

1

**Ondes et
autres histoires
ondulatoires**

Un voisin vibratoire...

C'était notre première nuit dans notre superbe nouvel appartement. Après avoir vécu dans une minuscule chambre miteuse où les souris étaient manifestement bien mieux établies que nous, cet appartement nous semblait sublime. Mais, innocents que nous étions, nous n'avions pas vu qu'une voie ferrée passait à 15 mètres de nos fenêtres.

La première nuit a été celle du désenchantement. Des trains de marchandises de plusieurs kilomètres de long passaient sous nos fenêtres à toute heure de la nuit. De plus, comme nous étions situés à proximité de la gare de triage, les trains restaient immobiles de longues heures sous nos fenêtres. Dès qu'ils démarraient de nouveau, chaque jonction de chaque wagon se remettait sous tension, entraînant un bruit violent et sourd à en faire vibrer nos murs et nos fenêtres.

Notre problème de voie ferrée n'était qu'une manifestation de plus d'une problématique universelle du monde citadin : les bruits générés par le voisinage technologique ou humain. Une autoroute, un voisin amateur de heavy metal, un enfant qui pleure, un couple à l'intimité sportive, une fête, des travailleurs de nuit qui rentrent au beau milieu de la nuit, des animaux qui aboient ou sautent, des

travaux, des disputes, la télévision... Si les habitations sont souvent pensées de façon à être isolées thermiquement (voir chapitre 9), les réglementations nationales/fédérales et locales d'isolation phonique existent, mais sont insuffisantes et rarement prioritaires.



Les ondes

Le son, tout comme la lumière, les vagues, les micro-ondes, un séisme, etc., est une onde. Physiquement, et c'est sans doute le plus difficile à comprendre, une onde est un déplacement d'énergie et non de matière. Lorsque des vagues, ces ondes créées par le vent, s'écrasent sur la plage d'un bord de lac, chacune d'elle ne se déplace pas de plus en plus loin sur la plage. La matière qu'est l'eau ne se déplace pas, elle reste en moyenne au même niveau; seule l'énergie de la vague se déplace.

À l'aube suivant cette première nuit, après avoir à peine connu le sommeil, je me suis précipitée sur mon ordinateur à la recherche de solutions. Était-il possible d'améliorer l'isolation une fois une habitation construite? Pouvait-on réduire le bruit de ses voisins ou d'une satanée voie ferrée? « Isolation phonique train » ont dû être les premiers mots que j'ai tapés dans la barre de recherche. J'avais bon espoir. Je savais que le son, comme toutes les ondes, peut être réfléchi, absorbé ou transmis et que, lorsque l'on gêne où que l'on est gêné par son voisinage, la coupable, c'est la transmission sonore (et un peu le voisin tout de même).



Réflexion, absorption et transmission de l'onde

Une onde est **réfléchi**e quand elle rebondit sur une surface qui la dirige dans une autre direction. Elle est **absorbée** quand elle pénètre dans le matériau et n'en ressort pas. Et enfin elle est **transmise** lorsqu'elle pénètre le matériau et le traverse pour continuer son chemin de l'autre côté.

À moins d'être conçus d'une manière spécifique, les murs et les sols sont souvent perméables au son. Les vibrations sonores générées par les wagons se déplacent dans la terre (et dans l'air), percutent les fondations, les poutres, les murs et les plafonds, qui se mettent eux-mêmes à vibrer. Ces oscillations visuellement imperceptibles font également vibrer les molécules d'air en contact avec la structure de la bâtisse, puis se transmettent de proche en proche dans toute l'habitation : chaque surface de la maison devient alors un haut-parleur géant. Chez nous, quand le bâtiment avait été construit, la voie ferrée existait déjà. Du triple vitrage avait été installé pour parer aux bruits aériens (se déplaçant dans l'air), mais cela n'améliorait en rien les bruits solidiens (se déplaçant dans le sol).

Les solutions d'isolation acoustique à plusieurs dizaines de milliers de dollars ne pouvant être envisagées, des solutions « maison » à petit budget se sont présentées à moi. Sans conteste la plus populaire, l'une d'elles consiste à tapisser ses murs de boîtes d'œufs. J'ai donc rapidement évalué cette option.

Pour empêcher la transmission du son, il faut qu'un matériau soit le plus lourd possible. Plus le matériau sera lourd et dense, plus l'onde aura du mal à pénétrer le matériau et plus elle sera réfléchi(e) (vers le train !). On appelle cela **la loi de la masse**. Or, qui-

conque a déjà tenu une boîte d'œufs vide dans ses mains sait qu'elles sont, pour ainsi dire, la définition de la légèreté. Étant donné leur masse négligeable, les boîtes d'œufs n'ont pas d'effet réellement audible pour réduire le bruit transmis. La seule chose qu'elles augmentent de manière significative, ce n'est pas l'isolation, mais le risque d'incendie !

L'efficacité de ces boîtes est un mythe.

Admettons toutefois que les boîtes d'œufs sont surtout conseillées non pas pour l'isolation, mais pour améliorer la qualité du son à l'intérieur d'une pièce, ce que l'on appelle la *correction acoustique*. Si l'isolation sonore s'apparente à de la chirurgie lourde, la correction acoustique est une affaire de maquillage qui s'intéresse au fini des surfaces. Les mélomanes tentent alors de trouver la bonne proportion de surfaces réfléchissantes, absorbantes et diffusantes à placer aux bons endroits en fonction de la géométrie de la pièce.

Malheureusement pour les fervents partisans de la boîte d'œufs, même utilisée dans cette optique, ces cartons en papier recyclé sont ici aussi bien trop fins pour absorber les ondes sonores de façon efficace et surtout sur des bandes de fréquences pertinentes pour l'amélioration du son.

Un mythe complet, vous dis-je !

Réduire considérablement les nuisances sonores est une tâche dont la complexité est amplifiée par la façon dont nous percevons le son. La gamme d'amplitude sonore que nous pouvons entendre est tellement grande que nous sommes peu sensibles aux faibles variations d'intensité. Ainsi, une différence de 3 décibels (dB) correspond à une intensité sonore qui passe du simple au double ! Mais c'est aussi seulement à partir de 3 dB qu'on commence à percevoir qu'il y a eu un changement. Il faut donc doubler le nombre de violonistes dans un orchestre pour que le spectateur se rende compte que le volume sonore a changé.

Une fois oubliées les boîtes d'œufs, j'ai réorienté mes recherches vers quelque chose de lourd afin de respecter la loi de la masse. Qu'en serait-il avec des rideaux épais ?

Il s'avère qu'eux non plus ne sont pas assez denses pour atténuer de manière importante le son du passage d'un train. En réalité, même une plaque de plâtre ne suffirait pas pour notre isolation. Lorsque l'on parle de matériaux denses, on fait référence à des parois en béton ou en brique. Les rideaux, à côté, sont une peau de chagrin. Toutefois, contrairement aux boîtes d'œufs, les rideaux en tissu dense (le velours étant idéal) sont efficaces pour la correction acoustique évoquée plus haut. En observant le tissu à la loupe, on peut voir ses multiples aspérités. Ce sont elles qui permettent d'absorber les fréquences sonores les plus aiguës dont la longueur d'onde est petite, soit de l'ordre de la distance entre les vallées et les montagnes microscopiques du rideau. Ainsi, ces ondes courtes perdent graduellement leur énergie à se réfléchir dans ces « trous » sans en trouver la sortie, ce qui élimine la réflexion vers la pièce de toute une gamme de fréquences.

Dans cet ordre d'idée, pour améliorer la qualité sonore des vidéos de science que je réalise¹, j'ai moi-même ajouté une vieille couette sur un des murs de la salle où j'enregistre. La qualité du son que mon micro capte en est améliorée, mais ma pièce n'est pas mieux isolée pour autant.

Mes options pour m'isoler de ce satané train s'amenuisaient. Mes recherches m'amènèrent alors au constat suivant : comme je ne pouvais pas ajouter suffisamment de masse à mes murs, la seule solution efficace qui s'offrait à moi était le découplage, qui s'apparente dans ce cas-ci à la création de poupées gigognes, comme les poupées russes. Il me fallait créer à l'intérieur de mon appartement une habitation ou une salle qui ne serait reliée avec

1. Vous pouvez les trouver ici : <https://www.youtube.com/scilabus>

le reste de la planète qu'avec des ressorts². Ces derniers serviraient à amortir les vibrations venues de l'extérieur, empêchant ainsi tout type de transmission à l'intérieur. Cela peut sembler fou, mais certaines salles de concert sont conçues ainsi.

Bref, le découplage était *la* solution idéale à mon problème de train ! Dommage que les constructeurs n'y aient pas songé avant moi... En effet, nul besoin de découpler chacun des appartements, puisque des tranchées auraient pu être creusées de part et d'autre des rails pour bloquer les chemins des vibrations. Les rails du train eux-mêmes auraient aussi pu être posés sur une mousse spéciale, isolant ainsi tous les voisins le long de la voie ferrée des bruits issus des rails.

Mais cette façon de procéder est coûteuse, et il aurait fallu y penser avant de poser les rails... À vrai dire, l'isolation phonique est surtout efficace quand elle est prévue en amont de la construction, en réduisant avant tout la **source** sonore. De surcroît, plus on s'éloigne de celle-ci, plus il est difficile de s'en isoler tant le son provient de partout. Par exemple, si vous entendez le robot culinaire de votre voisin mitoyen, cela peut être par la transmission des vibrations du robot à l'air, puis aux murs ; ou encore au plan de travail, au sol, aux murs ; ou bien encore du robot à l'air, à l'extérieur, à vos vitres... Bref, tout cela ne me laissait que bien peu d'espoir pour isoler mon « sublime » appartement.

Puisque la loi de la masse et le découplage ne pouvaient régler mon problème, il me restait à exploiter une méthode peu orthodoxe. Celle qui consiste à créer des bruits de masquage. La nuit, si le tic-tac d'une horloge vous empêche de dormir, c'est parce que chaque tic est une *émergence* sonore qui se distingue du bruit de fond. Mais si ce dernier était constant et de même amplitude ou

2. Le terme de « ressort » désigne tout type de matériau qui se comporte comme un amortisseur. Des mousses spécialisées sont des types de ressorts.

plus fort que ces émergences, alors le tic-tac ne poserait pas de problème. Ainsi, faire fonctionner un ventilateur pour masquer les émergences sonores est une solution efficace pour retrouver le sommeil !

Mais, dans mon cas, le bruit de fond (le vacarme !) nécessaire pour annuler celui du train m'aurait tenue tout aussi éveillée que le bruit du train lui-même. Une autre solution, efficace surtout pour les bruits constants, est le casque d'écoute à réduction du bruit. Il analyse le son ambiant et crée une onde miroir à celle reçue. Ainsi, les deux sons s'annulent, créant du silence. Mais encore faut-il se résoudre à dormir avec un casque...

En résumé, en cas de bruit dans le voisinage, l'idéal demeure encore de bien s'entendre avec ses voisins et de négocier avec eux une solution acceptable pour les deux parties. Pour ma part, je n'ai pas pu m'entendre avec le train et nous avons déménagé.



L'entrechoc des trous noirs

Il y a des voisins dont on se passerait bien volontiers et d'autres que l'on cherche, au contraire, désespérément à joindre. À un point tel que l'on construit des machines extrêmement complexes pour détecter leur présence. Ces voisins ne sont pas humains, ils se trouvent à des milliards d'années-lumière de nous et ils détiennent des informations primordiales sur l'origine de notre univers. De quoi nous donner envie de les écouter avec une extrême attention...

Rainer Weiss, Barry C. Barish et Kip S. Thorne sont les prix Nobel de physique 2017. Ces trois physiciens³ sont à l'origine de la mesure des ondes gravitationnelles dont la notion avait été théorisée il y a plus d'un siècle par l'illustre Albert Einstein. Tout comme les ondes sonores ou électromagnétiques, les ondes gravitationnelles sont des déplacements d'énergie, mais qui se font par le biais de déformations du milieu dans lequel baignent tous les

3. Avec le concours de centaines d'autres scientifiques, techniciens, ingénieurs, administrateurs, etc.

astres : l'espace-temps⁴. Illustrons ce que sont ces ondes par un exemple simple. Lorsque nous nous asseyons sur un canapé, nous déformons le coussin qui nous supporte du fait de notre poids (certains moins que d'autres d'ailleurs). Que cela soit nous ou n'importe quel objet sur le canapé, chaque élément déforme le coussin de façon proportionnelle à sa masse. Par exemple, un téléphone induit une déformation quasi imperceptible (à moins que l'on parle d'un téléphone fixe des années 1930...). Elle est si faible que, si celui-ci se trouve à proximité de nous, il glissera vers notre fessier. Dans cette analogie, nous représentons une étoile ou un trou noir, le canapé représente l'espace-temps, sa déformation représente la gravité de notre fessier ou du téléphone et le téléphone correspond à n'importe quel autre objet céleste moins massif (tel qu'une planète, des débris, une petite étoile).

Maintenant, si, au lieu de nous asseoir, nous nous laissons tomber sur le canapé, cette fois-ci le téléphone sera propulsé dans les airs... alors même que nous ne l'avions pas touché en tombant. Le contact de notre fessier avec le canapé a été si vif qu'il a créé une onde qui s'est propagée dans le canapé et que le téléphone a ressentie. Les ondes gravitationnelles sont similaires à nos ondes de canapé, à la différence près qu'elles ne proviennent pas d'un fessier, mais d'un événement intense et soudain impliquant un ou plusieurs objets massifs célestes – par exemple une étoile qui implose, deux trous noirs qui entrent en collision... Les ondes qui en résultent voyagent dans l'espace-temps jusqu'à ce que nous en captions les ondulations sur Terre, comme le téléphone sur le canapé, à la différence près que ces ondes sont tellement lointaines qu'elles sont devenues à peine perceptibles sur notre planète !

4. L'espace-temps est une représentation mathématique d'un espace en quatre dimensions qui fait de l'espace et du temps deux notions inséparables. Nous ne nous y attardons pas plus en détail dans ce livre.