

Du monde sonore au monde bruyant - Dr Renaud Siméon

Est-ce qu'il y a des zones que l'on n'arrive pas à débloquent ?

Je ne pense pas qu'il y a des zones que nous n'arrivons pas à débloquent. Je pense qu'il y a des zones de la cochlée que l'on n'arrive pas à stimuler. Lorsque les électrodes sont en place, lorsque le réglage est optimal, on ne sait pas s'il y a des distorsions. On fait un test, on voit que les gens entendent le 1000, le 2000 Hertz. Mais est-ce qu'ils perçoivent le 2000 Hertz comme les normaux entendants ? On ne peut pas en être certain. Mais il y a les fondamentaux pour comprendre le langage. Si cet endroit n'est pas stimulé comme il faut, on n'arrive pas à débloquent des zones qui correspondent à cela. C'est plus au niveau de l'audition qu'au niveau cortical.

Dans la présentation, nous serons deux intervenants. J'aurais une partie diapo classique. Et un ingénieur du son va faire l'illustration sonore de la présentation.

Dans l'exposé du monde sonore au monde bruyant. On va faire une installation pour mettre un vidéo projecteur supplémentaire afin que vous ayez l'image du son qu'il apporte dans la présentation.

Nous avons des représentations comme ceci avec des ondes qui correspondent à des pics, des dépressions. L'image simple, je fais tomber quelque chose dans de l'eau. On voit l'onde qui se propage comme cela.

Nous avons une illustration sonore là-bas de ce que je présente là.

Cela devrait être fonctionnel dans quelques minutes. En espérant que cela fonctionne, comme toujours.

Nous allons voir si nous avons un peu de son.

Est-ce que l'on peut monter le volume de votre côté ?

... Plus l'oscillation est rapide, plus le son intégré. On monte dans les aigus, l'oscillation est encore plus rapide. On va encore plus aigu.

On va grossir le schéma.

On part entrer un peu plus près des atomes. On va intégrer la dimension du temps. On va regarder un point particulier, celui-ci, une petite molécule. On va la suivre dans le temps. On va voir son déplacement, on va voir ce que cela provoque dans le temps. Je vais l'exciter, la faire se déplacer.

On voit cette petite molécule qui produit un mouvement sinusoïdal. Si on va plus vite, plus aigu. Ce n'est pas très joli. Cela ne se voit pas très bien. J'ai un petit problème de représentation. C'est une sinusoïde très serrée qui représente une onde aiguë. Sur les graves, cela fonctionne un peu plus.

Concernant le son, sur l'onde acoustique, le son arrête. Car il y a de l'énergie qui se perd. Le son va s'atténuer. Il y a des milieux qui arrêtent des sons plus ou moins facilement. Les sons graves montrés par Thierry au départ sont des ondes très longues. Cela traverse les murs facilement. Cela est transmis plus facilement par les murs du voisinage. Cela génère des nuisances sonores plus volontiers. Par rapport à des sons aigus qui vont pouvoir être arrêtés par des obstacles plus fins.

Je peux rebondir sur ce que tu dis.

Le son traverse les murs. C'est quelque chose que l'on peut comprendre un peu. Mais pas tous les sons. Cela dépend de la fréquence des sons. Un son grave à une onde assez grande. La longueur d'onde est plus importante dans l'air. Pour les sons graves, on peut avoir des longueurs de l'ordre du mètre, ou plusieurs mètres. Il faut plusieurs mètres d'épaisseur pour arrêter un son grave. Il faut un obstacle plus gros que l'onde pour l'arrêter. Lorsque l'on passe à côté d'un milieu bruyant, un bar, on n'entend que les sons graves. Les aigus sont arrêtés par les petits obstacles. Les graves traversent les murs.

Qu'est-ce que c'est qu'un son ? C'est une association d'ondes qui sera caractérisée par la hauteur, le côté aigu, l'intensité faible ou forte. Et après, il y a le timbre, qui va donner l'identité du son, et la durée.

Nous avons une courbe, c'est la fondamentale. Nous avons la division qui fait les harmoniques. Il y a un enrichissement de la courbe de base. On voit différents instruments qui sont schématisés. Il y a du diapason qui est pratiquement du son pur. La flûte, c'est un instrument qui va se rapprocher de son pur. Sur d'autres instruments, nous aurons des harmoniques qui vont s'ajouter qui vont enrichir le son. Thierry va illustrer directement.

Ma représentation est un peu floue, on ne voit pas grand-chose. J'ai généré une onde sinusoïdale, une onde pure.

C'est une seule fréquence. Nous allons l'écouter.

Vous faites peut-être des tests de diction. On vous fait parfois écouter des fréquences pures. Nous allons écouter une fréquence de 500 Hz.

Il s'agit de 500 oscillations par seconde.

On voit les oscillations qui sont représentées ici.

1500 Hz. Les petites ondes sont beaucoup plus serrées. Cela correspondait à ce que nous avons vu avec les vibrations de nos molécules. C'est un son aigu.

Maintenant, nous allons assembler les deux. Un son à 500 Hz, plus un son à 1500 Hz.

Je vais dessiner avec mon doigt. On fait une première oscillation. Et dans la première oscillation, il y a une deuxième oscillation. La forme, ce sont des M, et des W. Ce ne sont plus des sons purs, mais des harmoniques, des fréquences qui s'additionnent.

Je reviens à 500 Hz, 500 + 1500. Le son est plus riche. Ce n'est pas encore ultra beau. Mais c'est plus riche.

Nous allons continuer avec l'audition. Vous avez compris qu'un son, c'est une onde acoustique. C'est quelque chose qui donne une pression. Dans l'oreille, on a la partie externe. Le tympan et l'oreille moyenne transmettent les ondes pressionnelles vers la cochlée. Cette dernière assure une transmission sensorielle du son. Si le système est défectueux cela occasionne une perte d'audition. La perte fonctionnelle totale de la cochlée ne permet plus la détection sonore. Dans ces situations, cet endroit que l'on place l'électrode d'un implant cochléaire

La cochlée se présente comme une coquille, un colimaçon. Les sons sont traités de manière tonotopique. En fonction de l'endroit où l'on se trouve, on va avoir une prise en charge de la fréquence qui correspond. De la base à l'apex vont être générées les fréquences les plus aiguës jusqu'aux plus graves.

Derrière, je montre les photos, car c'est toujours plaisant d'observer une cochlée. Nous avons des cellules qui sont alignées, ce sont les cellules ciliées externes. Elles jouent un rôle dans la tonotopie. Il y a les cellules ciliées internes, pour la transformation d'un message mécanique en message électrique. Les cils sont reliés par des petits ponts. Les mouvements s'accompagnent de déplacements ioniques, c'est de la biochimie. C'est ici que se transforme un signal mécanique en signal électrique qui va être conduit par le nerf. Au final, le cerveau va tout faire, au sens où il va permettre la compréhension, comme les mots que vous entendez en ce moment.

Qu'est-ce qu'un bruit ? C'est un son inharmonique. Nous sommes dans quelque chose de plus complexe. Cela fait référence au brame du cerf. C'est plutôt un son désagréable pour beaucoup de gens. Le bruit, c'est donc quelque chose qui est jugé indésirable, même s'il a un rôle de communication, d'informations.

Dans la notion de bruit, Thierry va vous faire des démonstrations. Ce qui est important, c'est la notion d'intensité. Plus l'on monte, plus c'est fort. L'avion, c'est très dérangement. Il y a des choses dans le

voisinage et dans la vie collective qui peuvent être gênantes. Surtout si cela dure, si l'on veut être tranquille et se reposer. Dans l'environnement urbain, il y a beaucoup de choses qui sont bruyantes.

Dans les baladeurs, il y a une limitation à 90 dB. Au-delà de deux heures, on commence à abîmer l'oreille interne. 110 dB, c'est cela : le métro à New York ; moins d'une minute, et cela commence à être agressif. Cela peut donc aller assez vite.

Je reviens sur la représentation du son. On s'appuie beaucoup dessus dans mon travail. Cela peut vous parler. On a vu la représentation sous forme d'onde, une sinusoïde pour évaluer si le son est aigu ou grave. Nous avons ici un spectrographe. Nous avons deux lignes qui correspondent à ce que l'on entendait.

Plus c'est coloré et jaune, plus il y a d'intensité. Ici, il y a deux fréquences qui composent ce son. Il faut garder cela en tête.

Je parle du spectrogramme. C'est une représentation du son. C'est la même que la représentation en forme d'onde. Cette fois-ci, on a le contenu en fréquence de manière beaucoup plus simple. Ici, on va lire le nombre de fréquences qui composent ce son. J'ai deux sons, j'ai deux lignes. Je vais pouvoir regarder les deux fréquences. Je peux dire que ce sont 500 Hz et 1500 Hz.

Nous sommes justement sur un modèle de spectrogramme, nous avons la flûte. Je vous aide dans la lecture. Plus le son est en haut, plus il est aigu. En bas, les graves. Plus le son est rouge, plus il est intense. Plus la fréquence est présente.

Ici, il n'y a pas un seul son, mais plusieurs fréquences. Ce sont les harmoniques. Un son avec des harmoniques, ce sont des sons avec des fréquences multiples.

Je vous montre un autre son, pour avancer sur la question du bruit. Les sons très riches en harmoniques, ce sont les cuivres dans un orchestre.

Cela parle. On a énormément de lignes qui sont parallèles, des harmoniques. Les harmoniques vont définir le timbre, c'est-à-dire la couleur du son. On peut repérer sa hauteur, il est grave ou aigu. S'il est riche ou pauvre, cela dépend du nombre d'harmoniques.

Vous êtes peut-être déficients auditifs. Vous avez peut-être des problèmes pour avoir les relations entre les harmoniques. Cela vous donne une autre définition des sons qui sont produits.

Un autre exemple ? On s'arrête là ?

Je voudrais revenir sur le bruit.

Je vous propose un petit bruit.

Dans la notion de bruit, j'ai omis de parler de la répétition. Il peut y avoir un bruit qui est assez court et pas trop dérangeant. Le fait qu'il se répète sans arrêt, cela en fait quelque chose de désagréable que l'on assimile à du bruit. Quelque chose de parasite par rapport à notre environnement.

Il va pouvoir l'illustrer.

Et l'on va laisser Thierry faire l'illustration avec son logiciel très intéressant.

On pourrait croire que c'est une trompette, cela pourrait être un son musical. Mais c'est vite un son dérangeant, qui peut devenir un bruit.

C'est une poulie qui grince.

Si l'on entend deux ou trois fois comme cela, ça va, mais si l'on entend cela toute la nuit, cela devient compliqué.

Un bruit, cela peut être un son qui peut revenir, et nous embêter. Vous connaissez la goutte d'eau dans l'évier. Cela peut être terrible.

On peut avoir des sons très petits qui peuvent nous déranger extrêmement.

J'ai un autre bruit.

On peut peut-être aller sur le train. Nous avons une représentation d'un autre bruit, c'est du train. Quand on regarde, il y a beaucoup de choses là-dedans.

On est dans le métro. À Paris.

On va faire moins fort. On va commencer doucement, j'augmenterai tout doucement.

On est autour de 90 dB. On voit que l'on est que dans quelque chose qui est facilement fatigant.

On va accélérer Thierry, sinon, on va nous gronder car le buffet va refroidir.

Ici, c'est rempli de fréquences. C'est tout rouge. C'est énormément fatigant.

C'est une étude qui a été faite. Ils ont mesuré les populations gênées par l'impact du bruit, notamment le bruit urbain. Dans le bruit urbain, ce qui est très gênant, c'est le bruit routier. Derrière, c'est le bruit de télévision, de musique, de radio. Ensuite, les conversations. Enfin,... j'ai un petit trou. C'est l'électroménager.

On voit qu'il y a des zones un peu plus bruyantes. Aux États-Unis, c'est plutôt bruyant, en Allemagne, un peu moins bruyant d'après l'enquête.

Nous sommes sur une représentation de Paris qui montre des zones qui sont plus ou moins bruyantes. C'est uniquement le bruit routier. Cela ne tient pas compte des autres nuisances sonores. Habiter auprès du périphérique, des grands axes routiers, etc. ici, ce n'est pas terrible.

Il y a quand même un impact en termes de bruit de la circulation quand on habite en milieu urbain.

L'étude menée par Amplifon a montré qu'il y avait une corrélation entre une forte exposition au bruit, et des conséquences auditives, en termes de compréhension dans le brouhaha. Il y a des conséquences à cette exposition au bruit urbain.

Ici, c'est ce que l'on fait ici avec un audiogramme qui montre une encoche lorsqu'il y a un déficit. Une encoche sur l'espèce d'escargot, la cochlée, se traduit par des cellules en moins.

Il y a moins de traitement du signal sonore.

Ici une autre représentation avec une perte sur plusieurs fréquences, avec une zone où il n'y a pas plus grand-chose, comme ici. Thierry va illustrer cela, car il y a une implication de cette perte cellulaire sur l'écoute d'un instrument de musique. Il va d'abord vous montrer le morceau de musique avec une audition normale puis, il va jouer avec son logiciel pour essayer de représenter cela. Vous allez voir ce que cela donne sur le plan auditif.

On commence sans perte auditive.

Maintenant, je vais essayer de représenter cet audiogramme avec cette perte ici, à 4000 Hz. Que j'ai repris dans mon filtre. J'ai fait un trou de 40 dB qui reprend cette réponse en fréquence de l'audiogramme. J'espère que vous allez sentir une différence.

Voilà. Je vais réactiver.

C'est ouvert. J'enlève à 4000 Hz. Vous percevez ? Je refais normal.

Je fais une petite pause. Je ne sais pas si vous avez perçu. On a quand même enlevé 40 dB à 4000 Hz. Il y a un effet sur cette écoute. On va aller plus loin.

Va faire la représentation de cette image en image sonore. Cela sera encore plus parlant.

On va adapter. Je ne vais plus parler. On va voir l'illustration musicale de ce que je viens de vous expliquer. Vous avez cette perte auditive. Il va utiliser son logiciel pour montrer ce que cela donne par rapport à l'écoute du morceau, en alternant. Je mets le système de filtrage, je l'enlève pour apprécier les différences. On ne parle plus.

Sans filtrage.
Je vais filtrer.

Nous sommes proches d'une surdité sévère.

Avoir une surdité, c'est une baisse de la qualité auditive.

On avance un peu. Je voulais juste évoquer cela. C'est une nouvelle piste de recherche. Dans certains traumatismes sonores, après l'audiogramme se normalise. On aura les cellules ici. Il semblerait que sous celles-ci, la jonction entre la cellule et le nerf soit abîmée. C'est peut-être une source de vieillissement cochléaire prématuré. On a du mal à déceler cela avec les examens standards. Suite à ces travaux, il va falloir réfléchir à la mise en place d'examens plus spécifiques pour les personnes qui ont subi des traumatismes sonores pour identifier les lésions synaptiques. C'est plutôt pour le futur.

L'exposition amène à des gènes multiples qui vont déboucher sur du stress. Cela dérègle le fonctionnement de l'organisme, peut interférer sur le sommeil, favoriser le développement de pathologies cardio-vasculaires. Il y a donc d'autres conséquences du bruit que sur l'audition.

On a pas mal d'illustrations. Mais nous avons pris du retard.

Ce que l'on voulait évoquer, c'était la musique avec moi. Les comportements, c'est d'avoir des baladeurs, parce que c'est facile. On a des supports qui permettent d'avoir beaucoup de musique avec des casques. Vous avez eu l'exemple de l'environnement bruyant, des transports en commun, de la ville. C'est peut-être un comportement qui est induit par cet environnement plus bruyant et qui permet de se protéger, d'être dans son monde. A ce niveau les technologies peuvent avoir des conséquences. Thierry devra aller plus vite que ce qu'on avait prévu pour parler de cette partie, et de la diapo suivante, sur ce point particulier, ne vous concerne pas directement. C'est l'écoute de la musique au casque quand on se déplace en ville, quand on prend les transports, avec les conséquences.

Voici la forme d'onde dans un premier temps. La forme a un souci. Elle est bloquée dans sa hauteur. C'est comme si on avait donné un coup de ciseaux.

La forme d'onde est compressée. Le signal est compressé. Il est maintenu. C'est de la musique compressée.

On a compressé le volume, mais on peut compresser des données. On peut avoir des fichiers de plus petite taille, et on va parler de MP3. La compression de volume, c'est fort tout le temps.

Le fait d'écouter de la musique toujours fort, cela a un impact sur l'audition.

Le MP3, et la dégradation du fichier, les formats de compression. Je vais vous montrer cela. Dans les petites zones, il y a des carrés. C'est découpé. On a enlevé des données. On a enlevé des petits bouts d'information. On a enlevé de la qualité. Le MP3 dénature le fichier. Cela va tenir dans le téléphone.

Mais au passage, je vais perdre de la qualité d'écoute.

On va faire une illustration sonore. Un casque de type fermé, et un casque ouvert. Pour montrer que le casque, alors que l'on a la même qualité de fichiers, cela va interférer sur le rendu de ce que l'on entend.

Voici un exemple parlant, vous allez entendre des choses très différentes à partir d'une même source.

Pour fabriquer ses fichiers, j'ai mis un micro dans chaque oreille. J'ai mis en boucle un morceau de musique un peu rap. J'ai mis quatre casques différents sur mes oreilles au fur et à mesure. Un premier casque, un deuxième casque, un troisième casque, un quatrième casque. Le volume de sortie de mon

lecteur était le même à chaque fois. Cela veut dire qu'ici, j'ai des volumes qui seront différents alors que mon volume de sortie sur mon ordinateur mon téléphone était exactement le même. Les casques n'ont pas la même sensibilité. Un casque peut-être plus fort qu'un autre à volume égal.

Nous sommes ici sur un casque ouvert.

Casque ouvert, cela veut dire qu'il va laisser un peu d'espace pour écouter autour de nous, et ne pas nous isoler.

Voici un casque ouvert.

Et voici un casque fermé. Cela ne se voit pas mais cela s'écoute. Quand on met un casque fermé, on est isolé dans le son. Ce sont principalement les jeunes qui mettent des casques fermés pour s'isoler. Il ne put entendre les bruits extérieurs.

Son suivant, même volume.

Pardon pour le volume. Vous avez compris que c'était plus fort, et plus fort en grave. Il n'y a pas les mêmes fréquences à l'intérieur du casque. On parle de signature. Chaque casque a une couleur, une signature. On entend plus de graves dans un casque le moins dans l'autre.

_ Pour les gens implantés, vous avez une différence ?

Est-ce qu'il y en a un agréable ?

Ce n'est plus la même écoute, ce n'est plus la même fatigue, cela n'a rien à voir. En termes d'audition, on s'habitue. Pour les gens qui sont jeunes, il va y avoir des soucis.

Le déficit auditif est d'autant plus important que l'on écoute du MP3 depuis longtemps.

Pour finir cet exposé, il va vous montrer comment sur le travail sur le son on peut passer d'un monde bruyant à un monde sonore. Ce sont des choses qui ont été créées. On en choisit une. Vous allez entendre quelque chose qui va évoluer dans l'écoute.

C'est une création sonore qui est faite à base de bruits. Nous avons utilisé des bruits pour faire des sons, de la musique. Et je vais ouvrir la porte vers la création, et parfois un son que l'on n'aimait pas peut devenir un son que l'on aime.

Voilà pour cette illustration.

Merci pour votre attention. Et pour certains votre courage si c'était un peu dur auditivement.

On voulait faire le lien entre le son et le bruit dans le contexte de cette journée. C'est un peu long. C'est peut-être un peu ésotérique pour certains. Mais j'ai trouvé que c'était intéressant comme approche.