



**centre de
développement
pédagogique**
*pour la formation générale
en science et technologie*

Document de travail

Capsule théorique sur le modèle de la membrane basilaire de la cochlée (destinée au personnel)



Octobre 2014

Intentions pédagogiques

Le modèle de la membrane basilaire a été développé par le Centre de développement pédagogique (CDP) pour donner suite à une demande de la Commission scolaire des Draveurs. Ce modèle permet d'illustrer le mécanisme de détection des différentes tonalités des sons par l'oreille interne.

Les cellules ciliées de la cochlée transforment les ondes sonores en influx nerveux, mais elles ne sont pas directement responsables de la discrimination des sons de différentes fréquences. En effet, affirmer que « la différence de longueur des cils permet de distinguer les sons graves des sons aigus » est une conception erronée. C'est plutôt la membrane basilaire, par sa morphologie, qui effectue ce travail d'aiguillage. Le modèle permet de démontrer le phénomène de résonance qui est à la base du mécanisme de perception des sons par l'oreille interne.

Il permet entre autres de répondre aux questions suivantes :

- Comment l'oreille interne peut-elle distinguer les sons graves des sons aigus?
- Pourquoi les cellules ciliées ne vibrent-elles pas toutes en même temps?
- Quel est le rôle des cellules ciliées?
- Quel est le rôle de la membrane basilaire?
- Comment une corde de guitare produit-elle le son voulu?

Le présent document permet au personnel de comprendre le phénomène et lui suggère des outils pour une éventuelle présentation en classe. Certaines vidéos sont en anglais. Une narration par l'enseignant¹ serait alors souhaitable.

Propagation d'un son jusqu'à la cochlée

Quand un son se propage dans la matière, il se déplace sous forme d'une onde de compression. Les particules de matière s'approchent et s'éloignent alors les unes des autres. Dans le cas des solides, les particules sont plus rapprochées. On peut alors, pour simplifier, dire que les particules s'entrechoquent. D'où l'idée d'utiliser des billes à jouer



pour illustrer le phénomène. À ce propos, une vidéo du CDP permet d'illustrer plusieurs phénomènes sonores à l'aide de billes à jouer :

Vidéo produite par : « [CDP](#) »

<https://www.youtube.com/watch?v=Pf6GBr6Kik8>

Le visionnement de cette vidéo nous permet de mieux saisir ce qu'est une onde de compression qui frappe le tympan et anime les osselets qui transmettent leur mouvement à la cochlée. À l'intérieur de la cochlée, se trouvent, entre autres, les cellules ciliées ainsi que la membrane basilaire. Il est rare qu'un ouvrage destiné au secondaire traite de la membrane basilaire. Pourtant, c'est elle qui aiguille les sons de différentes fréquences à certaines cellules ciliées. En effet, la membrane basilaire est étroite et rigide au début de la

¹ Le masculin a été retenu dans le but d'alléger le texte des documents.

cochlée et large et flexible à son extrémité la plus éloignée. Ce sont ces différences morphologiques qui nous permettent de distinguer les différentes notes de la gamme.

Fréquence de résonance d'un système

La fréquence de résonance semble, à première vue, une notion très complexe ou ardue. Rassurez-vous, il n'en est rien. Tout petit, vous l'avez probablement expérimentée en vous balançant au parc du coin. Comme il était agréable de vous balancer à toute vitesse.

Les premières fois, ce n'était pas facile. Un adulte devait vous pousser, car le mouvement demandait une certaine coordination. En effet, il faut balancer le haut du corps et les jambes à un certain rythme sinon, rien ne se passe et c'est la frustration... Il faut s'adapter à la balançoire et suivre sa fréquence d'oscillation naturelle. En physique, on parle alors de fréquence de résonance d'un système ou d'un objet. Chaque objet a sa propre fréquence de résonance : les coupes à vin, les cordes de guitare, les pendules, les balançoires, les ponts, etc.

Plusieurs vidéos disponibles sur le web illustrent la résonance mécanique. Le phénomène serait même responsable des premières oscillations qui ont engendré une cascade d'événements menant à l'effondrement du pont de Tacoma en 1940.

<https://www.youtube.com/watch?v=XggxeuFDaDU> (par [British Pathé](#))

Voir aussi :

Résonance d'un pont miniature en laboratoire

<https://www.youtube.com/watch?v=AXoZvu9NfFs> (par Soluna)

Résonance d'un pont piétonnier induite par des humains

https://www.youtube.com/watch?v=xIOS_31Ubdo (par Bob Barrett)

Résonance d'un hélicoptère Chinook lors de tests au sol

<https://www.youtube.com/watch?v=vTRuWgoEFxo> (par Richard Haigh)

Le phénomène de résonance est aussi possible en présence d'ondes électromagnétiques : la syntonisation d'un poste de radio, le réchauffement d'eau au four à micro-ondes, etc.



Fréquence de résonance et membrane basilaire

Les ondes sonores qui arrivent jusqu'à la cochlée entrent en résonance avec certaines sections de la membrane basilaire. Lorsque cette membrane vibre, elle excite les cellules ciliées situées à proximité. Comme nous l'avons dit plus tôt, la membrane basilaire n'est pas uniformément constituée. Au début de la cochlée, elle est rigide et étroite et elle a une fréquence de résonance assez élevée. Cette section se met à vibrer lorsque des sons à haute fréquence parviennent jusqu'à l'oreille interne. Les cellules ciliées qui y sont associées vibrent alors et envoient au cerveau un influx nerveux associé à un son aigu.

Un son de basse fréquence n'a pas d'effet sur cette section rigide et étroite de la membrane basilaire. Il continue donc son chemin en s'enfonçant plus profondément dans la cochlée. Au fur et à mesure, la membrane basilaire s'élargit, devient plus flexible et réagit mieux aux basses fréquences. À un endroit donné, la membrane se met à vibrer, excite les cellules ciliées, qui envoient au cerveau un influx nerveux associé à un son grave.

Une très belle vidéo montre le chemin parcouru par le son, du pavillon de l'oreille jusqu'à la membrane basilaire. Comme il n'y a pas de narration, cette vidéo peut être présentée directement aux élèves :

Vidéo produite par : « [Hughes Medical Institute](https://www.youtube.com/watch?v=dyenMluFaUw) »
<https://www.youtube.com/watch?v=dyenMluFaUw>



La même vidéo, mais avec une narration en anglais, est aussi offerte sur le Web :

Vidéo produite par : « [Hughes Medical Institute](https://www.youtube.com/watch?v=shStw2PIS5k) »
<https://www.youtube.com/watch?v=shStw2PIS5k>



Il existe aussi une belle vidéo (en anglais) où l'on voit le chemin parcouru par le son, du pavillon de l'oreille jusqu'aux cellules ciliées :

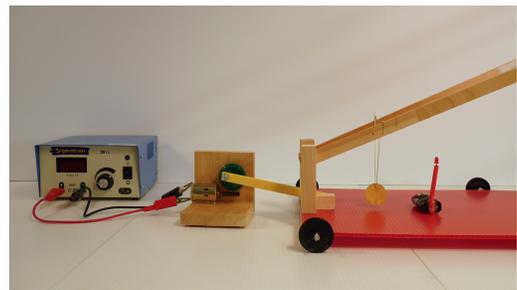
Vidéo produite par : « [Javitz 3D](https://www.youtube.com/watch?v=qgdqp-oPb1Q) »
<https://www.youtube.com/watch?v=qgdqp-oPb1Q>

Modèle de la membrane basilaire

Il nous reste un dernier point à éclaircir. Comment utiliser le modèle pour comprendre le phénomène de résonance observé avec la membrane basilaire? Autrement dit, quelles sont les analogies possibles entre les deux phénomènes?

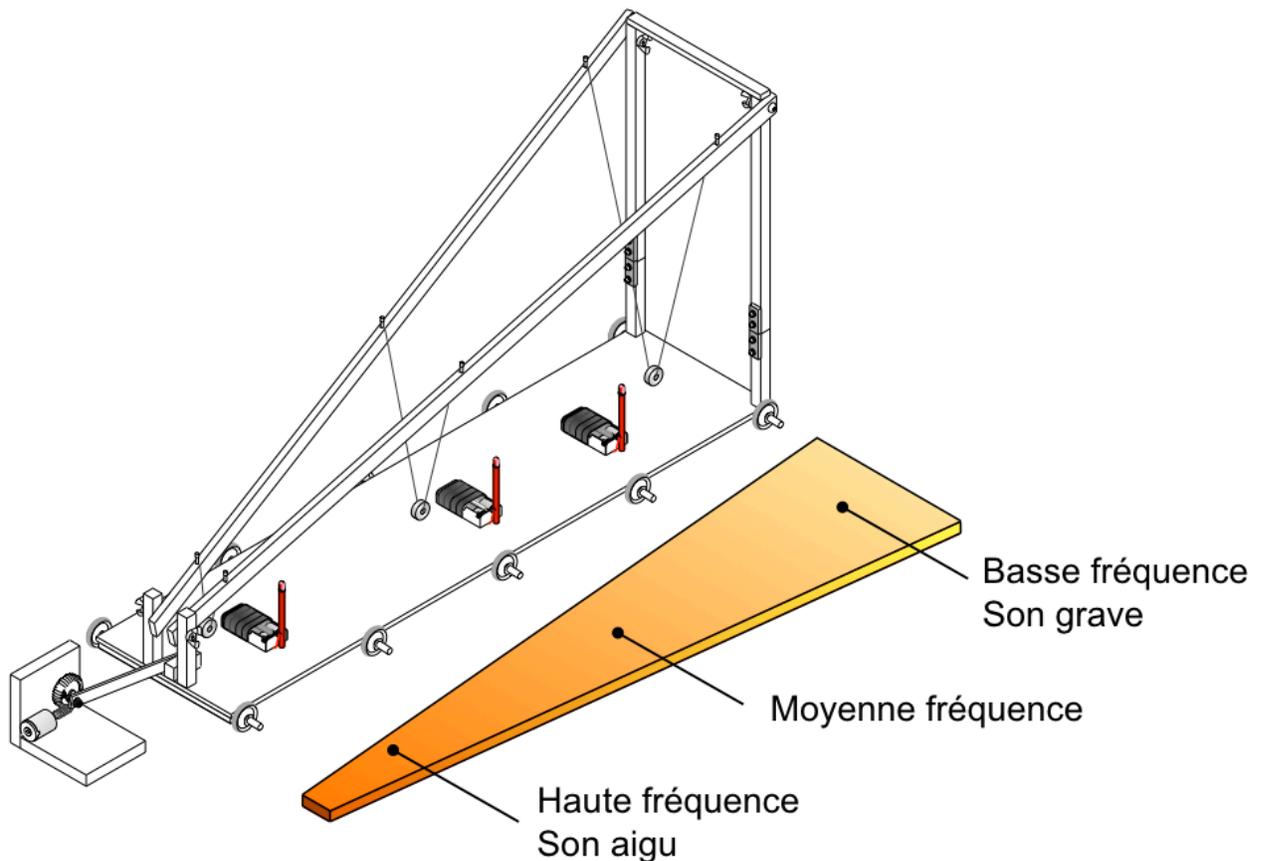
La vidéo suivante nous présente le modèle de la membrane basilaire :

Vidéo produite par : « [CDP](https://www.youtube.com/watch?v=7Jijp5GKLL4) »
<https://www.youtube.com/watch?v=7Jijp5GKLL4>



Comme pour la membrane basilaire, le modèle ne réagit pas de la même façon aux oscillations de différentes fréquences. Lorsqu'une section de la membrane vibre, d'autres sections restent complètement au repos. Dans le cas du modèle, lorsqu'un pendule se met à osciller fortement, les autres pendules restent pratiquement immobiles.

Voici les parallèles à faire entre la membrane basilaire et le modèle.



Modèle de la membrane		Membrane basilaire	
Fréquence de l'oscillation	Pendule excité	Fréquence du son	Zone excitée
Haute fréquence (oscillation rapide)	Le petit pendule	Haute fréquence (son aigu)	Zone étroite et rigide
Moyenne fréquence	Le moyen pendule	Moyenne fréquence	Zone mitoyenne
Basse fréquence	Le long pendule	Basse fréquence (son grave)	Zone large et flexible

Lexique et définitions qui seront utiles aux élèves

- **Pendule** : masse suspendue au bout d'une corde
- **Oscillation** : un aller et un retour (un cycle complet)
- **Fréquence** : nombre d'oscillations par seconde (exprimé en Hertz)
- **Fréquence de résonance** : fréquence naturelle propre à un système

Références

1. Théorie sur la fréquence de résonance mécanique
<http://www.sasked.gov.sk.ca/docs/francais/fransk/physique/u5ac4.html>
2. Vidéo de l'effondrement du pont de Tacoma (É.-U.) le 7 novembre 1940
http://www.lcpc.fr/fr/presentation/organigramme/div_macoa/voiraussi/voiraussi.php
3. Théorie sur le pendule simple
http://perso.orange.fr/physique.chimie/TS_Physique/Physique_15_PENDULE_PESANT_PENDULE_SIMPLE.htm
4. Théorie sur le limaçon ou cochlée
<http://www.medecineetsante.com/35000/anatorette.html>
5. Théorie sur l'organe de Corti
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Audition>
http://books.google.ca/books?id=fAuNZyQrHTgC&pg=PA169&lpg=PA169&dq=membrane+basilaire+et+cils&source=bl&ots=BlgmXwGAtk&sig=BsKbZohMRiKUKrA6_mzaC0mYN-U&hl=fr&sa=X&ei=XmJ_U8KoM6b58AGWhoDIBQ&ved=0CDYQ6AEwBA-v=onepage&q=membrane+basilaire+et+cils&f=false
6. Lésion des cellules ciliées internes
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Audition>
7. Toxicité des hyperfréquences (résonance des micro-ondes vs ADN)
<http://www.cem-expert.fr/facteurs-toxicite-hyperfrequences-rayonnement-micro-onde-toxique-solutions-expertise.fr,8,71.cfm>