

Ondes

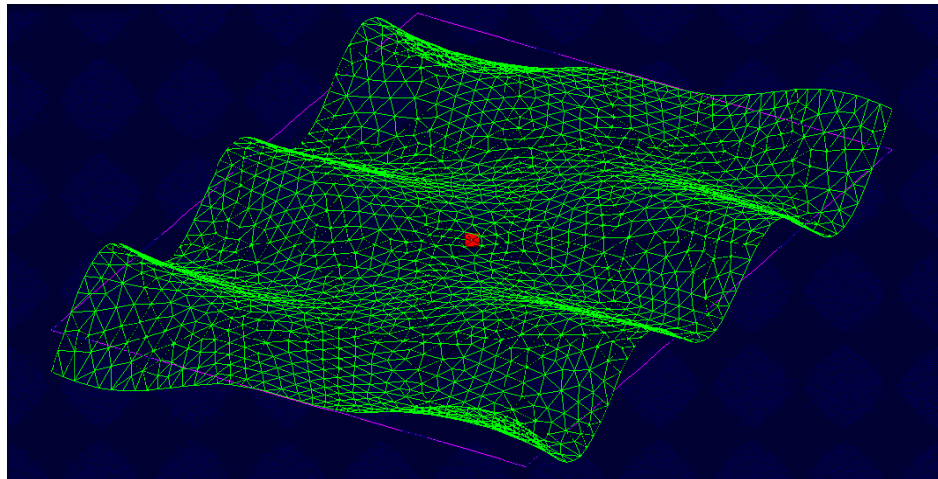
Propagation d'une onde mécanique

Réf :
222 083

Français – p 1

Version : 3112

Les plaques de Chladni



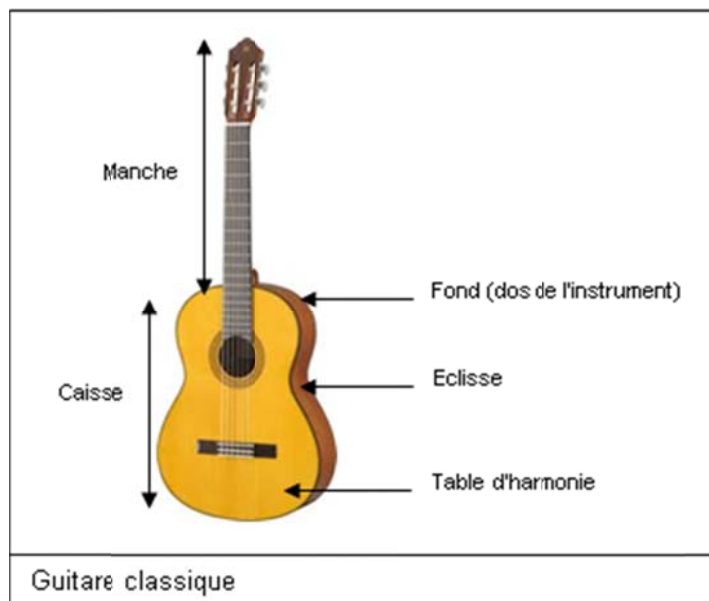
1. Introduction

Les vibrations acoustiques et mécaniques sont les sources de production d'ondes sonores des instruments de musique.

Au fil du temps, les instruments de musique se sont améliorés. L'utilisation de nouveaux matériaux, de nouvelles formes ont rendu les instruments de musique plus complexes.

Créer ou modifier un instrument de musique n'est pas une chose aisée. Un luthier doit s'affranchir de nombreuses contraintes d'ordre mécanique : robustesse mais aussi praticité. L'instrument doit être facile à jouer et doit produire un son agréable.

Un violon, une guitare ou même un piano fonctionnent par transmission de la vibration des cordes vers un résonateur permettant d'amplifier le son. Ils sont fabriqués à l'aide d'éléments différents, comme, par exemple, la table d'harmonie ou le fond, qui entrent en vibration en répondant à une excitation mécanique.



Bien que leurs formes soient différentes, ils réagissent aux mêmes lois physiques qu'une plaque rectangulaire mise en vibrations.

2. Problématique

Réparer une guitare, un violon, modifier le fond, le vieillissement, ...

- Ces différents paramètres ont-ils une influence sur la sonorité de l'instrument ?
- Est-il possible de garder les mêmes propriétés mécaniques suite à une réparation ?

C'est ce que nous vérifierons à travers ce TP.

3. Un peu d'histoire...

« Cet homme rend le son visible »

Tels furent les mots prononcés par Napoléon en découvrant l'expérience d'Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827).

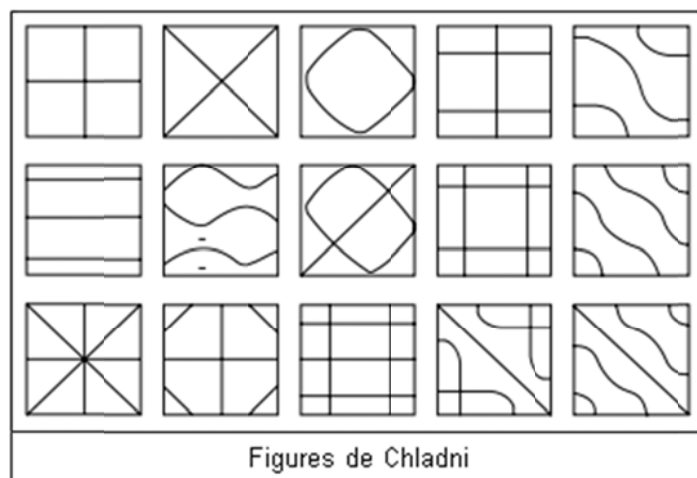


Vers 1807, E. Chladni étudia les vibrations des plaques circulaires et carrées.

Il présenta l'expérience suivante :

En saupoudrant de sable fin une plaque de cuivre puis en la faisant vibrer à l'aide d'un archet, le sable dessina des figures géométriques qui dépendaient des vibrations imposées à la plaque.

Il mit ainsi en évidence l'effet des vibrations forcées sur une structure vibrante.



4. Un peu de cours...

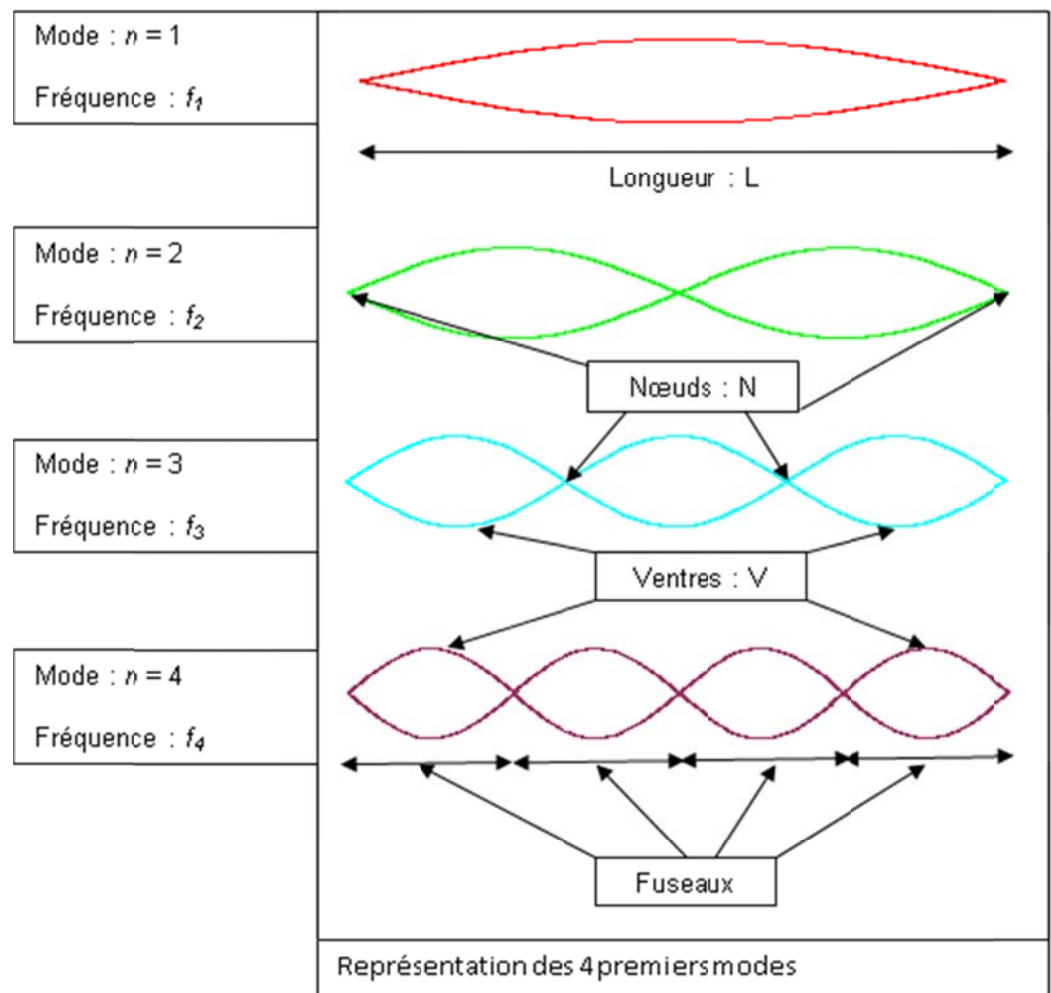
4.1 Vibration d'une corde tendue

Lorsque l'on crée une excitation harmonique sur une corde, on observe que certains points sont fixes, on les appelle des nœuds de vibrations N. Tandis que d'autres points vibrent avec une grande amplitude, ceux sont les ventres V. Des fuseaux apparaissent.

Si on impose une vibration sinusoïdale de fréquence f à une corde tendue (par l'intermédiaire d'un vibreur par exemple), celle-ci ne vibre que pour certaines valeurs de fréquence.

Ces fréquences f_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) permettent d'obtenir les modes propres ou fréquences propres de vibration de la corde ou encore harmonique.

A chaque mode correspond une harmonique.



Les fréquences des harmoniques sont multiples de la fréquence (f_1) du mode fondamental.

$$f_n = n \times f_1 \quad \text{avec } n : \text{nombre du mode ou nombre de fuseau}$$

4.2 Quelques formules

- Fréquence de l'onde : $f = \frac{w}{2\pi}$
- Longueur d'onde : $\lambda = \frac{c}{f}$
- Nombre d'onde : $k = \frac{2\pi}{\lambda}$
- Fréquence de la corde : $L = n \frac{\lambda_n}{2}$

4.3 Vibration d'une plaque : figures de Chladni

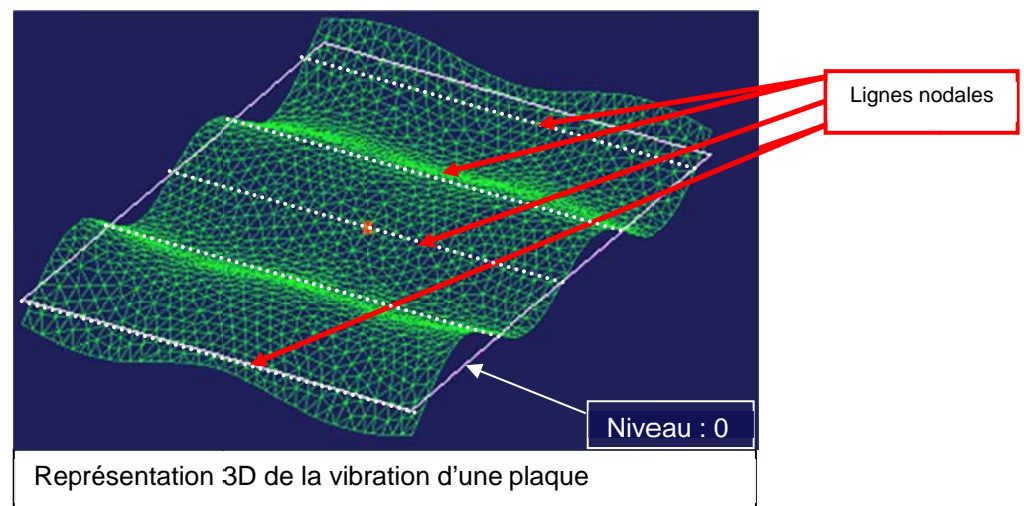
Lors de la vibration d'une corde, l'onde mécanique se propage sur une seule dimension.

Pour une plaque, la propagation de l'onde se fera sur deux dimensions de vibration.

On distingue de la même manière des ventres où l'amplitude est maximale et des nœuds où elle est nulle.

Si l'on saupoudre la plaque de grains de sel (ou autres), les grains sont expulsés du ventre et se concentrent dans les nœuds.

Ces nœuds forment des lignes dites nodales. Les figures ainsi dessinées correspondent à des fréquences de résonance spécifique à la plaque.



L'onde peut se déplacer selon l'axe des x et/ou l'axe des y . Il existe donc deux composantes du vecteur d'onde k .

4.4 Quelques formules

- Vecteur d'onde : $k^2 = k_x^2 + k_y^2$
- Nombre d'onde $k_x = \frac{2\pi}{\lambda_x}$ et $k_y = \frac{2\pi}{\lambda_y}$
- Relation entre les dimensions de la plaque, les modes et la fréquence.

$$\left(\frac{mx}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{ny}{L_y}\right)^2 = \left(\frac{2f}{c}\right)^2$$

f : fréquence

c : célérité (vitesse de propagation dans la plaque)

m : mode sur l'axe des x

n : mode sur l'axe des y

(x,y) : point de coordonnées du déplacement en hauteur de la plaque vibrante à l'instant t

La mise en équation et le calcul de la fréquence n'est pas une chose simple, de nombreux facteurs entrent en ligne de compte, la célérité, les différents modes, ...

5. Activité n°1 : Observation des figures de Chladni

Liste du matériel :




- Générateur de fonction GF 5 2 MHz Réf. 293 055
- Vibreur de Melde à Membrane Réf. 222 037
- Plaques de Chladni (épaisseur 0,05 mm et 1 mm) Réf. 222 083
- Sel

5.1 Réaliser le montage ci-dessous



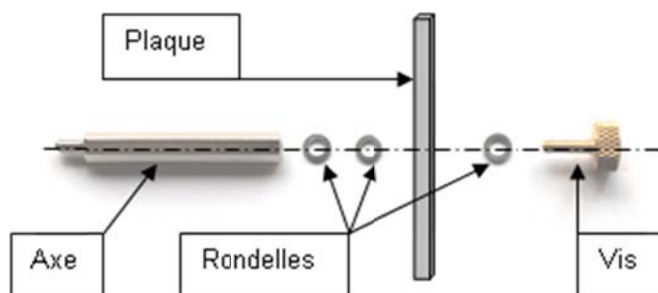
5.1.1 Réglage du Générateur de fonction



| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Bouton de réglage de l'amplitude au minimum (à gauche) | Boutons de réglage des fréquences au minimum (à gauche) | Gamme de fréquence : 200 Hz Forme de l'onde : sinusoïdale |
| Réglages | | |

5.1.2 Fixer la plaque de 0,05 mm sur le vibreur de Melde

- Visser l'axe sur le vibreur de Melde.
- Placer les 2 rondelles, la plaque de 0,05 mm, la 3^{ème} rondelle puis la vis et visser le tout.




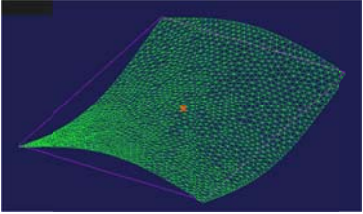
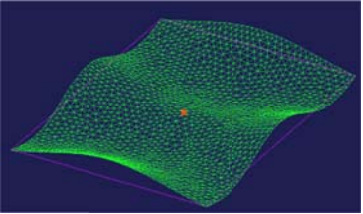
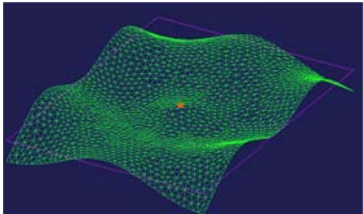


5.1.3 Réalisation

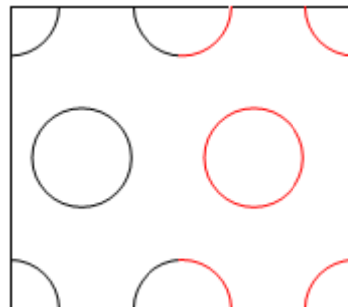
- Saupoudrer la plaque de sel.
- Régler le GBF à la fréquence désirée.
- Augmenter légèrement l'amplitude pour voir apparaître les figures.

5.2 Manipulation

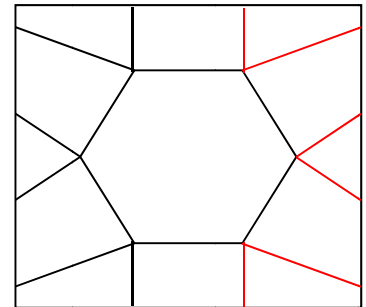
1. Pour les fréquences demandées (ajuster la fréquence si nécessaire), dessiner dans le tableau ci-dessous la forme observée.

| Fréquence : 120 Hz Fréquence ajustée : 128 Hz | Fréquence : 350 Hz Fréquence ajustée : 350 Hz | Fréquence : 540 Hz Fréquence ajustée : 540 Hz |
|--|---|--|
|  |  |  |
| Représentation 3 D des vibrations de la plaque | | |
|  |  |  |

2. Compléter les schémas suivants :



Fréquence : **670 Hz**



Fréquence : **778 Hz**

3. Régler le Générateur pour des fréquences proches de 670 Hz puis 778 Hz. Comparer vos schémas et les formes obtenues puis notez les fréquences sur les schémas.



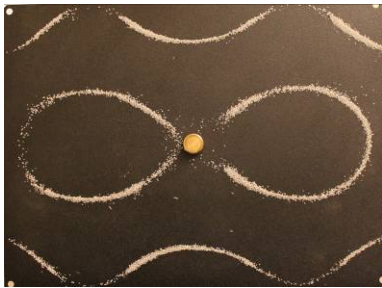
4. Pour chaque figure quelle particularité géométrique observez-vous ?

On observe des symétries.

Quelle est l'influence de la fréquence sur les figures observées ?

Les figures deviennent de plus en plus complexes.

6. Activité n° 2 : Influence de l'épaisseur d'une plaque

| Plaque de 0,05 mm | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| Figure n°1 Fréquence : 125 Hz | Figure n°2 Fréquence : 373 Hz | Figure n°3 Fréquence : 675 Hz |
| Plaque de 0,1 mm | | |
| Figure n°1 Fréquence : 407 Hz | Figure n°2 Fréquence : 687 Hz | Figure n°3 Fréquence : 1287 Hz |

Manipulation

- Fixer la plaque de 0,1 mm sur le vibreur de Melde.
- Retrouvez les fréquences correspondantes aux 3 figures précédentes.

Gamme de fréquences : 240-260 Hz
 640-650 Hz
 1260-1280 Hz

- Reportez les valeurs dans le tableau ci-dessus.

1. L'épaisseur de la plaque a-t-elle une influence sur la propagation de l'onde et des figures géométriques ?

Des figures identiques sur les deux plaques n'apparaissent pas à la même fréquence. L'épaisseur a donc une influence sur la propagation des ondes.

2. Faire le rapport des fréquences, qu'observez-vous ? Que peut-on conclure ?

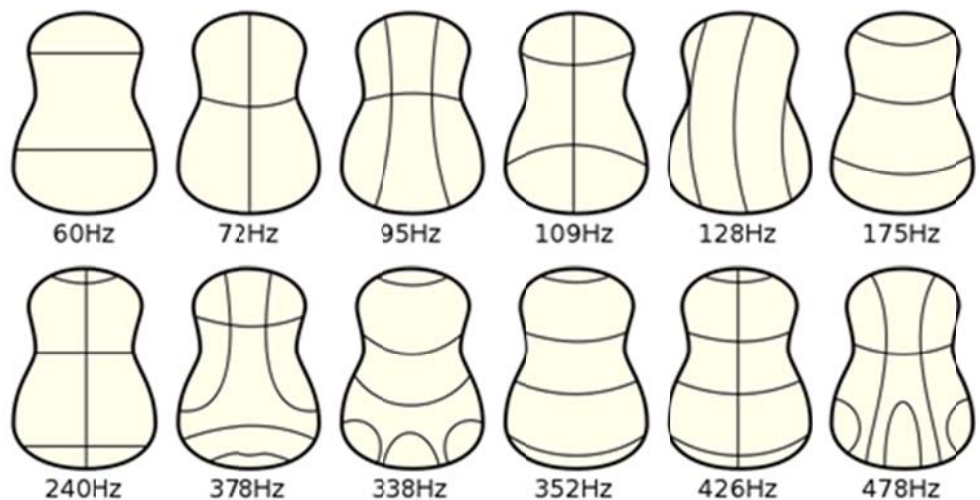
$$\frac{487}{250} \approx 1,9 \quad \frac{687}{373} \approx 1,8 \quad \frac{1287}{675} \approx 1,9$$

Pour des figures de Chladni identiques, le rapport des fréquences est à peu près identique. Ce rapport peut être rapproché du rapport des épaisseurs de plaque. L'épaisseur a donc une influence sur la vibration mécanique. L'écart

des rapports de fréquences et d'épaisseurs de plaque peut être lié au traitement de surface des deux plaques.

7. Activité n°3 : Et notre instrument de musique

Voici une représentation des figures de Chladni sur le fond d'une guitare.



1. Le fond d'une guitare réagit-il aux mêmes lois physiques qu'une plaque rectangulaire mise en vibrations ?

Oui, l'augmentation de fréquences de vibration implique l'augmentation du nombre de lignes nodales et la complexité des figures de Chladni. On observe aussi la présence de symétries sur les figures. Cette symétrie est liée à la symétrie de la plaque.

2. La forme de l'instrument a-t-elle une influence sur l'onde ?

Oui, les figures ainsi que les fréquences associées à ces figures diffèrent de la plaque rectangulaire. Les ondes ne se propagent pas de façon identique.

3. Réparer un instrument de musique est-il facile ? Quels facteurs peuvent avoir une influence sur le son produit ?

La réparation d'un instrument par le collage de pièces, la modification de la forme d'un élément, la diminution de l'épaisseur pour retirer des impacts ou même la présence d'un impact vont modifier la propagation des ondes mécaniques et auront une influence sur la qualité sonore d'un instrument de musique.

8. Service après-vente

La garantie est de 2 ans, le matériel doit être retourné dans nos ateliers.

Pour toutes réparations, réglages ou pièces détachées, veuillez contacter :

JEULIN - SUPPORT TECHNIQUE

468 rue Jacques Monod

CS 21900

27019 EVREUX CEDEX France

0 825 563 563*

** 0,15 € TTC/min. à partir un téléphone fixe*



Assistance technique en direct

Une équipe d'experts
à votre disposition
du lundi au vendredi
de 8h30 à 17h30

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge
immédiatement votre appel
pour vous apporter une réponse
adaptée à votre domaine
d'expérimentation :
Sciences de la Vie et de la Terre,
Physique, Chimie, Technologie.

Service gratuit*

0 825 563 563 choix n°3**

* Hors coût d'appel. 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe.
** Numéro valable uniquement pour la France
métropolitaine et la Corse. Pour les DOM-TOM et les EFE,
composez le +33 2 32 29 40 50.

Aide en ligne
FAQ.jeulin.fr



Direct connection for technical support

A team of experts
at your disposal
from Monday to Friday
(opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request
immediatly to provide you
with the right answers regarding
your activity field : Biology, Physics,
Chemistry, Technology.

Free service*

+33 2 32 29 40 50**

* Call cost not included.
** Only for call from foreign countries.



468, rue Jacques-Monod, CS 21900, 27019 Evreux cedex, France
Métropole • Tél : 02 32 29 40 00 - Fax : 02 32 29 43 99 - www.jeulin.fr - support@jeulin.fr
International • Tél : +33 2 32 29 40 23 - Fax : +33 2 32 29 43 24 - www.jeulin.com - export@jeulin.fr
SAS au capital de 1 000 000 € - TVA intracommunautaire FR47 344 652 490 - Siren 344 652 490 RCS Evreux