

---

# *LABORATOIRE 2*

## *LES ONDES STATIONNAIRES*

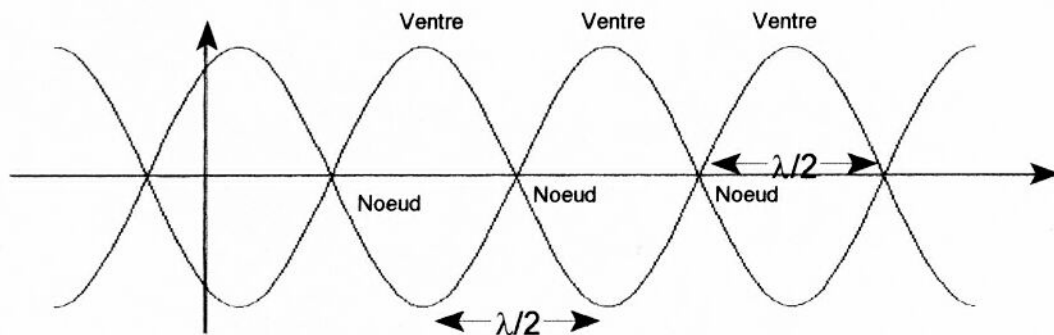
### *But*

Au cours de ce laboratoire, vous allez déterminer la vitesse du son dans l'air ainsi que la vitesse de la lumière.

### *THÉORIE*

#### Ondes stationnaires

Lorsque deux ondes de même fréquence se propagent en sens contraire dans un même milieu, leur superposition produit une onde stationnaire. Cela signifie que l'amplitude résultante dépend de la position. À certaines positions, il y aura une amplitude nulle. Ces points sont appelés des nœuds de l'onde stationnaire. À certaines positions, au contraire, il y aura une amplitude maximale. Ces points sont appelés ventre. La distance entre deux nœuds (ou deux ventres) est égale à  $\lambda/2$ .



## 2 - Les ondes stationnaires

Si on mesure la distance entre deux nœuds, on peut donc connaître la longueur d'onde. De plus, si on connaît la fréquence de l'onde, on peut calculer sa vitesse avec la formule

$$v = f \lambda \quad (1)$$

Si on applique le tout aux ondes sonores, il sera possible de calculer la vitesse du son dans l'air. Cette vitesse varie en fonction de la température d'une façon assez complexe. Toutefois, il existe une approximation valide pour des températures près des températures ambiantes. Cette approximation est

$$v_{\text{son}} = 20,06\sqrt{T} \text{ m/s} \quad (2)$$

où  $T$  est la température en Kelvin. Si on applique le tout aux ondes électromagnétiques, il sera alors possible de calculer la vitesse de ces ondes, qui est la vitesse de la lumière. Cette vitesse est, par définition, égale à

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

## MÉTHODE UTILISÉE

### La vitesse du son

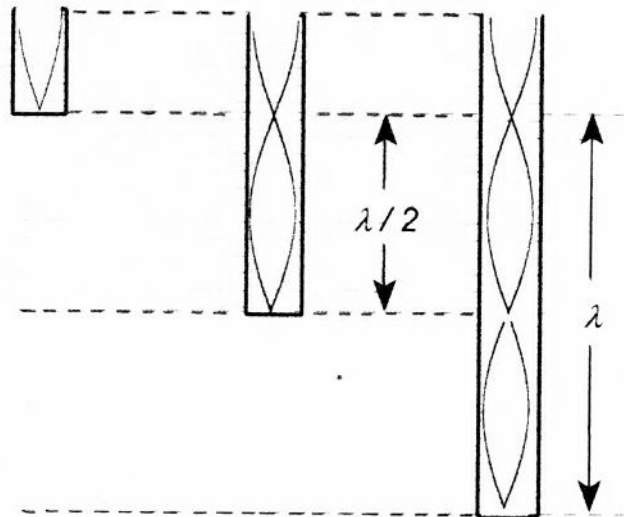
Si une source est placée à l'extrémité d'un tube ouvert ou fermé, l'intérieur du tube devient une colonne d'air et un phénomène d'ondes stationnaires s'y installera si la longueur du tube est un multiple entier de la longueur d'onde.

Pour un tube fermé à une extrémité et ouvert à l'autre, il y a plusieurs modes de vibration ou harmoniques possibles. La figure de la page suivante vous montre les trois premières harmoniques possibles pour une source de fréquence  $f$  au bout d'un tube dont le bout opposé à la source est fermé.

## 2 - Les ondes stationnaires

Nous voyons clairement sur cette figure que lorsqu'il y a une onde stationnaire, il y a un nœud à l'extrémité fermée du tube. De plus, on voit que cela se produit à chaque fois qu'on augmente la longueur du tube de  $\lambda/2$ .

Pour trouver la position des nœuds, nous allons fixer un hautparleur au bout d'un tube rempli d'eau. Le hautparleur envoie un son dans le tube et on cherche les longueurs du tube pour lesquelles il se forme des ondes stationnaires. Pour varier la longueur du tube, on retire ou on ajoute de l'eau dans le tube à l'aide d'un bassin qui communique avec le tube par un tuyau. À chaque fois que le son deviendra plus intense, nous avons une onde stationnaire et la position du niveau d'eau correspond à la position d'un nœud. Il ne reste qu'à noter la position des nœuds.



### La vitesse de la lumière

Pour cette partie, on se sert d'une onde électromagnétique centimétrique (microondes) qui est réfléchi sur elle-même grâce à un miroir. La superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchi crée une onde stationnaire.

Sur le trajet de l'onde, une petite plaquette métallique sert de « sonde ». Cette sonde réfléchit une partie de l'onde résultante vers un récepteur. L'indication du récepteur est donc proportionnelle à l'intensité de l'onde résultante à l'endroit où est la sonde. Elle sera maximale si la sonde se trouve sur un ventre et minimum si la sonde se trouve sur un nœud. En déplaçant le miroir vers la source, les nœuds et les ventres se déplacent aussi puisqu'il doit y avoir obligatoirement un nœud sur le miroir et que la distance entre les nœuds ne change pas si on ne change pas la fréquence. Donc si le miroir avance vers la source de 3 centimètres, tous les nœuds se déplaceront également de 3 centimètres vers la source. Si on a au départ un nœud à la position de la sonde, on déplacera le miroir jusqu'à ce que l'on ait de nouveau un nœud à la position de la sonde. Alors, la distance entre les nœuds correspond au déplacement du miroir et nous pouvons ainsi déduire la longueur d'onde de notre signal.

## *2 - Les ondes stationnaires*

### **Appareils**

- Générateurs de fréquence  
Fréquence  $\pm 1$  sur le dernier chiffre affiché
- Hautparleur
- Décibelmètre
- Tube à eau
- Montage à microonde  
Fréquence 10,54 Ghz  $\pm 1$  %
- Thermomètre numérique  
 $\pm 1$  °C

### **Manipulations**

#### La vitesse du son

Le tube à longueur ajustable est déjà monté. La hauteur de la colonne d'eau s'ajuste en déplaçant verticalement le réservoir d'eau.

- Lorsque le générateur de fréquence fonctionne, il y a certaines longueurs de tube pour lesquelles des ondes stationnaires s'installent. Vous devez démarrer le système avec le tube très court de façon à ce que la première résonance se produise au mode fondamental.
- En descendant le réservoir, notez les positions de la surface de l'eau pour lesquelles vous obtenez une onde stationnaire, donc une augmentation de l'intensité sonore. La position de la surface de l'eau correspond alors à la position d'un nœud de l'onde stationnaire. Indiquez vos résultats dans le tableau ci-dessous.

## 2 - Les ondes stationnaires

TABLEAU 1 - LONGUEUR DE LA COLONNE D'AIR À LA RÉSONANCE

Nœud	Position
	cm
	± .
Nœud de départ	
1	
2	
3	
4	
5	

- Notez la fréquence de votre générateur. On va la noter au début et à la fin car elle a tendance à baisser lentement

$f$  générateur initiale : \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ .

$f$  générateur finale : \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ .

- Mesurez également la température de l'air dans votre tube

Température: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ .

### La vitesse de la lumière

Il faut d'abord faire fonctionner l'appareil. Tout au long des manipulations que vous aurez à effectuer avec le montage à microondes, vous devez procéder avec la plus grande douceur : que ce soit en tournant le bouton de commande ou en déplaçant les diverses pièces composant le montage. Non seulement cela vous permettra une

## *2 - LES ONDES STATIONNAIRES*

meilleure précision dans vos mesures, mais aussi une précaution nécessaire à la bonne marche des appareils.

Avant de brancher l'émetteur, vérifiez que le bouton de commande du potentiel de répulsion (repeller) est à sa position d'arrêt (Off).

Le montage se compose de plusieurs parties. Il y a tout d'abord l'émetteur de microondes. C'est l'appareil surmonté d'une lampe appelée le Klystron. Ce Klystron devient facilement très chaud, et d'autre part, c'est une pièce relativement fragile alors évitez donc d'y toucher sinon Tony va s'occuper de vous.

Puis il y a le récepteur. C'est l'appareil muni d'un cadran de lecture. Le déplacement de l'aiguille permet d'apprécier l'intensité de l'onde reçue par le récepteur. Dans la pratique, nous interprèterons la graduation du cadran comme une échelle arbitraire, et non comme représentant une valeur numérique précise. De toute façon, on va ne chercher que des maxima ou des minima d'intensité, donc on se fout bien de l'échelle de ce cadran. Le bouton de Gain permet d'ailleurs de modifier l'échelle représentée par la graduation.

Ces deux appareils seront toujours reliés à un disque gradué en degrés par l'intermédiaire de règles métalliques graduées en cm. Le tout est accompagné de divers accessoires qui servent à étudier le comportement de l'onde. Ces accessoires seront toujours montés sur de petits supports en caoutchouc prévus à cette fin.

Inutile d'apporter votre big mac pour le faire chauffer puisque l'appareil n'est pas assez puissant pour cuire les aliments. Une chance parce que, sinon, les étudiants ne seraient pas beaux à voir à la sortie de l'expérience.

### Mise en marche et réglages

Le réglage de l'appareil se fait de la façon suivante

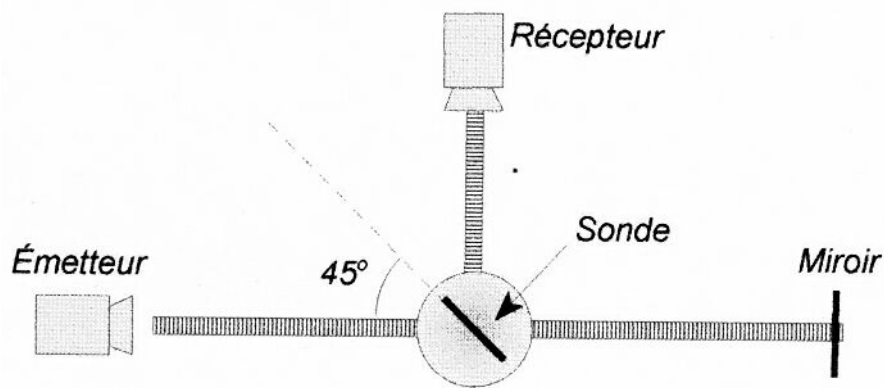
- Assurez-vous tout d'abord que le réglage de l'émetteur est à off et que le gain du récepteur est au maximum.
- Branchez l'émetteur et mettez-le en marche. Attendez deux minutes, le temps de permettre à l'appareil et au Klystron de se réchauffer.
- L'émetteur et le récepteur étant placés un en face de l'autre, à une cinquantaine de cm, tournez très lentement le bouton de l'émetteur, toujours dans le même sens (vers sa position maximum). Vous remarquerez alors que la lecture indiquée par le récepteur passe successivement par des valeurs maximales et minimales. Il s'agit

## 2 - Les ondes stationnaires

pour vous de repérer pour quelle position du bouton de l'émetteur on obtient le maximum d'émission. Si l'aiguille du récepteur dépasse la graduation du récepteur, diminuer le gain. Lorsque vous avez trouvé le maximum d'émission, vous conserverez cette position du bouton de l'émetteur tout au long de l'expérience.

### Mesure de la vitesse de la lumière

- Effectuez le montage suivant



- Faites d'abord une étude qualitative du phénomène. En déplaçant le miroir vers la source, observez les variations de l'intensité captée par le récepteur. Si le maximum des lectures est trop bas, augmentez le gain du récepteur.
- Nous allons maintenant mesurer la position des nœuds. En déplaçant le miroir, trouver une position pour laquelle l'intensité au récepteur est minimum. Notez la position de ce nœud de départ dans le tableau. Déplacez ensuite le miroir jusqu'à ce que l'intensité au récepteur soit de nouveau au minimum. Vous avez alors le premier minimum. Notez sa position dans le tableau. Continuez à le déplacer de façon à trouver la position d'une dizaine de nœuds environ.

*2 - Les ondes stationnaires*

**TABLEAU 2 – POSITION DES NŒUDS**

Nœud	position
	cm
	± .
Nœud de départ	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	

## 2 - LES ONDES STATIONNAIRES

### RÉSULTATS

#### La vitesse du son

- Faites un tableau de la position des noeuds
- Donnez la fréquence du générateur.
- Donnez la température

#### La vitesse de la lumière

- Faites un tableau de la position des noeuds

### CALCULS

#### La vitesse du son

- Calculez la valeur de  $\lambda/2$  à partir des positions des nœuds que vous avez obtenues. Cela se fait de la façon suivante :

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{\left| \text{position du dernier noeud} - \text{position du noeud de départ} \right|}{\text{numéro du dernier noeud}}$$

- Calculez la vitesse du son dans le tube à partir de  $\lambda$  et de la fréquence du générateur.
- Calculez la valeur théorique de la vitesse du son avec la température.

#### La vitesse de la lumière

- Calculez la valeur de  $\lambda/2$  à partir des positions des nœuds que vous avez obtenues. Cela se fait de la façon suivante :

## 2 - Les ondes stationnaires

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{\text{position du dernier noeud} - \text{position du noeud de départ}}{\text{numéro du dernier noeud}}$$

- Calculez la vitesse de la lumière à partir de  $\lambda$  et de la fréquence du générateur.

### ANALYSE DES RÉSULTATS

- Comparez la vitesse du son obtenue avec la valeur théorique.
- Comparez la vitesse de la lumière obtenue avec la valeur théorique.

## 2 - Les ondes stationnaires

### RÉSULTATS

Noms des membres de l'équipe: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### La vitesse du son

Nœud	Position
	cm
	± .
Nœud de départ	
1	
2	
3	
4	
5	

$f$  générateur initiale : \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ .

$f$  générateur finale : \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ .

Température: \_\_\_\_\_

## 2 - Les ondes stationnaires

### La vitesse de la lumière

Nœud	position
	cm
Nœud de départ	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	