

# OLYMPIADES DE PHYSIQUES 2021



OLYMPIADES  
DE PHYSIQUE FRANCE

**MARTEL** Madeleine

**VERBEKE** Caroline

**SAGOT** Jules

**COPIN** Melvin

**GADEYNE** Sylvain

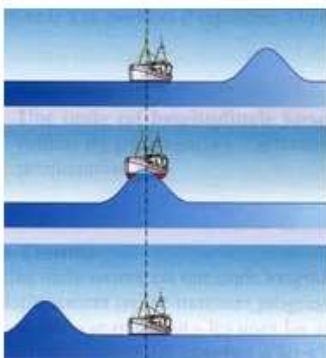
# Partie 1 : définitions

## 1. Comment se crée une onde ?



Lorsqu'une goutte tombe à la surface de l'eau, il se crée une **perturbation** qui se déplace sur toute la surface, le physicien appelle cela une onde progressive.

## 2. Transporte-t-elle de la matière ?



Prenons l'exemple du bateau et de la vague. Le passage de la perturbation est ressenti par les marins sur le bateau, néanmoins celui-ci revient à sa place une fois la vague passée.

## 3. Définition d'une onde mécanique progressive

→ Une onde mécanique progressive est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière.

→ On qualifie l'onde de « mécanique » car la perturbation est une déformation du milieu matériel lui-même... Et on qualifie l'onde de « progressive » car la propagation de la perturbation s'effectue de proche en proche plus ou moins rapidement.

→ Enfin, la propagation d'une onde s'accompagne toujours d'une propagation d'énergie.

## 4. Onde transversale



Dans le cas de la vague, la déformation de l'eau est verticale alors que sa direction de propagation de l'onde est horizontale, l'onde est dite transversale.

Une onde est dite transversale si elle provoque une perturbation de direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

## 5. Onde longitudinale



Une onde est dite direction parallèle à la direction de propagation de l'onde.

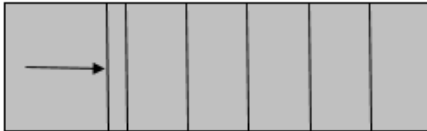
Dans le cas de la compression de quelques spires d'un ressort, la déformation est dans la même direction que sa propagation, l'onde est dite longitudinale.

longitudinale si elle provoque une perturbation de

## 6. Qu'en est-il de l'onde sonore ?



Dans un milieu immobile, nous avons des tranches d'air.



Lors de la propagation d'un son, la première tranche est poussée et se rapproche de la 2nd



Il se produit alors une répulsion des tranches d'air 2 et 3 ce provoque un retour à sa position initiale pour la tranche 1 et un rapprochement de la tranche 3 pour la 2 et ainsi de suite.

**Le son est donc une onde mécanique longitudinale**

## 7. Célérité des ondes sonores

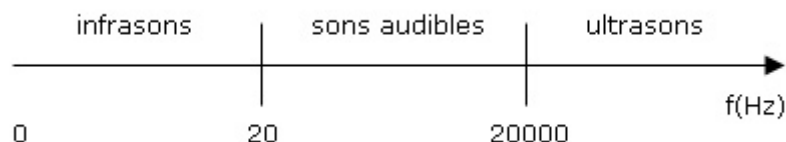
En conséquence de ce qui a été vu précédemment, une perturbation dans un milieu moins dense devrait se propager moins rapidement que dans un milieu plus dense. Ainsi, la vitesse de propagation est d'environ :

- 340 m/s dans l'air
- 1500 m/s dans l'eau
- 5000 m/s dans l'acier

Ces valeurs varient avec les conditions de température et de pression

## 8. Quelques propriétés des ondes sonores

- Les ondes sonores peuvent subir des réflexions, lorsque l'on entend un écho. Elles peuvent aussi subir des réfractions, lorsqu'elles traversent une paroi. Elles peuvent enfin subir des interférences. Les ondes sonores, contrairement aux ondes lumineuses, ne se propagent pas dans le vide.
- Le domaine de fréquence se répartit en 3 classes : Les sons audibles par l'oreille humaine sont compris entre 20 Hz et 20 000 Hz. Les sons de basse fréquence sont les sons graves, les sons aigus sont des sons de haute fréquence.



- Les infrasons ont une fréquence inférieure à 20 Hz. Ils sont audibles par certains animaux comme les éléphants qui leur permettent de communiquer.

- Les ultrasons ont des fréquences supérieures à 20 000 Hz. Ils sont audibles par les chauves-souris, les chats, les dauphins.

### 9. Superposition de deux ondes



les 2 ondes vont l'une vers l'autre



au moment où elles se croisent les amplitudes des 2 ondes s'additionnent créant un maximum



puis les 2 ondes poursuivent leur chemin

on peut aisément comprendre ce qui va se passer dans ce cas :

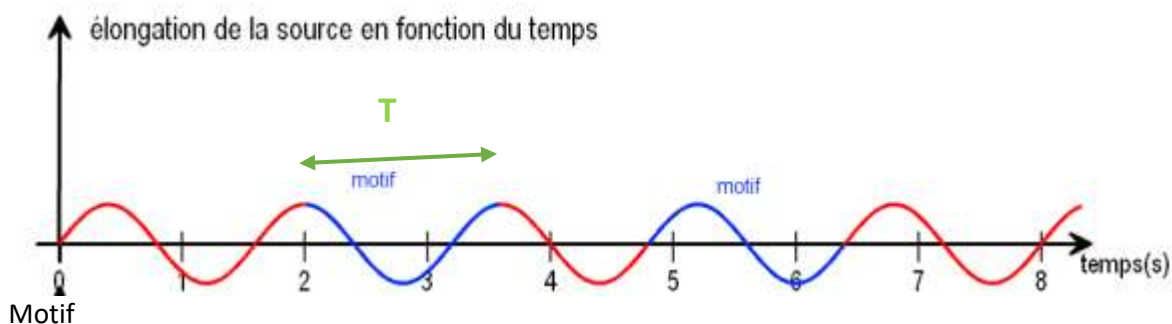


au moment où elles vont se croiser les amplitudes des 2 ondes vont s'additionner créant un minimum

### 10. Onde périodique

Une onde progressive est dite périodique lorsque la perturbation se reproduit identique à elle-même à intervalles de temps égaux, appelés période temporelle notée T, mesurée en seconde(s).

Le motif d'une onde est la perturbation qui se répète toutes les périodes. On le visualise sur le graphique de l'évolution temporelle de l'élongation.



La fréquence f de l'onde est le nombre de répétitions de la perturbation par seconde, elle se mesure en hertz.

La fréquence f et la période temporelle T sont liées par la relation :

$f = 1/T$  où f s'exprime en Hertz (Hz) et T en seconde (s).

## 11. Ondes progressives sinusoïdales

Une onde progressive est sinusoïdale lorsque l'élongation de tout point du milieu de propagation est une fonction sinusoïdale du temps.

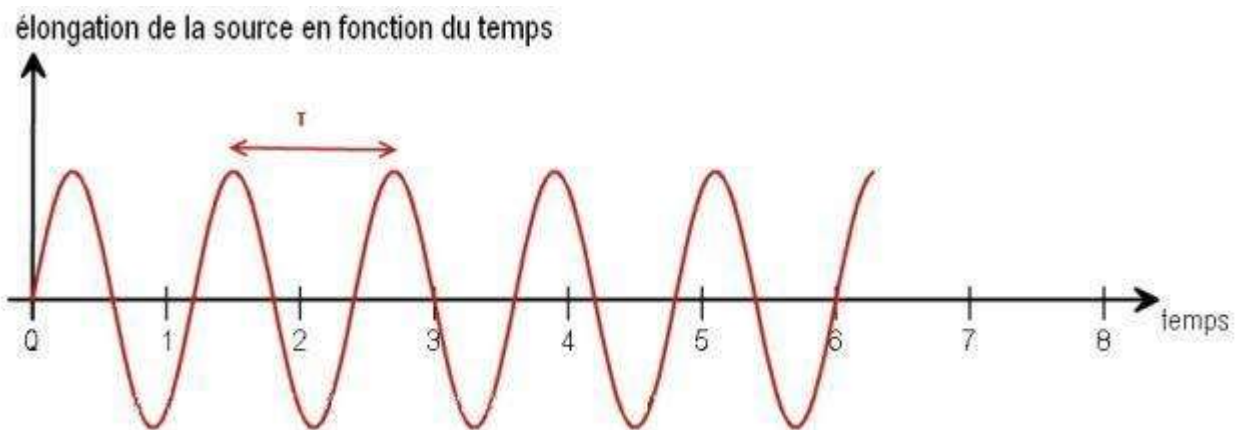
Une onde progressive périodique peut être sinusoïdale

L'élongation  $x$  d'un point à un instant  $t$  d'une onde progressive sinusoïdale s'exprime par

$$y(t) = Y_{\max} \cdot \cos(2\pi/T \cdot t + \phi)$$

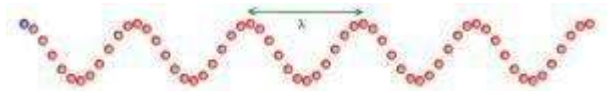
$Y_{\max}$  est l'amplitude,  $T$  est la période et  $\phi$  la phase à l'origine, donnée par les conditions initiales.

Par exemple, à  $t = 0$ , si l'élongation a pour valeur  $Y(0) = Y_{\max}$ , alors  $\phi = 0$ .



Source : [http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/file/accompa/ondes%20periodique/trame%20de%20seg\\_web.publi/web/co/Module\\_seg\\_1.html](http://www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/file/accompa/ondes%20periodique/trame%20de%20seg_web.publi/web/co/Module_seg_1.html)

**La longueur d'onde  $\lambda$  est la plus petite distance séparant deux positions pour lesquelles les élongations sont en phase.**



**Par exemple sur une photographie de l'ondoscope, la longueur d'onde est la longueur d'un motif, c'est la période spatiale.**

C'est aussi la distance parcourue par l'onde pendant la période temporelle  $T$  :  $\lambda = v \cdot T$

$\lambda$  s'exprime en mètre (m),  $v$  en mètre par seconde ( $m \cdot s^{-1}$ ),  $T$  en seconde (s).

Soit encore  $\lambda = v/f$ ,  $f$  étant la fréquence en hertz.

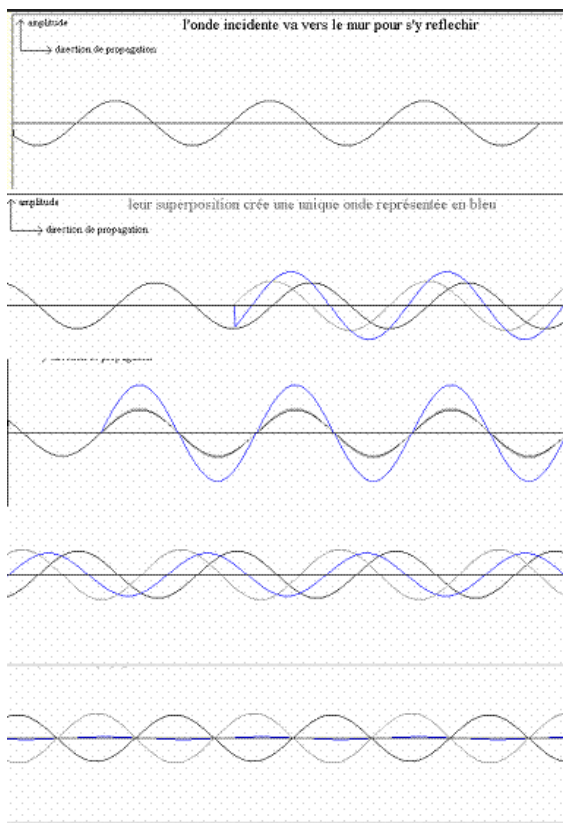
## 12. Superposition des ondes périodiques

Vu ce qui a été dit pour la superposition de 2 ondes, on peut imaginer que si on superpose parfaitement 2 ondes périodiques, on devrait observer des maxima et des minima, on aurait alors l'impression que l'ensemble ne bouge plus, c'est une onde stationnaire

# Partie 2 : Etude des ondes stationnaires à une dimension

## Les ondes stationnaires

C'est à dire une onde qui ne se propage plus. Chaque point du milieu vibre dans le temps entre deux positions extrêmes.

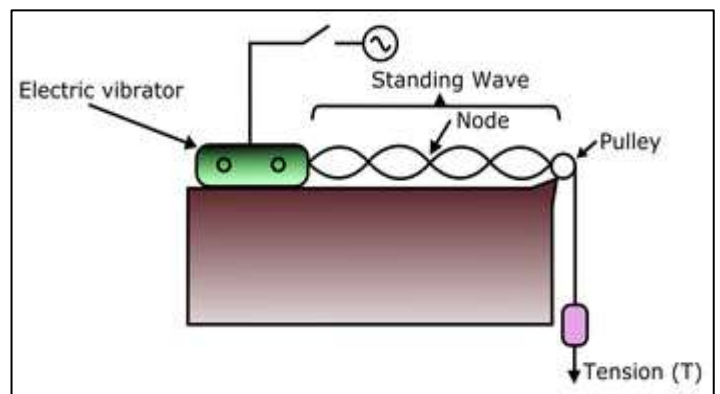


Les ondes stationnaires correspondent à la somme de deux ondes progressives. Dans le cas de notre projet, nous nous intéressons à la somme de deux ondes progressives opposées

## Mise en évidence : Etude de la corde de Melde

Une corde tendue par une masse suspendue à l'aide d'une poulie est excitée par un vibreur à fréquence variable.

Observations : Pour certaines fréquences, la corde entre en vibration avec une amplitude significative. Dans un premier temps, on observe un fuseau de vibration puis il est possible d'en observer plusieurs



Conclusion : La corde est le siège d'ondes qui ne progressent pas : elles sont stationnaires

Les fuseaux observés correspondent à une succession de nœuds et de ventres de vibrations. En effet certains points de la corde ont une amplitude de vibration maximale (ventre de vibration) et d'autres ne vibrent pas (nœuds de vibration).

Nous avons recherché les fréquences de vibration donnant naissance aux différents fuseaux observés :

<b>EXPERIENCE1</b>	Fréquences (Hz)	1m-50g
	18	1 fuseau
	36	2 fuseaux
	54	3 fuseaux
	72	4 fuseaux
	89	5 fuseaux
	108	6 fuseaux
	127	7 fuseaux

Conclusion 1 : Les fréquences sont toutes des multiples entiers de la fréquence donnant un fuseau unique.

$f_p = p \times f_1$ . Pour la fréquence  $f_1$ , le mode de vibration est appelé mode propre de vibration. Les autres modes sont les modes harmoniques.

Nous avons ensuite cherché à connaître l'influence des différents paramètres de la corde sur nos observations. Dans un premier temps, nous avons choisi de modifier la tension de celle-ci en modifiant la masse suspendue

<b>EXPERIENCE2</b>	Fréquences (Hz)	1m-100g
	25	1 fuseau
	50	2 fuseaux
	75	3 fuseaux
	100	4 fuseaux

Conclusion 2 : Quand la tension augmente les fréquences augmentent

Nous avons ensuite étudié l'effet d'une modification de la longueur de la corde.

<b>EXPERIENCE 3</b>	Fréquences (Hz)	50cm-100g
	50	1 fuseau
	100	2 fuseaux
	150	3 fuseaux
	200	4 fuseaux

Conclusion3 : Les fréquences des modes de vibration de la corde sont inversement proportionnelles à la longueur de la corde.

En recherchant, nous avons trouvé que la tension de la corde avait une influence sur la célérité des ondes qui s'y propagent. On en a alors déduit que les fréquences des modes de vibration étaient fonction à la fois de la célérité des ondes et de la longueur de la corde.



## Partie 3 : Etude des ondes stationnaires à deux dimensions

Comment s'établit alors un régime d'ondes stationnaires quand la propagation est à deux dimensions ?

Il semble que dans ce cas les nœuds sont en fait des courbes appelées lignes nodales. Les ventres sont également des courbes. Le mode fondamental présente les courbes nodales les plus simples.







Y-a-t-il une relation entre l'obtention d'une figure et la fréquence d'excitation ?

Pour répondre à cette question, nous avons décidé de choisir une plaque de matière et dimension fixées et de la faire vibrer avec un vibreur à fréquence variable. Nous avons donc rassemblé les figures et les fréquences

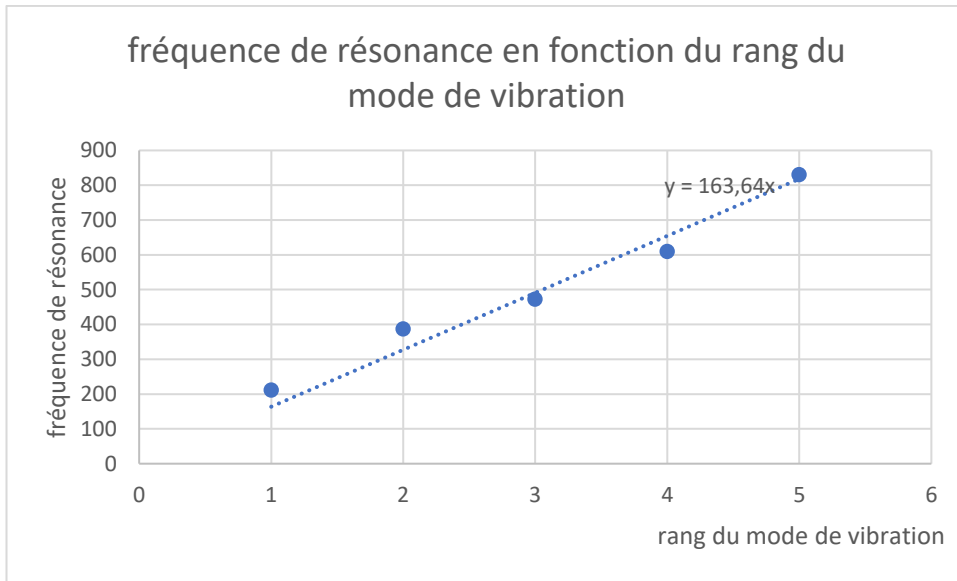
La plaque choisie est une plaque de bois d'épaisseur 5mm

Figure	Fréquence(Hz)
	610



		212
		387
		473
		831

Nous avons ensuite essayé de voir s'il existait une relation entre ces modes de vibration et leur fréquence : nous avons tracé la fréquence de résonance en fonction du rang du mode de vibration



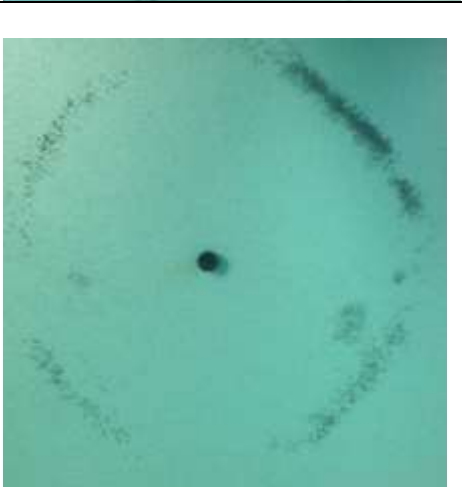
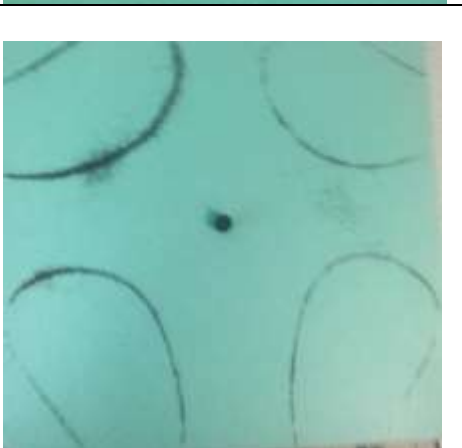


Il semble donc qu'il existe une relation simple entre le rang du mode de vibration et la fréquence de vibration

#### Est-ce que ces modes de vibration dépendent de la nature du matériau ?

Nous avons recommencé les mêmes mesures avec une plaque de même dimension mais dans un autre matériau. Nous avons trouvé dans le labo des dalles de polystyrène de 5mm d'épaisseur (comme notre plaque de bois) et nous avons découpé une dalle de même dimension que celle utilisée dans la partie précédente.

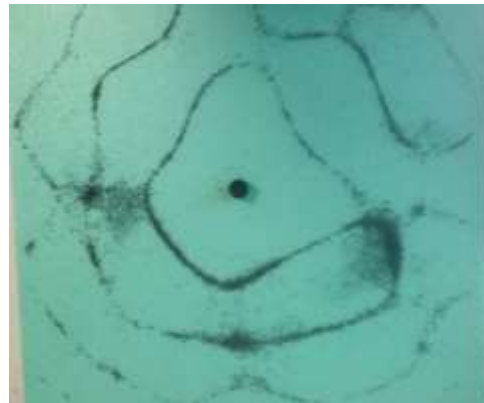
Voici nos résultats

Fréquence (Hz)	Figure
100	
54	
32	
172	

284



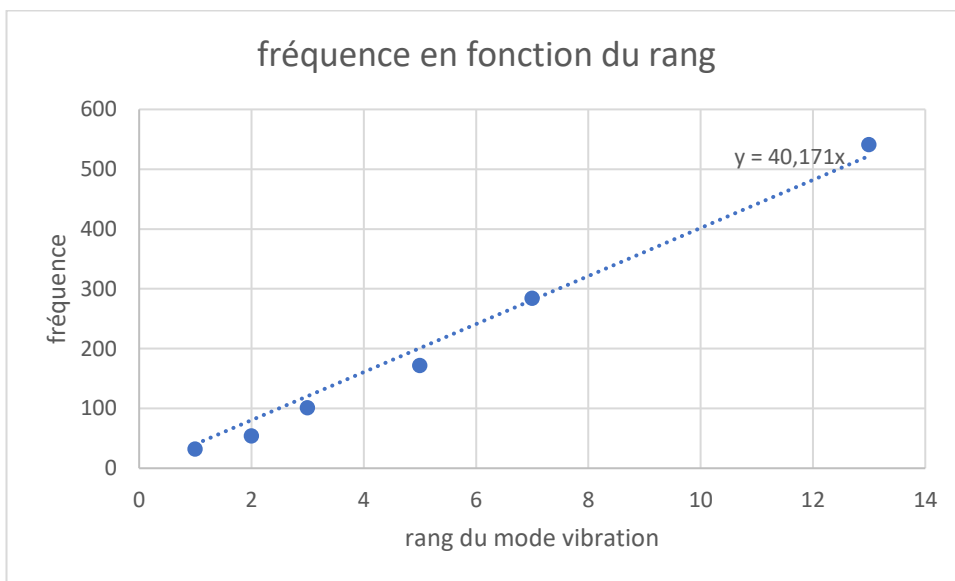
541



Les fréquences ne sont pas les mêmes qu'avec la plaque en bois.

Les fréquences de résonance permettent de caractériser la nature du matériau

En reprenant une étude similaire à l'étude des fréquences de la plaque en bois nous obtenons la droite suivante comme représentation de la fréquence de résonance en fonction du rang



On voit bien ici que la droite n'a pas la même pente que pour la plaque en bois : Cette pente caractérise la nature du matériau

Est-ce que la géométrie de la plaque peut influencer les modes de vibration ?

Nous avons donc refait l'expérience avec une plaque de polystyrène rectangulaire de dimensions différentes puis avec des plaques découpées en disque.



La géométrie a un impact direct sur les modes de vibration : En effet, les différentes de résonance mesurée sont totalement différentes.

Est-il possible de détecter un défaut dans une plaque à l'aide de ces figures ?

Nous avons expérimenté en prenant deux plaques de polystyrène identiques et en formant une figure pour une fréquence donnée. Nous avons pu remarquer que la figure de Chladni obtenue est modifiée lorsqu'un défaut est présent dans la plaque.

### **CONCLUSION :**

Notre étude nous a permis d'étudier les ondes stationnaires à une dimension (sur les cordes) et à deux dimensions (Dans les plaques). Nous avons ainsi pu observer une représentation des sons émis par les plaques lors de leurs excitations par l'intermédiaire des figures de Chladni. Le confinement nous a fortement freiné dans la suite de notre étude car la découverte des figures de Chladni et leurs propriétés nous ont donné envie d'étudier leurs modifications quand le matériau présente des défauts de structure.