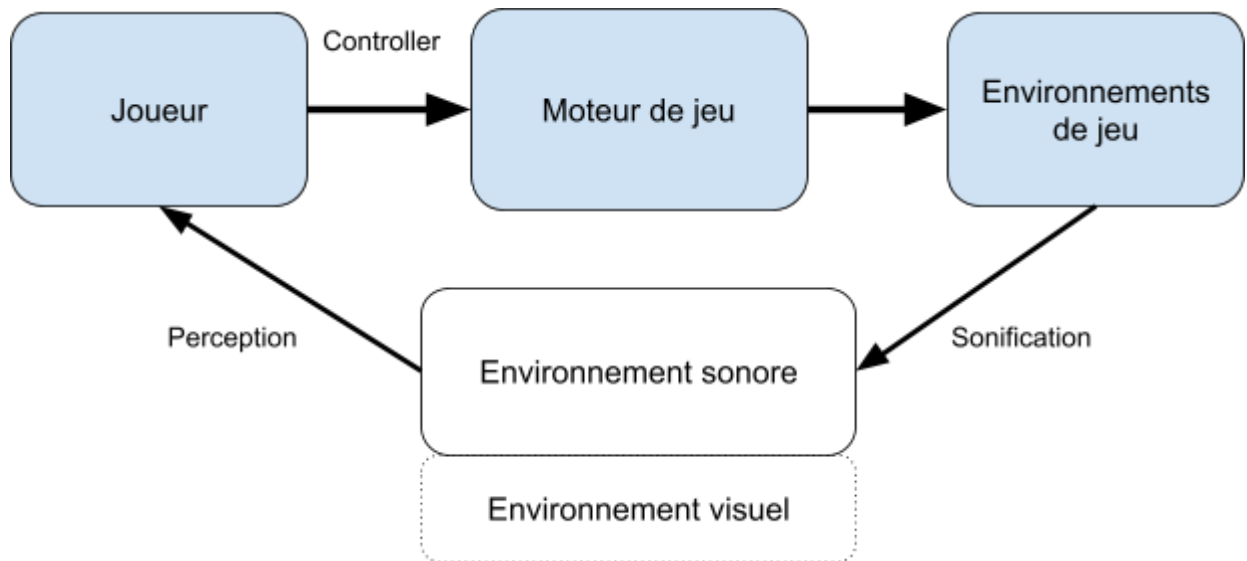


fig 6 : Environnement sonore d'un jeu vidéo

On voit sur cette figure que les joueur·euses, de même manière que les humains pour l'écologie sonore du réel, peuvent agir sur leur environnement de jeu et donc leur environnement sonore. Cette fois-ci à travers un médium, le Game Engine ou Moteur de jeu. Un moteur de jeu est un ensemble de composants logiciels qui effectuent des calculs de géométrie et de physique utilisés dans les jeux vidéo ⁴⁵. On l'a vu plus tôt, la sonification est le moyen pour le designer sonore de donner les informations de jeu au joueur, ici à travers les environnements de jeu et donc l'environnement sonore. Il est à noter que cette représentation est uniquement pour les jeux solo, dans le cas du multijoueur, le graphe se complique un peu.

Il y a cependant des différences entre les environnements sonores de la vie quotidienne et ceux d'une œuvre interactive. Dans un jeu vidéo, nous ne sommes pas physiquement dans le monde de ce dernier, même avec les avancées de la réalité virtuelle.

⁴⁵ ———. "Moteur de Jeu." *Fondation Wikimedia, Inc.*, April 11, 2005. https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_de_jeu.

Tous nos sens ne sont pas utilisés dans un jeu vidéo, même si les deux plus importants, la vue et l'ouïe le sont.

B. La fatigue auditive d'une oeuvre interactive

Au-delà des comparaisons faisables à travers les différentes informations et exemples trouvés donnant des indices sur la présence de fatigue auditive dans une oeuvre interactive, on se doit de trouver un lien plus fort entre les jeux vidéo et la fatigue auditive. On vient de le voir, les jeux vidéo (ou oeuvres interactives) peuvent être considérés comme des environnements sonores. Or, *Payne* (2013)⁴⁶ nous explique qu'un environnement sonore est sujet à la fatigue auditive, prouvé par de nombreux papiers sur le sujet ^{47 48 49}:

“Des problèmes mentaux et physiologiques négatifs, tels que les troubles du sommeil, le stress et les performances cognitives réduites, qui peuvent découler de l'exposition à certains paysages sonores, sont bien documentés”

Nous pouvons donc conclure que les jeux vidéo et autres oeuvres interactives sont sujets eux-mêmes à la fatigue auditive étant des environnements sonores. Nous allons aussi pouvoir avec cette conclusion utiliser tous les principes de l'écologie sonore et les appliquer au monde du jeu vidéo. Ce dernier suivra donc les mêmes règles énoncées dans l'écologie sonore.

⁴⁶ Payne, Sarah R. “The Production of a Perceived Restorativeness Soundscape Scale.” *Applied Acoustics* 74, no. 2 (February 2013): 255–63. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.11.005>.

⁴⁷ Department of Health. “Environmental Noise and Health in the UK, Department of Health.” *London*, 2009.

⁴⁸ Stansfeld RA, Berglund B, Clark C, et al. “Aircraft and Road Traffic Noise and Children’s Cognition and Health: A Cross National Study.” *Lancet*, 2005.

⁴⁹ Schwela, Dietrich H. “The New World Health Organization Guidelines for Community Noise.” *Noise Control Engineering Journal* 49, no. 4 (2001): 193. <https://doi.org/10.3397/1.2839659>.

A partir de cela, nous allons poser l'hypothèse qu'**un environnement sonore d'un jeu vidéo qui cause la fatigue auditive peut nuire à l'expérience de jeu des joueur·euses**. Quand est-ce qu'il cause cette fatigue ? Quels sont les moyens pour la combattre ?

Nous allons répondre à ces questions dans la suite de cette thèse.

IV. Quels environnements sonores sont nocifs pour l'expérience d'un jeu ?

A. De la difficulté à qualifier le son pour un·e joueur·euse

Nous avons vu au dessus dans le paragraphe “*Sur la perception et le lexique sonore*” que les tentatives de qualifications objectives du son sont difficiles en général, car elles sont liées aux différences de cultures et d'expériences des personnes qui vont juger le son (ils viennent piocher dans leur lexique sonore pour juger). Je vais ici tenter d'appuyer cette difficulté avec un autre argument : l'auditeur·rice dans une œuvre interactive ne conscientise pas bien son rapport au son et va avoir du mal à pointer les effets positifs ou négatifs du son (et/ou de son absence), sauf cas extrêmes, c'est à dire sons qui provoquent soit de la douleur soit un inconfort physiologique évident. Les cas extrêmes sont très souvent liés au niveau sonore trop élevé d'un mix.

Au moment de l'écriture de cette thèse professionnelle, j'ai eu l'occasion dans mon stage de pouvoir faire passer moi-même des tests du jeu durant la production du jeu sur lequel je travaillais. Arrivant en milieu de production, ces tests du jeu étaient centrés sur la

compréhension du jeu par les joueur·euses et le ressenti global face au gameplay (leur rapport au jeu concrètement). Au-delà de questions centrées sur le gameplay et la narration, j'ai pu intégrer des questions sur l'ambiance et le son et passer du temps à observer les réactions des joueur·euses au son. Nous avons eu l'occasion de travailler avec un groupe de 10 joueur·euses de profils différents, se rapprochant plus ou moins de notre cible. Les joueur·euses étaient des joueur·euses régulier·res ne connaissant qu'un pitch narratif du jeu de quelques lignes. Ils ont joué environ une heure trente à la version du jeu proposée. Cette phase de jeu étudiée a été suivie d'une phase de questionnaire à l'oral sur différents aspects du jeu qui nous intéressait, notamment pour moi leur rapport au son. Je voulais avec les réactions des joueur·euses tenter de comprendre leur rapport au son dans les jeux et surtout dans le cas de jeux avec peu de son (si le son aidait dans leurs actions lorsqu'il était là, et au contraire si son absence était dommageable).

La version du jeu testée ne contient que des sons informatifs et d'ambiance, il n'y aucune musique. L'ambiance ainsi créée correspond à l'ambiance recherchée pour le jeu global, jeu d'énigmes et de platforming calme et mystérieux en 2D. Les ambiances se veulent interrogatives, mystérieuses voire sombres parfois : les joueur·euses doivent se questionner sur le monde et sur son état (pourquoi suis-je là ? Que dois-je faire ? Quelles sont ces structures ? etc.). Le son dans ce jeu se veut accompagnateur du/de la joueur·euse, l'ambiance sonore n'est pas très dynamique tout au long du gameplay mais reste faible en intensité sonore (il est intéressant de voir ici si les joueur·euses ressentent une fatigue auditive dont l'origine n'est pas l'intensité sonore mais sa dynamique). Cependant, beaucoup de sons pourraient être fatigants pour le joueur, se répétant vite et étant des drones anthropiques de machines, ces derniers pouvant être des sources de fatigue auditive assez rapidement dû aux fréquences auxquelles ils sont joués, donnant des *drones*, et aussi à leur perception par les joueur·euses (cf *Ecologie Sonore : Provenance du son*). Il était donc aussi intéressant de voir si le·la joueur·euse pouvait conscientiser une fatigue liée à ces sons particulièrement. Les participant·es ne savaient pas à l'avance sur

quoi ils allaient être questionnés, et les entretiens d'après-jeu duraient trente minutes environ avec la plupart des questions étant des questions ouvertes.

La première question liée à l'ambiance arrivait au milieu du questionnaire : *Si tu devais décrire l'ambiance du jeu, quels termes utiliserais-tu ? (Deux ou trois adjectifs suffisent)*. Ici, il était important d'évaluer leur compréhension de l'ambiance générale du jeu, peu importe l'environnement sonore. Les réponses des joueur·euses ici diffèrent beaucoup mais restent toutes dans le lexique du mystère, du spatial, voire des fois de l'angoissant pour certaines parties spécifiques du jeu, et cela pour tous les joueurs (100%). Nous avons : "Calme", "science-fiction", "Mystérieux", "Ancien", "Mythique", "Mystique", "Technique", "Futuriste", "Angoissant", "Calme", "Solitude". Les termes revenant le plus souvent sont "Calme" et "Mystérieux", correspondant aux attentes de l'équipe.

A partir de cette base, nous allons pouvoir voir à quel point le son joue un rôle pour les joueur·euses dans cet environnement de jeu. Vous pouvez voir les questions posées au joueur·euses ainsi que leurs réponses en annexe 1.

Sur le rapport aux sons informatifs et immersifs

Une des questions posées par les tests était : *Est-ce que des éléments sonores spécifiques ont pu t'aider à savoir où aller ? Où appuyer ?* J'ai pu remarqué avec cette question une difficulté à interpréter la question les joueur·euses, et les réponses pour moi. Un nombre important de joueur·euses répondaient simplement "Non" à cette question sans se laisser le temps de réfléchir, comme si c'était une évidence pour eux car il n'y avait que peu de sons dans le jeu. Cependant, certains, après réflexion, ont donné des réponses plus complètes.

"Je pense qu'inconsciemment cela doit avoir un effet, mais je n'arrive pas à trouver d'exemples précis",

ou encore,

“Peut-être, mais cela ne m’a pas marqué, je ne m’en souviens plus.

[après une ou deux secondes de pause] Ah si [cette chose là] qui n’était pas visible pour m’indiquer la sortie je me souviens maintenant le son m’a aidé à la trouver.”

Ce temps de réflexion pourrait indiquer un appel à des choses qu’ils n’avaient pas forcément conscientisées lors de leur gameplay, probablement plus intéressés par leur rapport au visuel. Dans ces playtests, les questions orientées autour de leur rapport aux éléments visuels interactifs suscitaient des réponses avec une plus grande précision et rapidité par les joueurs.

Dans d’autres cas, les joueur·euses ne m’indiquaient pas des choses qui étaient de l’ordre du design informatif, mais plus de l’ordre du jugement subjectif. *Ah oui ce son m’a aidé car je l’aimais bien, il sonnait bien*, auquel je répondais pour lancer une discussion : *“Oui mais est ce qu’il t’a aidé à mieux comprendre l’objet auquel il était lié ? A quel objet était-il lié tiens ?”*. Les réponses qui suivaient indiquent qu’ils ne liaient pas toujours les deux. On peut remarquer cependant que les joueur·euses peuvent parfois considérer l’aide comme n’étant pas toujours l’information, mais plutôt le sentiment lié, l’ambiance générale.

Les réponses à cette question se trouvaient parfois mélangées avec une autre question : *Est-ce que des éléments sonores spécifiques ont pu t’aider à savoir ce qu’étaient certains éléments ?* Confusant un peu les joueur·euses sur la différence entre *ce qu’était*, donc le rapport à leur lexique, et *l’information portée*, donc leur rapport au design sonore informatif.

A travers ces questions et discussions avec les joueur·euses , plusieurs choses sont ressorties : les joueur·euses ne conscientisent pas leur liens à l’information contenue dans les sons en général. Ils vont avoir beaucoup de mal à

donner des informations sur l'environnement sonore d'une œuvre interactive. Je fais l'hypothèse que le fait que l'œuvre soit interactive ajoute encore plus de difficulté aux personnes interagissant dedans de les juger et définir, mais que l'humain a tout simplement énormément de mal à constater l'utilité du son et parfois ses dommages (la fatigue auditive liée à sa présence) dans sa vie tant qu'une douleur instantanée n'est pas perçue. Comme vu dans *Le Sound Design informatif et immersif*, le son est le deuxième des cinq sens le plus utilisé par l'humain, et il est souvent utilisé conjointement avec la vision, donnant plus de difficulté de perception de ses limites pour l'humain par rapport au visuel, qui prend toujours le pas sur le son. Il est aussi très probable que les joueur·euses considèrent parfois ressentir une fatigue générale du jeu alors qu'elle est en fait sonore uniquement.

L'absence de son est-elle dommageable ?

Cependant, même si les joueur·euses ne conscientisent pas l'impact réel de l'environnement sonore de ce jeu, ils considèrent que cet environnement correspond à leurs attentes pour un jeu à ambiance décrite par eux-mêmes quelques questions plus tôt. Cependant, quelques-uns d'entre eux évoquent leur préférence pour des environnements sonores plus denses et auraient aimé avoir de la musique ou des jingles par exemple.

L'absence de son n'est pas selon eux un problème pour la résolution des énigmes et l'avancée dans le jeu, mais peut nuire à leur immersion dans certains cas selon 60% d'entre eux. On voit les résultats fig 7 et fig 8 en annexe 2.

On retrouve ici des résultats que *Jorgensen (2006)* avait eus lors de ses différents tests sur l'absence de son et le jeu, résultats donc très appuyés, qui prouvent que le son ne se remarque pas forcément dans une session de jeu, et que l'on peut jouer sans.⁵⁰

Critique de ces tests du jeu

On l'a vu ici, il a été difficile de bien faire ressortir des données à travers ces questions posées aux joueurs. Je pense que c'est la conclusion qu'il faut avoir sur les tests du jeu et le rapport conscient de l'humain au son. Il sera très dur pour un·e utilisateur·rice ne souffrant pas directement de l'environnement sonore de se rendre compte de ces limites. Un point ressort aussi, les utilisateur·rices ont des avis très personnels et ont tendance à subjectiver toutes leurs réponses à leur lexique sonore interne (*"J'aime ceci, je trouve que cela est..."*), comme on l'avait vu dans le point II - D. *Sur la perception et le lexique sonore*. Le type de jeu est donc aussi à prendre en compte lors de la tentative de mesure de la fatigue auditive d'un environnement sonore. Dans notre cas, l'univers était très spécifique, avec peu d'informations sonores qui existaient dans ce dernier, donnant moins d'information en sortie sur ce que l'on voulait.

Aussi, ces tests du jeu n'ont concerné que dix joueur·euses au total, rendant les statistiques moins viables et les disparités dans les réponses trouvées plus difficilement analysables. Il est impossible de savoir si les pourcentages annoncés seraient les mêmes sur une centaine de joueurs.

Dernier point, ces questions ont été écrites et pensées avant la création de la problématique finale de ce papier. Il en ressort des questions qui n'ont pas pu être changées durant les playtests ou avant, et qui parfois sont un peu en dehors du thème

⁵⁰ Kristine Jørgensen. "On the Functional Aspects of Computer Game Audio," 2006.

de ce papier. Les dates des tests du jeu n'étaient pas modifiables évidemment, tombant dans des problématiques différentes de ma thèse (et plus importantes pour l'équipe du jeu, ayant des dates de production importantes à respecter). Ces questions posées à l'avance ont pu amener des problèmes d'UX (expérience utilisateur⁵¹) au questionnaire lui-même. Il y a peut-être un meilleur moyen de poser les questions pour réussir à récupérer des informations sur le rapport aux environnements sonores d'une expérience interactive. La confusion des réponses est peut-être liée à une mauvaise interprétation des questions par les joueur·euses (même si à l'oral je prenais le temps si je sentais une confusion pour reposer la question, voire la reformuler).

Je pense cependant qu'à travers l'état de l'art sur la question et ces tests du jeu, la conclusion proposée plus haut ne perd pas sens. On a vu avec *Mesures qualitatives et viabilité dans le son* et les recherches de Fastl⁵² que :

“Une grande partie de la mesure instrumentale, qui traite des valeurs acoustiques (physique), exige l'obtention de valeurs de mesure fiables (qualitative). Cependant, leur importance en ce qui concerne les données de perception et données d'expérience (au sens où le son est un support d'information qui conduit à des associations de sens comme dit précédemment) n'a pas encore été suffisamment précisée ”

Cette partie soutient le point que nous sommes en train d'évoquer, que mesurer précisément un environnement sonore avec des mesures qualitatives via des testeur·euses est aujourd'hui compliqué, fait que l'on va extrapoler aux environnements sonores d'œuvres interactives. Ceci dit, pour s'intéresser aux solutions face à la problématique de la fatigue auditive nous allons nous pencher du côté des expert·es du milieu, les designers sonores, et

⁵¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Exp%C3%A9rience_utilisateur

⁵² Hugo Fastl. “Psychoacoustics and Sound Quality.” *AG Technische Akustik, MMK, TU München*, n.d.

appliquer les principes d'écologie sonore pour parvenir à mieux comprendre ce qui cause cette fatigue et comment les jeux vidéo l'évitent (ou pas) aujourd'hui. On pourrait aussi par la suite aller retravailler ces playtests et récupérer des informations du côté des personnes plus sensibles à ce genre de problématiques liées au son, qui auront probablement plus de conscientisation sur le sujet, étant touchées bien plus facilement par le son. Je pense par exemple aux personnes souffrant d'hyperacousie, ou encore d'acouphènes.

B. La fatigue auditive et l'écologie sonore des oeuvres interactives

Les principes d'écologie sonore sont applicables à tous les environnements sonores, on l'a vu plus haut. Seulement, aucune référence ne montre qu'ils sont aujourd'hui appliqués dans l'industrie du jeu vidéo. Cependant, il est clair que tous les jeux ne subissent pas à la même échelle la fatigue auditive, ce qui fait penser que certains de ces principes sont utilisés consciemment ou non par les acteur·rices de cette industrie. J'ai pu avoir la chance de rencontrer 5 différents expert·es du milieu du design sonore dans les jeux vidéos et de leur poser des questions pour ouvrir la discussion sur le sujet de la fatigue auditive dans les œuvres interactives aujourd'hui. Je vais proposer ici un résumé de ces discussions et des points avancés par ces dernier·es qui reviennent le plus souvent ainsi que les liens qui peuvent être fait vis-à-vis de l'écologie sonore à travers leurs dires. J'ai au début de l'entretien donné les définitions des termes d'environnements sonore et de fatigue auditive à mes interlocuteur·rices, qui ont par la suite décider de les utiliser dans notre discussion, les ayant tout de suite pris en main, comme s'ils y étaient familier·es sans avoir le terme lié. L'approche n'a été que de garder les remarques qui ont été faites dans plus de 79% des cas, ou plus de 39% des cas si on peut faire un lien avec des pratiques de l'écologie sonore et ces dires pour créer cette ébauche non exhaustive. Vous trouverez en annexe 3 le protocole complet lié à ces entretiens.

Ce ne sont ni des directives ni une liste exhaustive des actions à faire sur un environnement sonore d'un jeu vidéo pour le rendre parfait, mais plutôt une introduction à la discussion sur ce sujet avec des avis d'expert·es du milieu, et des retours qui permettent de tracer un premier jet des problématiques et solutions redondantes sur le sujet et de les lier aux problématiques d'écologie sonore, pour proposer un angle d'approche sur des prochains papiers.

Densité sonore

Il y a plusieurs points qui sont revenus tout de suite dès le début des conversations. Avant même de rentrer dans des considérations plus complexes et techniques, mes interlocuteur·rices ont tout de suite évoqué qu'un environnement sonore pouvait apporter de la fatigue auditive lorsqu'il y avait un volume trop élevé général et le trop-plein de sons à forte densité d'informations à un moment donné t , et évidemment les outils qu'ils utilisent le plus souvent sont liés à ce volume sonore local, voire même unitaire. Il est impossible aujourd'hui de mesurer la quantité d'informations que contient un son, c'est l'expérience du designer sonore qui joue ici, on va voir que ce manque d'outil sera un point récurrent tout au long de notre développement. Cependant, une fois les problèmes pointés, les designers sonores peuvent les réparer facilement.

“L'arsenal d'un designer sonore comprend énormément de choses pour modifier le gain des sons qu'il pourrait considérer comme trop fort, comme les égaliseurs ou simplement les sliders de gain, pour réduire le nombre d'informations dans l'environnement.”

Une autre des techniques pour éviter une densité trop importante d'informations (de sons) par unité de temps de jeu est le limiteur de voix (*voice limiting*)

“Une des solutions les plus utilisée est de limiter le nombre de sons maximum possible jouable au joueur, le voice limiting. Pour être plus précis, on peut décider quels sons ont la priorité sur d'autres, priorisant l'information au bruit.”

On retrouve ici des solutions à des problèmes d'écologie sonore et d'attention de l'humain qui ne sont que rarement disponibles dans un cadre réel du quotidien. Un de mes interlocuteurs parlait de “triche” par rapport aux environnements de la vie quotidienne. Les designers sonores ont tous une notion d'information et de quantité d'information qu'il donnent aux joueur·euses, son par son mais aussi environnement sonore par environnement sonore. Cette notion est cependant propre à chaque équipe ou chaque désigner et n'a pas de valeur unique et commune à chacun dans le milieu. Ils ont cependant une philosophie commune de ce qu'est un bon environnement sonore pour eux :

“Un bon environnement sonore serait celui qui trouverait l'équilibre entre immersion et information donnée au joueur. La fatigue auditive apparaît forcément dans le temps, mais retarder son apparition fait partie inconsciente de notre travail”

Un autre point évoqué par ces designers sonores était la densité d'information dans les sons uniques qui devait rester le plus faible possible. Ce point se recoupe avec le contenu de *L'état de l'art* plus haut, la tendance qu'ont certains sons anthropiques à se charger en informations et devenir du bruit, surtout s'ils sont entourés d'autres sons. Au final, cette question de densité sonore regroupant multiplicité de sons et multiplicité d'informations présentes dans les sons va devenir notre premier point sur quatre formant

l'écologie sonore des œuvres interactives, en regroupant écologie sonore des environnements humains et avis d'experts (fig 9).

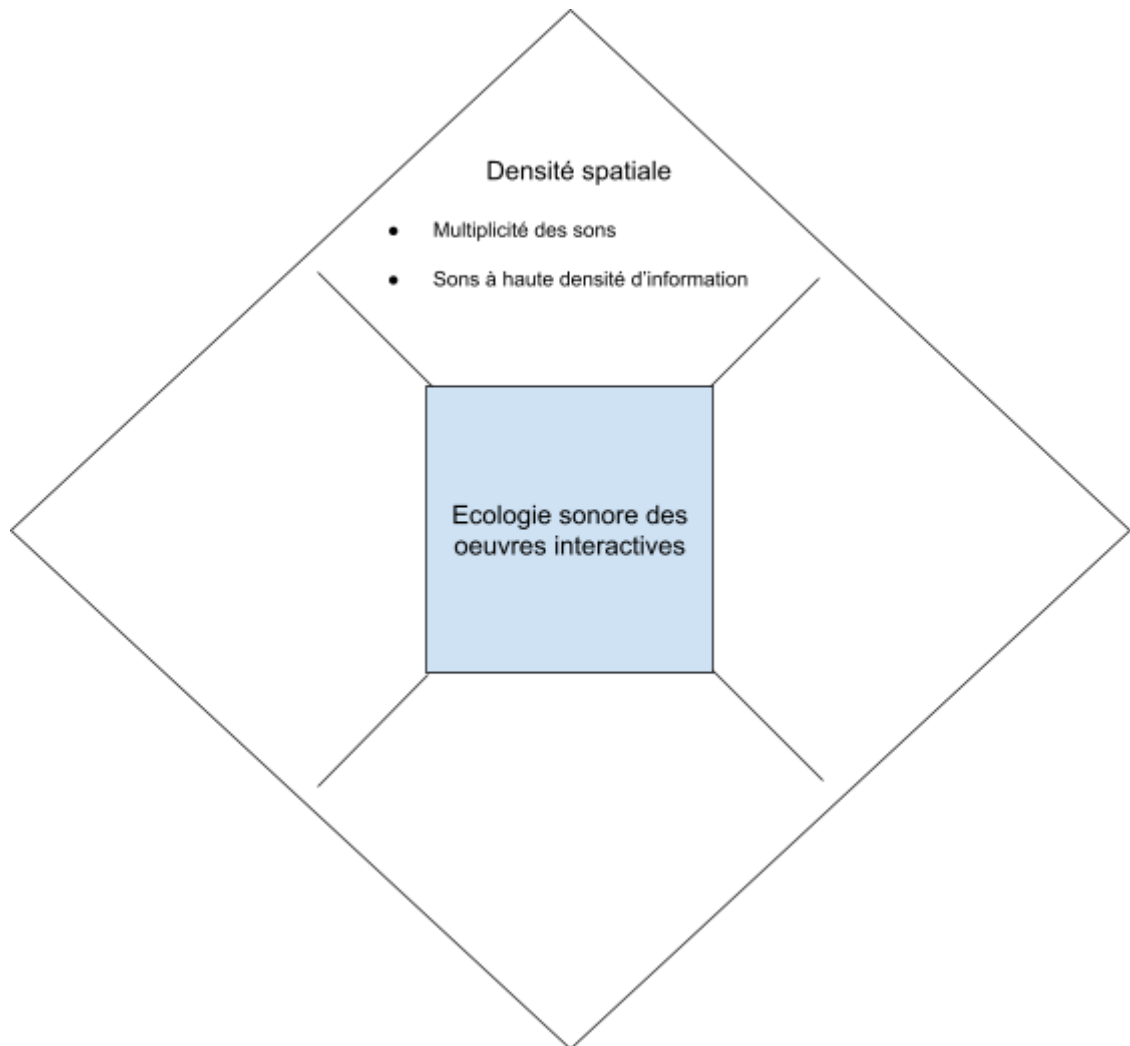


Fig 9 : Écologie sonore des oeuvres interactives partielle

Dynamique

Le second point évoqué, très souvent en rapport à ce dernier sur la densité spatiale est le point de la densité temporelle, autrement appelé dynamique. On dit d'un environnement sonore qu'il est dynamique lorsque l'intensité sonore change beaucoup d'un moment à un autre de l'expérience dans le temps.

“Ne pas avoir de dynamique dans l’expérience revient à avoir un son continu, sans évolution qui va même parfois saturer la bande d’information, cela peut en effet provoquer de la fatigue auditive.”

La dynamique est aujourd’hui un sujet contemporain de discussion dans le monde du son (de la musique surtout). Nous sommes entourés de médias de plus en plus compressés donc moins dynamiques, mais un média compressé est un média qui est extrêmement assujéti à la fatigue auditive. Pour le cas des œuvres interactives comme le jeu vidéo, il faut séparer deux dynamiques : la dynamique locale (dans une scène, un niveau, une énigme, etc.) dans le temps et la dynamique globale de l’œuvre (sur une grande durée de jeu). Mes interlocuteur·rices évoquent des “moments de relâchement” face à des moments de “tension” dans une mise en scène globale liée à la narration et au type de jeu. On reviendra sur ce point plus tard qui est un contre argument à la fatigue auditive.

La dynamique est normée dans le monde des oeuvres, à travers des calculs de LUFS⁵³ par exemple. Ces calculs vont permettre de définir l’intensité sonore sur une plage de temps et le niveau de dynamique globale d’un segment sonore. Ces mesures sont très utilisées dans des médias comme le cinéma ou la télévision à travers la norme EBU R 128⁵⁴, qui demande des mesures à court terme, semi-long terme et long terme. Cette norme est aussi utilisée aujourd’hui dans le jeu vidéo, cependant elle apparaît comme un faux espoir contre la fatigue auditive.

“Cette norme appliquée au jeu vidéo ne prend pas beaucoup de sens car ces derniers sont interactifs, contrairement à la musique ou le cinéma. Une expérience

⁵³ “Que Sont Les LUFS : Le Guide Complet Du Débutant.” Accessed November 12, 2022. <https://emastered.com/fr/blog/what-are-lufs>.

⁵⁴ Contributors to Wikimedia projects. “EBU R 128.” Wikipédia, September 16, 2022. https://en.wikipedia.org/wiki/EBU_R_128.

d'une personne sera bien différente d'une autre sur les temps de mesures demandés.”

En plus de cela, cette norme et les autres utilisées dans le jeu vidéo ne semblent pas faire l'unanimité dans le milieu et ne pas être suffisantes⁵⁵, certains la considérant comme uniformisant trop les sons et leur intensité, cassant la créativité et causant au final une fatigue auditive. Cependant, les designers sonores ont toujours une notion de fatigue liée à cette dynamique de leurs environnements sonores, seulement uniquement à travers leur expérience et ces outils calculant les mesures de LUFS, qui ne sont pas suffisantes. Au final, il y a une tendance dans les jeux vidéo tout particulièrement à vouloir tout remplir, ce qui peut être dommageable.

La dynamique est aussi une problématique de mise en scène du jeu selon mes interlocuteur·rices :

“C’est beaucoup un souci de mise en scène du jeu aussi, en rapport avec le cinéma par exemple. Si le jeu est un jeu d’action, on va tout de suite avoir un mix plus rempli, moins dynamique. On a tendance à vouloir toujours tout remplir dans les jeux, dans le son mais pas que. “

On l’a vu et on va le revoir, le son est souvent intimement lié à d’autres aspects du développement du jeu, doit apprendre à apporter des moments de relâchement même dans les jeux les plus denses possibles.

Les designers sonores évoquent aussi dans nos discussions la répétitivité et la cyclicité des sons, point que l’on retrouve souvent en écologie sonore des environnements

⁵⁵ “Listening for Loudness in Video Games – Stephen Schappler,” n.d.
<https://www.stephenschappler.com/2013/07/26/listening-for-loudness-in-video-games/>.

humains. Un son qui va se répéter a souvent tendance à très vite causer de la fatigue sonore, surtout si c'est un son qui contient beaucoup d'informations.

“Un jeu est basé sur des boucles de gameplay qui se veulent plus ou moins longues. Nous devons en tant que designers sonores briser la répétitivité sonore en y associant des changements [aux sons] pour éviter l'ennui et la fatigue du joueur face à ces boucles, tout en gardant leur familiarité.”

Ces points forment une nouvelle branche de l'écologie sonore dans les jeux vidéos que l'on peut voir fig 10

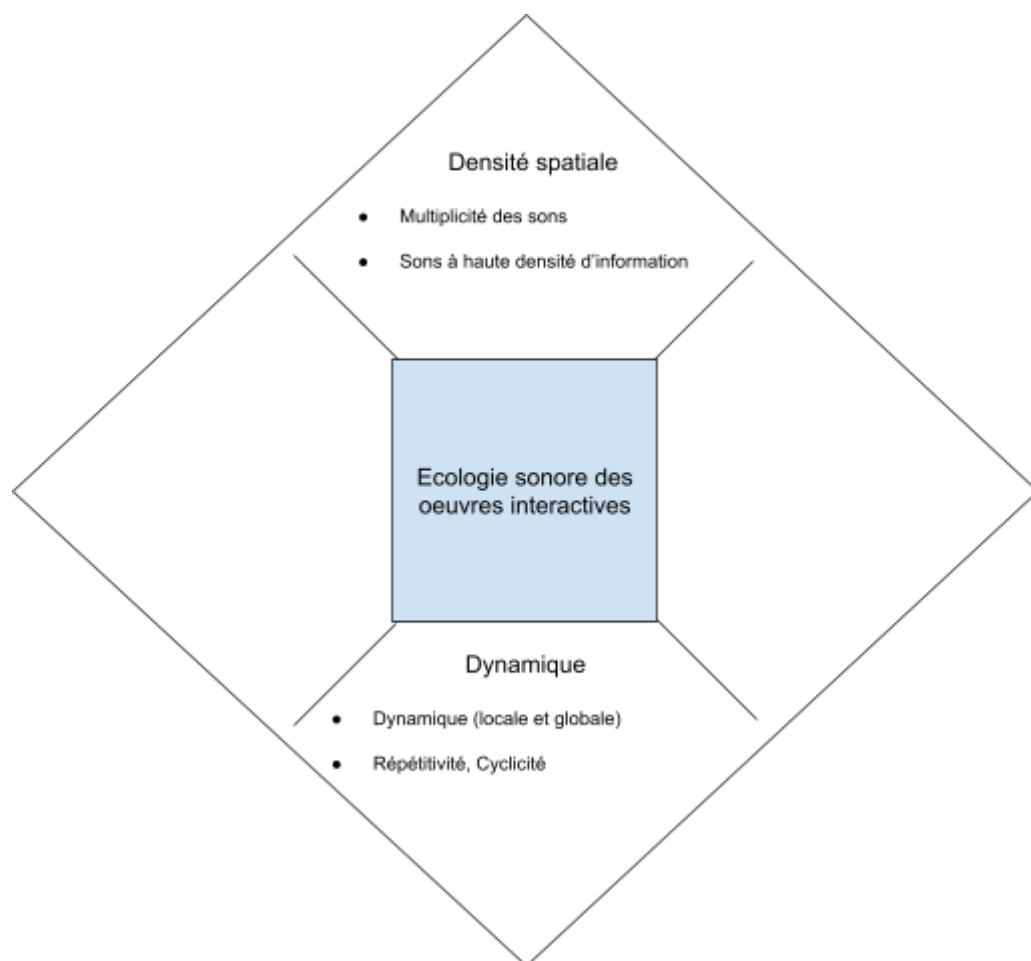


fig 10 : Écologie sonore des œuvres interactives partielle

Qualité du son et interprétation

Durant les discussions, le terme de “qualité des sons” revenait souvent.

“Les retours sonores doivent être le plus clair possible, mais on sait qu'il y a des types de son sur lesquels il faut faire attention, comme par exemple les sons à attaque courte, ou les fréquences très hautes et très basses qui sont agressives aux oreilles.”

Ces remarques sont globalement connues dans le monde de la musique et du design sonore, et proviennent en général du rapport à la douleur et à la physiologie humaine. On a vu plus haut dans le chapitre *Provenance du son* que les fréquences basses et très hautes peuvent amener à la fatigue auditive. On peut aussi rajouter dans cette liste, comme vu dans les entretiens, les sons à attaque courte qui donnent des intensités élevées d'un seul coup.

On l'a vu dans le chapitre *Lexique sonore*, la qualité d'un son n'est pas facile à mesurer encore aujourd'hui, car l'interprétation des sons par les humains via leur expériences passées et autres paramètres extérieurs rentrent très vite en compte. Cet avis est partagé par mes interlocuteur·rices, qui, considérant les informations physiologiques classiques des fréquences et du type de son, admettent bien évidemment que tout n'est pas sous leur contrôle, et que prendre l'attention des joueur·euses en jouant sur leur attention sélective en leur demandant d'apprendre des nouvelles sonorités et de les rajouter dans un lexique unique à l'expérience dans laquelle il se trouve (j'entends par là que les earcons et parfois même les icônes auditives ont des significations et interprétations parfois uniques à l'oeuvre interactive même si déjà existants dans le lexique des joueur·euses, nécessitant donc un ré-apprentissage spécifique) amène de la fatigue auditive.

“Oui, cela peut jouer dans un environnement sonore trop dense si les sons sont naturels ou pas, mais il y a des jeux avec aucun son naturel qui ne provoquent que peu la fatigue auditive”

On va pouvoir donc rajouter les points vus plus haut dans l'état de l'art liés à la psychoacoustique (attention sélective et ses effets, lexique sonore) pour finir la construction de la fig 11 et donner une première ébauche de l'écologie sonore dans les jeux vidéo.

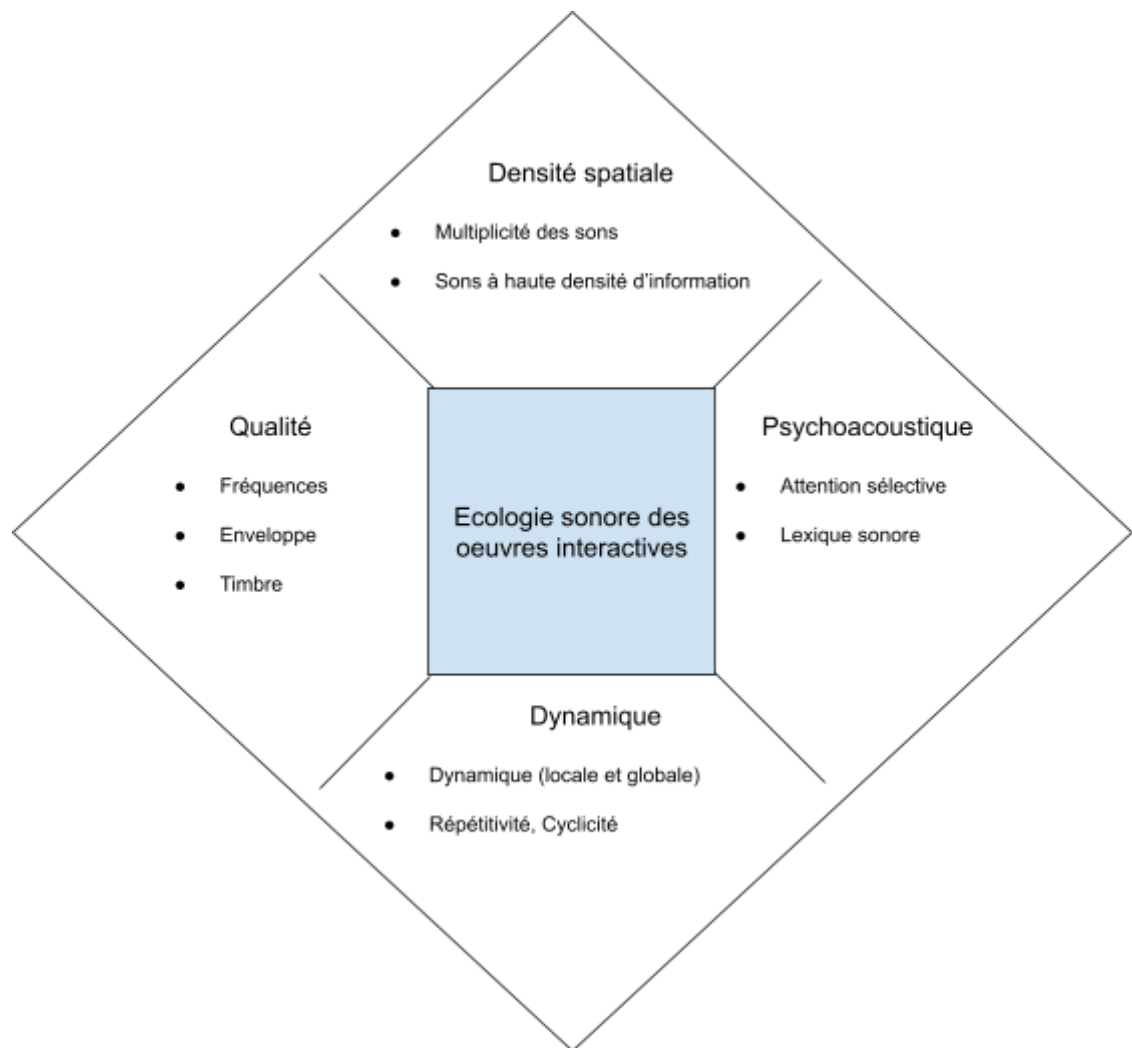


fig 11 : Écologie sonore des œuvres interactives

L'argument de la direction artistique

Dans toutes mes conversations un argument très intéressant finissait toujours par arriver. Le choix artistique. Est-ce une volonté artistique valable de faire des environnements sonores interactifs fatigants ? Quand on voit des jeux comme DOOM⁵⁶ ou la franchise Call of Duty⁵⁷, qui sont des environnements fatigants de par leur direction artistique sonore, il paraît évident que les développeur·euses savaient qu'ils étaient en train de créer un jeu fatigant. Les avis sur ce point divergent :

“Tout dépend du genre de jeu aussi. Dans les jeux d'action, les développeurs ont tendance à en mettre partout et je trouve ça dommage, physiologiquement parlant mais aussi artistiquement parlant, cela aplatit les valeurs émotionnelles [rapport à la dynamique plus haut].”

“Cela dépend du type de jeu... Si l'on prend un jeu de combat, il sera assez vite fatigant à écouter. Mais ce n'est pas forcément grave, au bout d'une heure tu es fatigué, tu arrêtes. Et c'est le son et les visuels qui provoquent ça, les deux sont souvent liés.”

On voit ici que le choix de la direction artistique visuelle va très fortement impacter la direction sonore. Le type de jeu va parfois décider de la densité sonore, la sonification est le moyen le plus utilisé par les designers sonores pour donner de l'information au joueur (utiliser les visuels pour créer les sons). Dans un autre exemple, un de mes interlocuteurs m'a décrit l'univers artistique sur lequel il devait travailler, cette fois-ci dans un autre registre que l'action :

⁵⁶ DOOM. Bethesda, 2016.

⁵⁷ Call of Duty . Activision, n.d.

“Sans rentrer dans les détails, le jeu sur lequel je travaille aujourd'hui est calme dans sa narration, statique. Il y a peu de faune et de flore sur lesquels proposer des feedbacks sonores au joueur, rendant l'ambiance sonore peu dynamique qui, même si faible en intensité, provoque de la fatigue auditive. Il y a aussi un travail sur le vent à faire dans ce jeu pour justement remplir, qui touche à des fréquences assez agressives à l'oreille.”

Il semble que les problématiques de direction artistique ne soient pas toujours dans les mains des designers sonores, amenant une écologie sonore parfois fragile par choix (conscient ou inconscient) des équipes artistiques et non sonores. L'écologie sonore peut être un choix lié à la direction artistique, mais les développeur·euses peuvent aussi choisir (sciemment ou non) de faire des jeux qui ne respectent pas cette écologie. Il serait intéressant de savoir les limites de ces choix “brisant” les règles, et je pense qu'il faut aller s'intéresser à l'accessibilité pour proposer des moyens aux développeur·euses de choisir de faire des environnements sonores denses tout en provoquant le moins possible la fatigue auditive, peut-être avec des outils. Pour pouvoir creuser cette proposition, je me suis intéressé plus précisément au rapport qu'entretient la production de jeux vidéo avec la fatigue auditive. Est-elle assez prise en compte dans la production par tous les corps de travail ?

De la fatigue auditive dans la production de jeux vidéo

Lorsque je posais cette précédente question à mes interlocuteurs, les réponses semblaient toutes tourner autour du fait que les décisions prises sont toujours prises par eux, les designers sonores, sans rapport avec un planning. Il n'y a pas de tâches

spécifiques allouées à la “vérification” de l’état de l’écologie sonore du jeu dans la production, c’est toujours une appréciation personnelle des designers sonores. Au-delà des normes de dynamique évoquées plus haut, il n’y a pas de motivations autres que personnelles à travailler le son. Cela est peut-être dû à un aspect du design sonore dans la production d’oeuvre sonore par rapport aux autres corps de métier :

“Les autres métiers du monde du jeu vidéo ne sont pas formés au design sonore. Les designers sonores se doivent de comprendre pour s’adapter car nous sommes en bout de chaîne. Le son est littéralement des fois la dernière étape du développement d’un jeu, qui se rajoute à tout.”

Les autres corps de métiers n’ont aujourd’hui pas besoin de connaître comment fonctionne le design sonore pour créer des jeux, créant parfois des jeux très remplis sans qu’ils s’en rendent compte, qui vont par extension créer de la fatigue auditive lorsqu’il faudra rajouter en bout de chaîne le son. Si toute la production de jeu vidéo était plus centrée autour de ces problématiques durant le développement et non pas à la fin, les problématiques pourraient être remarquées plus vite.

Une des solutions pour s’intéresser à la fatigue auditive dans les productions est de considérer ce problème comme un problème d’accessibilité. Mes interlocuteur·rices ont évoqué lors de la discussion l’intérêt qu’ils portaient (à échelles différentes) sur le sujet des différentes options d’accessibilité disponibles aujourd’hui. On propose aujourd’hui très souvent aux joueur·euses de modifier le volume des fx, de la musique. Ces options d’accessibilité précises ne sont pas vérifiées dans leur utilité et très souvent sont proposées sans réfléchir au pourquoi de leur existence.

“Il y a des options d’accessibilité sonore dans les jeux. Elles ne sont malheureusement que très rarement autres que des volontés internes, parce que

telle ou telle personne dans l'équipe trouve ces sons précis agressifs par exemple. Il n'y a pas de vérifications avec des outils pour voir si une telle ou telle partie pourrait causer de la fatigue auditive."

Cependant, certains jeux aujourd'hui commencent à s'intéresser aux limites de leur environnement sonore et à la fatigue auditive qu'ils causent. Au-delà d'une réussite artistique ou de mixage des environnements sonores de l'équipe audio d'un jeu, il pourrait être intéressant de proposer des outils aux designers sonores et à tous les métiers du jeu vidéo pour les aider à se rendre compte de la fatigue auditive causée par leurs environnements sonores. Ils pourraient ensuite choisir sciemment de briser des règles, car ils auraient accès facilement et simplement à ces règles et les conséquences liées lorsqu'on les brise. Cette discussion évoque forcément des questions d'accessibilité et le débat est commun. Proposer des jeux respectant une écologie sonore revient tout autant à les rendre plus accessibles qu'à proposer une vision artistique différente.

Critique de ces entretiens

Avant de continuer sur ce sujet de l'accessibilité, il est important d'apporter des limites aux conclusions liées à ces entretiens. Ces entretiens de 5 expert·es ne semblent pas suffisants pour représenter l'entièreté de l'industrie des œuvres interactives. Ces entretiens sont aussi des entretiens subjectifs de designers sonores, et non des mesures quantitatives ou qualitatives de la réalité du terrain (du côté expérience utilisateur donc). On a vu qu'il était aujourd'hui dur de récupérer des données utilisateurs sur le rapport au son et à la fatigue auditive d'un·e joueur·euse. Il faudrait pour appuyer mes propos et ceux de mes interlocuteur·rices trouver un moyen de mesurer plus efficacement cette fatigue auditive des œuvres interactives.

Cependant, l'ouverture de la discussion sur la fatigue auditive dans les jeux vidéo proposée par ce papier pourrait permettre à l'industrie de s'intéresser plus en amont de la production à ces problématiques, et proposer des solutions orientées utilisateur·rices et développeur·euses. Tous les corps de métier pourraient se sentir intéressés par le sujet, évoquant la fatigue auditive mais aussi et tout simplement une fatigue qu'on pourrait appeler *fatigue interactive*, liant fatigue auditive, fatigue visuelle et fatigue liée la concentration demandée pour l'avancée dans les jeux (résoudre les énigmes, comprendre les règles, les commandes etc).

“Rien que d’avoir parlé de ça avec toi me donne envie de m’intéresser plus à la valeur de ce sujet [la fatigue auditive] dans mes productions.”

“Ce [la fatigue auditive] n’est pas conscientisé aujourd’hui, ça mériterait de l’être plus.”

V. Un pas vers l'accessibilité et la création d'outils

La fatigue auditive dans la production d'œuvres interactives n'est donc ni un sujet totalement artistique, ni un sujet totalement d'accessibilité. Cependant, on a vu que ces directions artistiques n'empêchaient pas forcément l'apparition d'options d'accessibilité. Mesurer la fatigue auditive n'est pas une tâche simple dans une œuvre interactive, notamment à cause des règles de psychoacoustique dans l'écologie sonore (fig 12), des règles liées à la subjectivité de notre rapport au son en tant qu'humain.

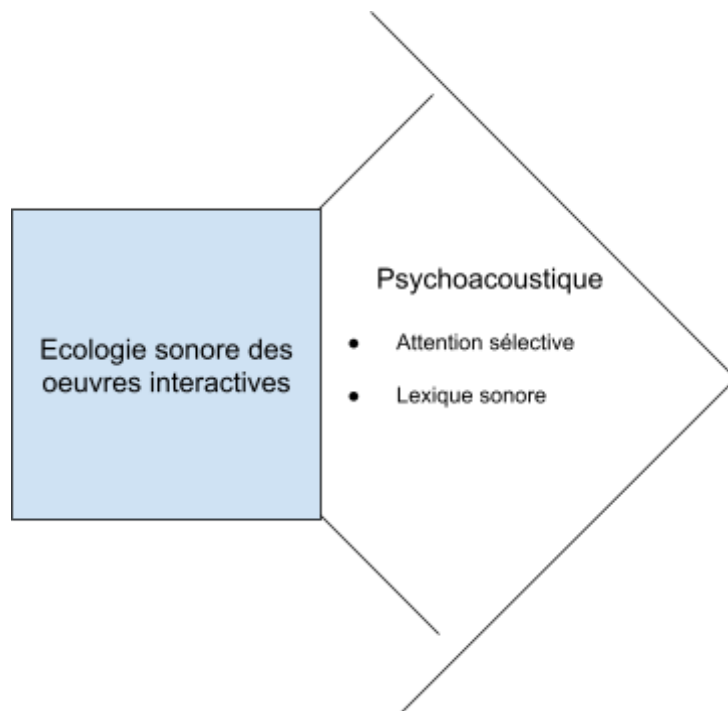


fig 12 : Partie "Psychoacoustique" de l'écologie sonore des oeuvres interactive

La création d'outils qui donneraient une solution commune à toute la fatigue auditive n'est pas possible dans une œuvre interactive, et on sait aussi que la fatigue auditive finira forcément par arriver, car c'est un processus qui existe dans le temps, il est inévitable. Cependant, lors de nos discussions, il est ressorti que la création d'outils pourrait aider grandement les designers sonores et les joueur·euses à combattre cette fatigue auditive.

"Si il y a de la fatigue auditive dans le jeu, cela veut dire que l'équipe audio n'a pas réussi son challenge d'avoir une expérience sonore agréable sans modification externe. On se base souvent sur notre expérience en tant que designer sonore, puis celle de nos collègues directs pour faire nos choix. Si on pouvait avoir des critères comme les LUFS pour d'autres choses liées à la fatigue auditive ça serait cool."

Outils de mesures aux designers

Un des outils aujourd'hui utilisé par les designers sonores pour éviter la fatigue auditive sans le savoir est l'intensomètre, qui permet de mesurer des intensités intégrées dans le temps, outil très utilisé aujourd'hui dans tous les types de médias utilisant le son et ses normes, comme on l'a vu plus haut. On en voit un exemple dans la fig 13. On voit notamment les mesures de LUFS dans différentes plages de temps.

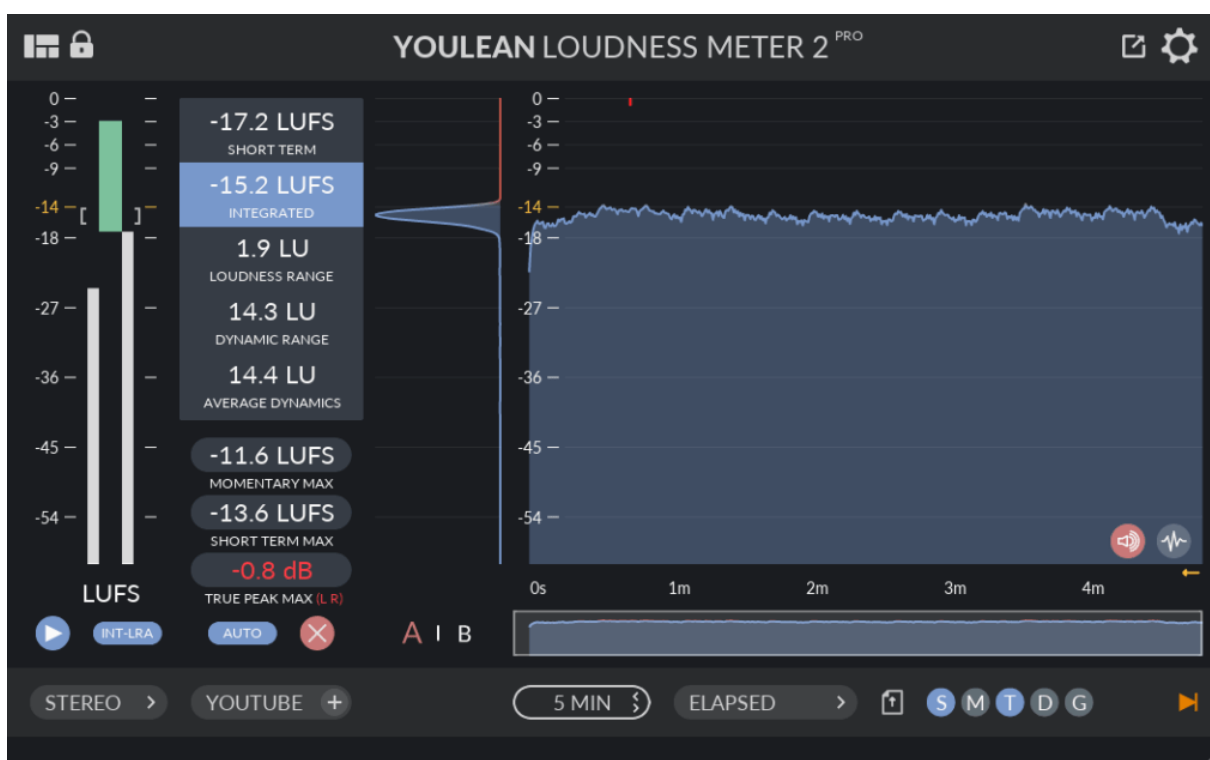


fig 13 : Intensomètre Youlean⁵⁸

Cet outil classique est un des outils qui pourraient rentrer dans les mesures de dynamique de l'environnement sonore (fig 13), même si, on l'a vu, il est difficile aujourd'hui dans une œuvre interactive de mesurer parfaitement la dynamique et globale et locale.

⁵⁸ Youlean. "Youlean Loudness Meter - Free VST, AU and AAX Plugin," September 9, 2017. <https://youlean.co/youlean-loudness-meter/>.

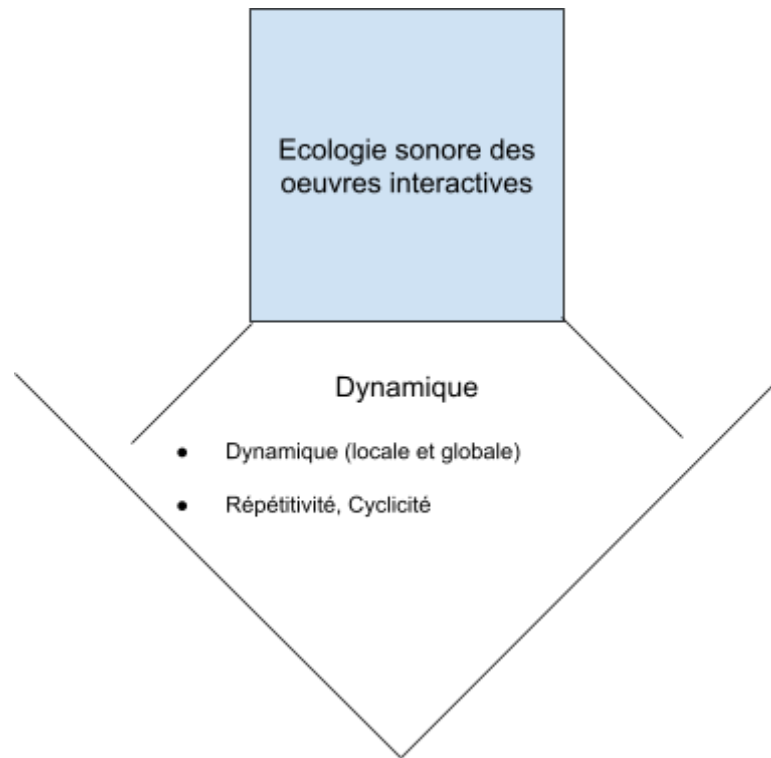


fig 14 : Partie "Dynamique" de l'écologie sonore des oeuvres interactives

On voit que les outils aujourd'hui utilisés par les designers sonores ne sont pas tout à fait adaptés à la complexité du côté interactif de l'œuvre. Sur cette fig 14 on peut voir aussi le côté cyclique des sons qui aujourd'hui n'est repérable qu'à l'appréciation du designer sonore. Chaque point de l'écologie sonore d'une œuvre interactive mériterait d'être traité pour proposer des outils aux designers sonores (et non pas des normes) pour aider à l'appréciation de cette fatigue et pouvoir être pédagogue sur le sujet, pour les designers sonores mais aussi pour les autres métiers, pour pouvoir comprendre le problème en amont.

Outils d'accessibilité aux joueur·euses

S'intéresser au problème de la fatigue auditive en amont rentre dans un débat sur l'accessibilité dans les jeux, autre problématique qui se doit d'être prise en compte en amont pour pouvoir au mieux l'appréhender.

“On doit parler de l’accessibilité en début de production pour les intégrer dans les jeux, sinon elle passe à la trappe encore aujourd’hui.”

Cependant, l’accessibilité sonore est aujourd’hui trop mise de côté. La production de jeux vidéo s’intéresse de plus en plus à l’accessibilité en général, permettant d’atteindre plus de cibles, et considère le son comme une feature d’accessibilité en plus. Il ne faudrait pas oublier comme on vient de le voir que le son a ses problématiques d’accessibilité lui-même.

S’intéresser par exemple aux problèmes d’hyperacousie (l’hyperacousie est une pathologie généralement incurable qui se caractérise par un dysfonctionnement de l’audition qui occasionne une hypersensibilité de l’ouïe ⁵⁹) ou encore les personnes souffrant d’acouphènes⁶⁰ pourrait permettre d’avoir accès à des données fiables sur des limites des environnements sonores et créer des outils de mesures pour les designers sonores. Aussi, cela permettrait aussi de proposer des outils d’accessibilité pour les joueur·euses qui subissent ces problématiques, et qui pourrait aussi aider les joueur·euses qui ne les ont pas forcément à réduire la fatigue auditive (et surtout les designers sonores à mieux comprendre ce qui peut causer la fatigue auditive), de la même manière qu’on a créé la télécommande pour les personnes à mobilité réduite, télécommande qui est aujourd’hui utilisée par tout le monde.

VI. Conclusion

Un adage existe parmi les designers sonores : “Si on n’a pas de retour sur le son, c’est que c’est bien fait”. Il est cependant parfois difficile pour l’humain de juger

⁵⁹ ———. “Hyperacousie.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, January 11, 2006.
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Hyperacousie>.

⁶⁰ Wikimedia, Contributeurs aux projets. “Acouphène.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, May 4, 2004.
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Acouph%C3%A8ne>.

l'environnement sonore d'une œuvre interactive sans le lier voire même l'effacer face à toute l'expérience qu'il vient de vivre, forçant les seuls retours liés aux sons de l'utilisateur·rice à être dans les cas extrêmes. De fait, la fatigue auditive devient un problème rarement existant dans les jeux vidéo si l'on s'en tient à ses retours. Cependant, je vois la fatigue auditive comme un frein à l'expérience de jeu des joueur·reuses dans certains cas. Elle peut être un frein à la concentration du joueur, qui par extension perdra doucement son immersion et la quantité d'information qu'il peut récupérer sur le jeu, entachant son expérience et la mémoire qu'il s'en fera. Elle peut être aussi un frein à sa jouabilité tout simplement, empêchant des démographies entières d'approcher l'œuvre.

Le design sonore est construit autour du jeu vidéo et non pas en racine de ce dernier dans la plupart des cas. Il doit s'adapter à des directions artistiques et des volontés narratives fortes. Du côté artistique, réussir à faire entrer la fatigue auditive dans les débats internes des productions de jeux vidéo pourrait permettre de s'intéresser à la réussite de la mise en scène visuelle et narrative globale, la fatigue auditive et ces derniers points étant liés.

Nous l'avons vu, il est en l'état suffisamment difficile de découper les problèmes causant la fatigue auditive pour pouvoir créer des outils de mesures d'écologie sonores des œuvres interactives. Je pense que pour pouvoir découper cette écologie sonore en mesures, il faudrait s'y intéresser dans les détails, la pousser plus loin pour pouvoir enfin proposer des outils de mesures viables dans des environnements interactifs. Pour se faire, il semblerait que s'approcher des idées de l'accessibilité dans les jeux vidéo et des pathologies auditives pourrait être la bonne voie pour pouvoir mieux mesurer les limites de l'écologie sonore d'un jeu vidéo, afin d'ensuite proposer des outils. Il est je pense impossible de trouver un outil commun à toutes les problématiques de l'écologie sonore des œuvres interactives, mais il est possible, comme on le fait avec les productions musicales, de proposer différents outils qui touchent à des parties spécifiques de cette écologie sonore. Ces outils n'auraient pas pour but d'uniformiser les performances artistiques des designers

sonores comme pourrait le faire une norme, mais plus, comme un intensomètre, de proposer des valeurs claires au designer sonore et même aux équipes autres que l'expérience et l'appréciation personnelle. En effet, avoir plus de métriques permettrait aussi une certaine approche pédagogique vers les autres équipes créatives pour la compréhension des problématiques sonores d'un jeu vidéo.

L'accessibilité est un sujet qui est de plus en plus évoqué dans les jeux, et qui malgré des réfractaires, si bien utilisé ne peut apporter que du bien au médium selon moi. L'audio a pour le moment été trop mis de côté dans cette discussion sur l'accessibilité, rendu à l'état de fonction d'accessibilité lui-même⁶¹ Les fonctions d'accessibilités audio des jeux vidéo mériteraient d'être bien plus poussées, pour toucher aux sensibilités différentes. Certaines oeuvres interactives s'intéressent déjà à d'autres fonctions d'accessibilités, par exemple on peut trouver dans Chicory⁶² un moyen d'enlever les sons "mouillés" qui peuvent être très désagréables à l'oreille de certains, comme l'ASMR⁶³ peut l'être aussi.

Au-delà de ces points, je pense que les environnements sonores humains quotidiens sont déjà fatigants auditivement, et je pense que les jeux vidéo méritent une attention particulière pour ne pas devenir du bruit à leur tour, chose que veulent absolument éviter tout·e créateur·rice d'œuvre. De la musique à la télévision en passant par le cinéma, le son n'arrête pas. Il souhaite toujours prendre plus d'attention à l'humain pour ne finir par être que bruit.

Le jeu vidéo a cette particularité de pouvoir nous transporter dans des environnements visuels et sonores inexplorables. Il n'est pas de notre devoir en tant qu'architectes de ces lieux imaginaires de les remplir jusqu'à boursouflure, au contraire.

⁶¹ Ciccarelli, David. "How To Make Video Games More Accessible Through Sound Design." *Voices*, November 14, 2018.
<https://www.voices.com/blog/how-video-game-sound-design-improves-accessibility/>.

⁶² *Chicory*. Finji, 2021.

⁶³ Contributors to Wikimedia projects. "ASMR." Wikipedia, November 3, 2022.
<https://en.wikipedia.org/wiki/ASMR>.

L'espace va donner vie à notre imagination, et ancrer comme œuvre l'expérience que l'on vient de vivre. Alors, ici, le silence devient l'instrument de musique imaginatif parfait, nous forçant à remplir ses lacunes et créer une impression de beaucoup avec peu. Le silence, pour donner valeur au bruit.

Références

Anderson, Joseph. *The Reality of Illusion: An Ecological Approach to Cognitive Film Theory*. SIU Press, 1998.

“Anthropophonie — Wiktionnaire.” Accessed November 11, 2022.

<https://fr.wiktionary.org/wiki/anthropophonie>.

Apex : Legends. Respawn Entertainment / EA, 2019.

Atkinson, Rowland. “Ecology of Sound: The Sonic Order of Urban Space.” *Urban Studies* 44, no. 10 (September 2007): 1905–17. <https://doi.org/10.1080/00420980701471901>.

Benjamin Kenwright. “There’s More to Sound Than Meets the Ear: Sound in Interactive Environments,” 2020.

“Biophonie — Wiktionnaire.” Accessed November 11, 2022.

<https://fr.wiktionary.org/wiki/biophonie>.

Birgitta Berglund, Claire Anne Eriksen and Mats E. Nilsson. “Exploring Perceptual Content in Soundscapes,” 2001.

Call of Duty. Activision, n.d.

Chen, Chiou-Jong, Yu-Tung Dai, Yih-Min Sun, Yi-Chang Lin, and Yow-Jer Juang. “Evaluation of Auditory Fatigue in Combined Noise, Heat and Workload Exposure.” *Industrial Health* 45, no. 4 (2007): 527–34. <https://doi.org/10.2486/indhealth.45.527>.

Chicory. Finji, 2021.

Ciccarelli, David. “How To Make Video Games More Accessible Through Sound Design.” *Voices*, November 14, 2018.

<https://www.voices.com/blog/how-video-game-sound-design-improves-accessibility/>.

Collins, Karen. *From Pac-Man to Pop Music: Interactive Audio in Games and New Media*. Routledge, 2017.

Contributors to Wikimedia projects. "ASMR." Wikipedia, November 3, 2022.

<https://en.wikipedia.org/wiki/ASMR>.

———. "EBU R 128." Wikipedia, September 16, 2022.

https://en.wikipedia.org/wiki/EBU_R_128.

———. "Soundscape Ecology." Wikipedia, July 18, 2022.

https://en.wikipedia.org/wiki/Soundscape_ecology.

Dean, Jeremy. "Cocktail Party Effect: The Psychology Of Selective Hearing." PsyBlog, July 20, 2021. <https://www.spring.org.uk/2021/07/cocktail-party-effect-psychology.php>.

Department of Health. "Environmental Noise and Health in the UK, Department of Health." London, 2009.

DOOM. Bethesda, 2016.

Farina, Almo. "Soundscape and Landscape Ecology." In *Soundscape Ecology*, 1–28.

Dordrecht: Springer Netherlands, 2013.

http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5_1.

Fletcher, Harvey, and W. A. Munson. "Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation*." *Bell System Technical Journal* 12, no. 4 (October 1933): 377–430.

<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1933.tb00403.x>.

Fremaux, Guy, and David Welch. "Understanding Why People Enjoy Loud Sound." *Seminars in Hearing* 38, no. 04 (October 10, 2017): 348–58.

<https://doi.org/10.1055/s-0037-1606328>.

"Géophonie — Wiktionnaire." Accessed November 11, 2022.

<https://fr.wiktionary.org/wiki/g%C3%A9ophonie>.

Giard, Marie-Helene. "Neurophysiological Mechanisms of Auditory Selective Attention in

- Humans.” *Frontiers in Bioscience* 5, no. 1 (2000): d84. <https://doi.org/10.2741/giard>.
- Glenn, Cheryl. *Unspoken: A Rhetoric of Silence*. SIU Press, 2004.
- Grimshaw, Mark Nicholas . “The Acoustic Ecology of the First-Person Shooter,” 2007. *Hitman Contracts*, 2004.
- Hugo Fastl. “Psychoacoustics and Sound Quality.” *AG Technische Akustik, MMK, TU München*, n.d.
- ISO. “ISO 226:2003.” Accessed November 16, 2022. <https://www.iso.org/fr/standard/34222.html>.
- James Robb. “An Exploration of Informative Sound Design in Video Games,” 2015.
- Kristine Jorgensen. *Left in the Dark: Playing Computer Games with the Sound Turned Off*, 2008.
- Kristine Jørgensen. “On the Functional Aspects of Computer Game Audio,” 2006.
- Kuwano S, Namba S, Fastl H, Schick A. “Evaluation of the Impression of Danger Signals-Comparison between Japanese ,” 1997.
- Lan Hing Ting, Karine . *Ecouter Le Bruit Au Travail : Le Cas Des Centres d’appels et Des Péages d’autoroute.*, 2013.
- “L’échelle Des Décibels.” Accessed October 31, 2022. <https://www.bruitparif.fr/l-echelle-des-decibels/>.
- Lemaitre, Guillaume, and Patrick Susini. “Timbre, Sound Quality, and Sound Design.” In *Timbre: Acoustics, Perception, and Cognition*, 245–72. Cham: Springer International Publishing, 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-14832-4_9.
- “Listening for Loudness in Video Games – Stephen Schappler,” n.d. <https://www.stephenschappler.com/2013/07/26/listening-for-loudness-in-video-games/>.

Monikheim, Sabine. *Etude Psychoacoustique de La Fatigue Auditive à Court Terme*, 1991.

Ng, Patrick, and Keith Nesbitt. "Informative Sound Design in Video Games." In *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment Matters of Life and Death - IE '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1145/2513002.2513015>.

———. "Informative Sound Design in Video Games." In *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment Matters of Life and Death - IE '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. <http://dx.doi.org/10.1145/2513002.2513015>.

Payne, Sarah R. "The Production of a Perceived Restorativeness Soundscape Scale." *Applied Acoustics* 74, no. 2 (February 2013): 255–63.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.11.005>.

"Que Sont Les LUFS : Le Guide Complet Du Débutant." Accessed November 12, 2022.
<https://emastered.com/fr/blog/what-are-lufs>.

Raposo, Devin. "In Praise of Silence in Videogames." Kill Screen - Previously, June 22, 2015. <https://killscreen.com/previously/articles/praise-silence-videogames/>.

Roberto Benocci, Giovanni Brambilla, Alessandro Bisceglie and Giovanni Zambon. "Sound Ecology Indicators Applied to Urban Parks: A Preliminary Study," 2020.

Schroeder, Ralph. *Possible Worlds: The Social Dynamic of Virtual Reality Technology*, 1996.

Schwela, Dietrich H. "The New World Health Organization Guidelines for Community Noise." *Noise Control Engineering Journal* 49, no. 4 (2001): 193.
<https://doi.org/10.3397/1.2839659>.

Sonia CROTTAZ-HERBETTE . "Attention Spatiale Auditive et Visuelle Chez Des Patients Héminégligents et Des Sujets Normaux: Etude Clinique, Comportementale et Électrophysiologique." UNIVERSITÉ DE GENÈVE, 2001.

Stansfeld RA, Berglund B, Clark C, et al. "Aircraft and Road Traffic Noise and Children's

Cognition and Health: A Cross National Study.” *Lancet*, 2005.

Stephen A. Brewster, Peter C. Wright and Alistair D. N. Edwards. “A Detailed Investigation into the Effectiveness of Earcons,” 1997.

Susini, Patrick, Stephen McAdams, Suzanne Winsberg, Ivan Perry, Sandrine Vieillard, and Xavier Rodet. “Characterizing the Sound Quality of Air-Conditioning Noise.” *Applied Acoustics* 65, no. 8 (August 2004): 763–90.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.02.003>.

“There’s More to Sound than Meets the Ear,” n.d.

Tjeerd C. Andringa, Kirsten A. van den Bosch. “Core Affect and Soundscape Assessment: Fore- and Background Soundscape Design for Quality of Life,” 2013.

Ute Jekosch . “Sound Perception and Sound Design ,” 2006.

Warcraft III . Blizzard, 2002.

Wikimedia, Contributeurs aux projets. “Acouphène.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, May 4, 2004.
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Acouph%C3%A8ne>.

———. “Courbe Isosonique.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, July 25, 2006.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Courbe_isosonique#cite_ref-Rossi_2-0.

———. “Dynamique Sonore.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, December 18, 2005.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Dynamique_sonore.

———. “Expérience Utilisateur.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, April 16, 2008.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Exp%C3%A9rience_utilisateur.

———. “Hyperacousie.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, January 11, 2006.
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Hyperacousie>.

———. “Moteur de Jeu.” *Fondation Wikimedia, Inc.*, April 11, 2005.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_de_jeu.

Youlean. "Youlean Loudness Meter - Free VST, AU and AAX Plugin," September 9, 2017.
<https://youlean.co/youlean-loudness-meter/>.

Annexes

Annexe 1 : Questions sur l'ambiance et le son posées au joueur·euses

Si tu devais décrire l'ambiance du jeu, quels termes utiliserais-tu ? (Deux ou trois adjectifs suffisent)	Est-ce que l'ambiance sonore t'a aidé dans l'immersion de l'univers du jeu ?	Est-ce que des éléments sonores spécifiques ont pu t'aider à savoir où aller ? Où appuyer ? (Donne des exemples, comme des résolutions d'énigmes où le son a pu vous aider)	Est-ce que des éléments sonores spécifiques ont pu t'aider à savoir ce qu'étaient certains éléments ? (Donne des exemples, comme l'appareil photo, ou les ascenseurs par exemple)
Calme, science-fiction (bruits types lasers)	Discrète Un peu plus marqué peut-être Un thème musical de temps en temps (comme outer wilds, de temps en temps)	Pas tant marqué par ça J'ai pas tendance à faire gaffe non plus	Pas tant marqué par ça
Mystérieux Ancien Mythique	Oui, cite la source Discret, pas déranger	Non pas forcément	Peut-être inconsciemment
Mystique Technique Futur Pas de peur	Oui Le son est trop répétitif	Oui, les clics sont sympas	Manque sur les ascenseurs aide pour savoir si éteint ou pas , pas aide à utiliser mais l'indication pour quoi faire était plutôt visuelle (lumière sac par ex)
angoissant même si un peu fort comme mot ; très mécanique (bcp de biz)	un peu	non	La boue, vu que le bruit est visqueux Immersion avec portes et ascenseurs
Calme, posé	Ouai	Pas forcément	Les pas
Solitude Exploration Curiosité	Oui, bien fait Que ce soit la sphere ou les pas qui resonne La déformation marrante	Peut-être mais je m'en souviens plus, surement Son + image souvent, voir que qqchose s'activait bien, notamment les trucs qui tournaient	
Vide Spatial Mystérieux			
Classique au niveau du son, déjà entendu	Pas vraiment	Pas du tout, pas besoin en plus	Des bruits d'ondes
Mystique Futuriste	Bien pour s'immerger Drones faisaient ondes gamma pour se focus, ajoute un effet mystique	Bruits d'éboulements bruits	
Pixel art Sci-fi Dead Space calme	Oui, calme permet concentration	Pas forcément,	Ascenseurs interrupteurs Shield
Futuristique Métallique Scientifique			
Base souterraine scientifique sous mars	Oui	La source, ça faisait cœur	

<p>Certains niveaux n'ont pas d'ambiance sonore, ou très peu, est-ce que cela t'as compliqué la tâche de compréhension ? Donnez des exemples si vous en avez</p>	<p>Et au niveau de l'immersion dans l'univers ?</p>
Non	Un peu
Non	Non
Non	Un peu
Non	Un peu
Non	Non
Non	Un peu
Non	Non
Non	Non
Non	Un peu
Non	Un peu

Annexe 2

Certains niveaux n'ont pas d'ambiance sonore, ou très peu, est-ce que cela t'as compliqué la tâche de compréhension ?

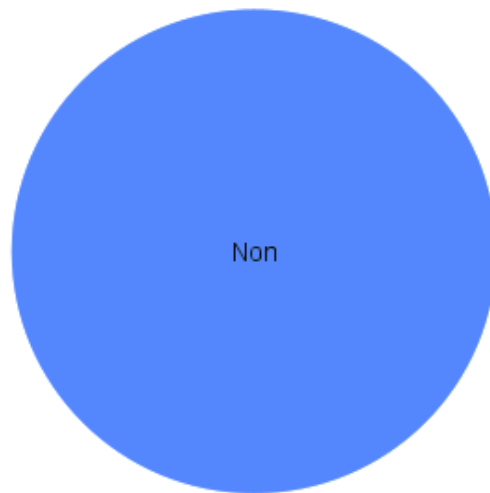


fig 7 : Réponse à la question : "Certains niveaux n'ont pas d'ambiance sonore, ou très peu, est-ce que cela t'as compliqué la tâche de compréhension ?"

Certains niveaux n'ont pas d'ambiance sonore, est ce que ça t'as compliqué dans l'immersion dans l'univers ?

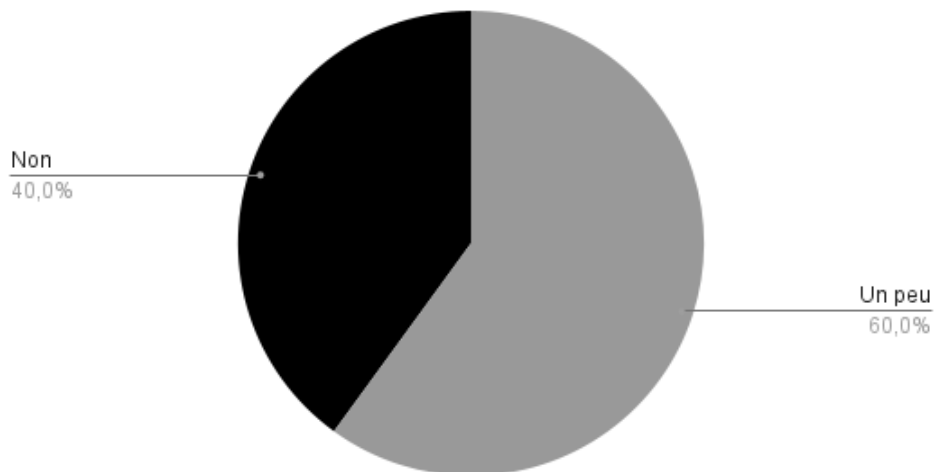


fig 8 : Réponse à la question : Certains niveaux n'ont pas d'ambiance sonore, est ce que ça t'as compliqué la tâche dans l'immersion dans l'univers ?

Annexe 3 : Entretiens (méthodologie des entretiens)

- Entretiens entre moi et 5 expert·es travaillant dans le design sonore dans les jeux vidéo (Un·e par un·e). Je présente en amont le sujet de ma thèse et les termes liés (environnement sonore, fatigue auditive et écologie sonore)
- Les questions posées étaient toutes ouvertes, pour avoir le plus d'informations et de rebondissements de discussions possibles. Les thèmes fils rouge abordés étaient :
 - Qu'est ce qui définit un bon environnement sonore dans un jeu ?
 - A quel point la fatigue auditive est-elle considérée dans la production de jeux vidéo aujourd'hui ? Devrait-elle l'être plus ?
 - Serait-il intéressant d'avoir des outils de mesure de la fatigue auditive pour aider les designers sonores ?
 - Est-ce que selon toi le sujet de la fatigue auditive est un sujet d'accessibilité ?
- Durée : 1h max par entretien
- L'approche n'a été que de garder les remarques qui ont été faites dans plus de 79% des cas, ou plus de 39% des cas si on peut faire un lien avec des pratiques de l'écologie sonore