

# G - Optique et acoustique

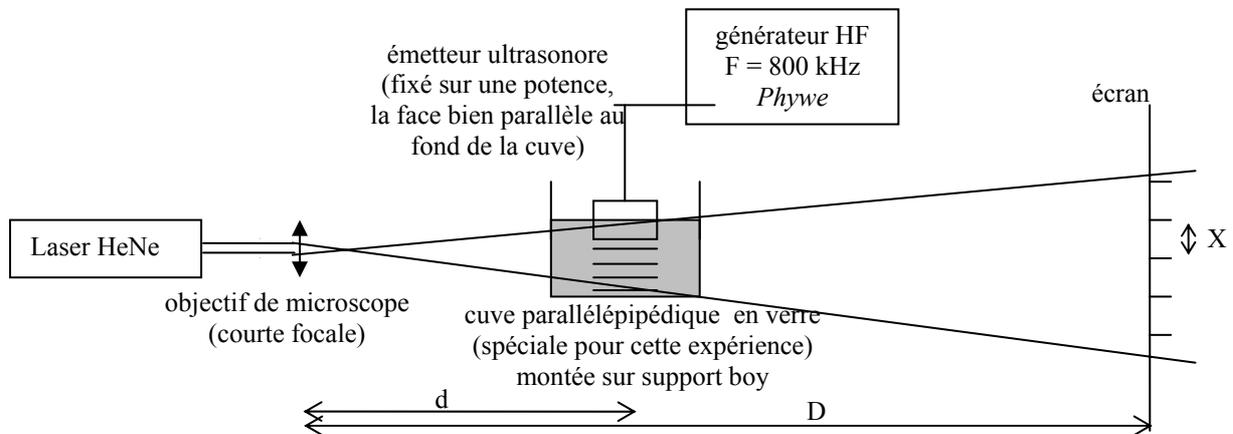
## Visualisation d'une onde ultrasonore par ombroscopie ou filtrage spatial Application : modulateur/défecteur acousto-optique

On va voir ici trois méthodes optiques différentes permettant de mettre en évidence la présence d'une onde acoustique dans un liquide (ombroscopie, filtrage spatial puis diffraction), puis une application à la modulation ou déflexion d'un faisceau laser.

### I - MISE EN EVIDENCE OPTIQUE D'ONDES ULTRASONORES DANS UN LIQUIDE - 3 METHODES :

**Précaution** : Ne pas laisser l'émetteur ultrasonore à forte amplitude dans l'air, ni trop longtemps dans l'eau (ça chauffe !)

#### 1 - OMBROSCOPIE : (Phénomène physique observé : optique géométrique, réfraction)



En se réfléchissant au fond de la cuve, l'onde ultrasonore forme une modulation stationnaire de pression, donc d'indice de réfraction, de période  $\Lambda/2$ ,  $\Lambda$  étant la longueur d'onde acoustique dans le fluide. Sur l'écran, on observe une modulation de l'intensité du faisceau laser, due à la réfraction différente sur les ventres et les nœuds de pression dans le fluide (effet de « loupe »). Pour avoir une modulation bien contrastée, il faut que l'émetteur soit bien parallèle au fond de la cuve et pas trop loin du fond (l'atténuation de l'onde dans le fluide diminue le taux d'ondes stationnaires). Il faut aussi que la distance entre l'émetteur et le fond de la cuve soit égale à un nombre entier de demi-longueur d'onde acoustique (on peut observer cette condition de résonance en montant le support boy, l'émetteur étant fixe : on fait ainsi varier la distance émetteur - fond de la cuve, et on observe une modulation périodique du contraste).

Sur l'écran, la période de la modulation stationnaire est :

$$X = \Lambda/2 \times D/d$$

On en déduit :  $\Lambda = 2 X d / D$ ,

puis  $v = \Lambda \times F$ , vitesse du son dans le fluide ( $F = 800$  kHz, fréquence acoustique).

Exemple de mesures : Pour  $D = 200 \pm 1$  cm ( $\Delta D/D \approx 0,5$  %) et  $d = 35 \pm 1$  cm ( $\Delta d/d \approx 3$  %) :

- dans l'eau :  $16 X = 8,9 \pm 0,2$  cm ( $\Delta X/X \approx 2$  %)  
on en déduit :  $\Lambda = 1,95 \pm 0,07$  mm ( $\Delta \Lambda/\Lambda \approx [(\Delta X/X)^2 + (\Delta D/D)^2 + (\Delta d/d)^2]^{1/2} = 3,6$  %)  
puis  $v = 1560 \pm 60$  m/s (d'après la notice du générateur HF,  $\Delta F \approx 5$  kHz, donc  $\Delta F/F \approx 0,6$  %  
négligeable, donc  $\Delta v/v \approx \Delta \Lambda/\Lambda = 3,6$  %)

à comparer à la valeur tabulée :  $v = 1498$  m/s à  $25$  °C (*Handbook of Chemistry and Physics*)

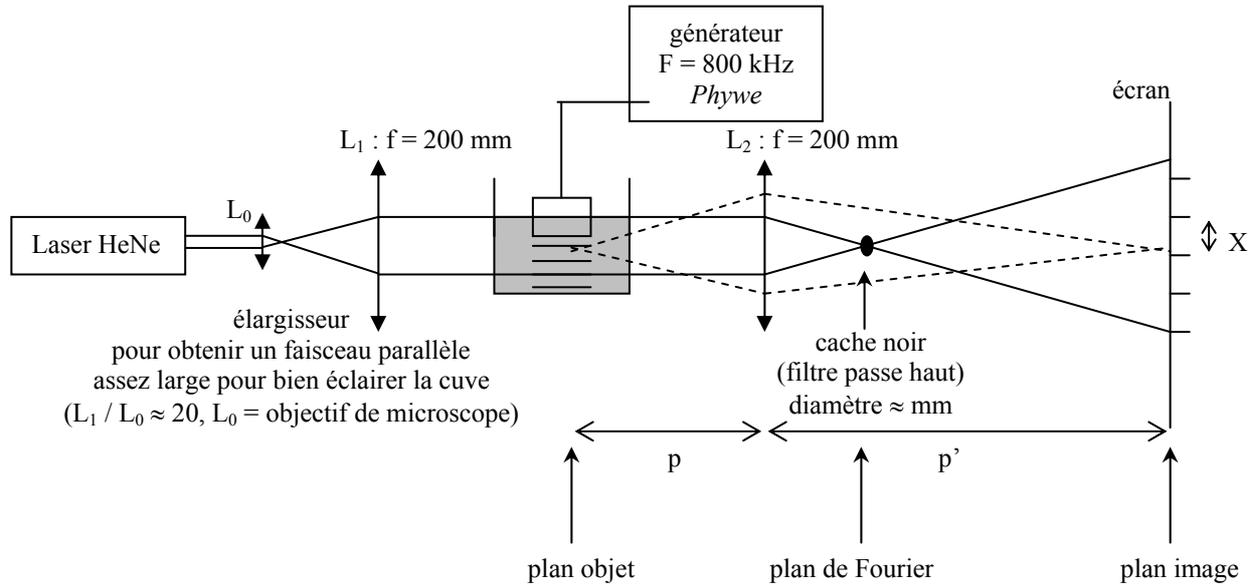
- dans l'éthanol :  $18 X = 7,9 \pm 0,2$  cm  
on en déduit :  $\Lambda = 1,54 \pm 0,06$  mm  
puis  $v = 1230 \pm 50$  m/s  
à comparer à la valeur tabulée :  $v = 1207$  m/s à  $25$  °C.

Par ombroscopie, la modulation apparaît sur **fond clair** (l'écran en l'absence d'onde ultrasonore, il y a un fond lumineux homogène sur l'écran). La méthode suivante permet **d'améliorer le contraste en travaillant sur fond noir** (en absence d'onde ultrasonore, l'écran est noir) :

## 2- OBSERVATION DU RESEAU DE PHASE PAR FILTRAGE SPATIAL :

(voir par exemple Quaranta Mécanique p.409, et la notice « E - Optique de Fourier »)

(Phénomène physique observé : optique ondulatoire, diffraction – strioscopie / contraste de phase)



Le faisceau parallèle éclairant la cuve doit être large et homogène. Le schéma correspond ici à une source laser mais on peut aussi travailler en lumière blanche avec un condenseur suivi d'un petit diaphragme placé au foyer objet d'une lentille convergente).

Le plan focal image de  $L_2$  est le plan de Fourier de l'objet : on y observe son spectre en fréquences spatiales :

- si le générateur à ultrasons est coupé, on observe un point représentant la composante de fréquence nulle (l'objet est homogène)
- si l'amplitude de l'onde ultrasonore est suffisante, l'objet se comporte comme un réseau de phase et on observe dans le plan de Fourier une figure de diffraction étalée dans la direction verticale.

On observe sur l'écran l'image du fluide situé sous l'émetteur : au départ (générateur allumé mais sans cache), l'intensité de l'image doit être homogène : on ne doit pas voir de modulation d'intensité due à l'onde ultrasonore, car on fait l'image d'un objet de phase (si ce n'est pas le cas, cela veut dire que l'image n'est pas assez soignée, alors on observe le phénomène d'ombroscopie vu précédemment – l'ombroscopie n'est invisible que dans le cas particulier recherché ici où l'écran est placé dans le plan conjugué de l'objet par la lentille  $L_2$ , il est donc important de rechercher finement cette position).

On place ensuite un cache noir (de diamètre de l'ordre du mm) au centre du plan de Fourier (filtre passe haut). La modulation d'intensité due à l'onde ultrasonore apparaît alors (pour l'interprétation, voir pex. Pérez Ch30-IV-2a). Si on coupe l'onde ultrasonore, l'écran doit être idéalement noir (toute la lumière est coupée par le filtre).

Sur l'écran, la période de la modulation stationnaire est :

$$X = \Lambda/2 \times p'/p$$

On en déduit :  $\Lambda = 2 X p / p'$

puis  $v = \Lambda \times F$ , vitesse du son dans le fluide ( $F = 800$  kHz, fréquence acoustique).

Exemple de mesures :

pour  $p = 24 \pm 1$  cm ( $\Delta p/p \approx 4$  %)  
 $p' = 140 \pm 1$  cm ( $\Delta p'/p' \approx 1$  %)

- dans l'eau :

$$20 X = 10,6 \pm 0,2 \text{ cm} \quad (\Delta X/X \approx 2 \%)$$

On en déduit :  $\Lambda = 1,82 \pm 0,08 \text{ mm}$   $(\Delta\Lambda/\Lambda \approx [(\Delta X/X)^2 + (\Delta D/D)^2 + (\Delta d/d)^2]^{1/2} = 4,7 \%)$

puis  $v = 1450 \pm 70 \text{ m/s}$   $(\Delta F/F \approx 0,6 \%$  négligeable)

- dans l'éthanol :

$$20 X = 8,3 \pm 0,2 \text{ cm}$$

On en déduit :  $\Lambda = 1,42 \pm 0,07 \text{ mm}$

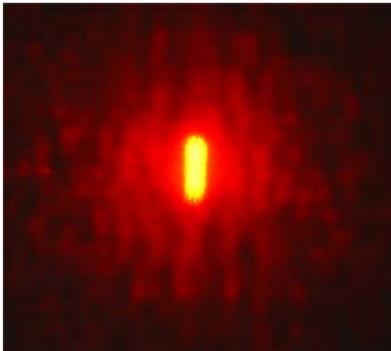
puis  $v = 1140 \pm 55 \text{ m/s}$

**Remarque :** on pourra observer des bulles d'air formées par cavitation qui se piègent sur les ventres de pression de l'onde ultrasonore.

**Autres expériences réalisables à partir de ce montage : Visualisation d'objets de phase par strioscopie, expérience d'Abbe ou filtrage d'images tramées : voir notice « F - Optique de Fourier ».**

### 3-OBSERVATION DU RESEAU DE PHASE PAR DIFFRACTION D'UN LASER :

Si on envoie directement un rayon laser (non élargi) sur la cuve, on obtient l'image suivante :



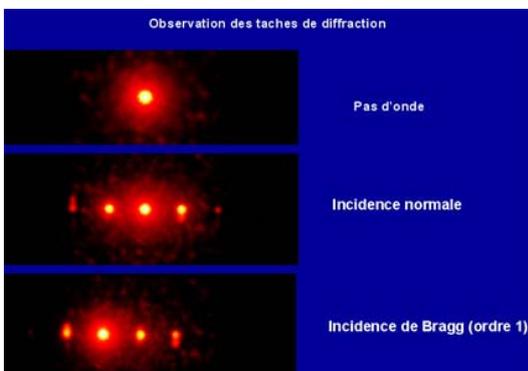
on voit nettement un élargissement vertical du faisceau laser, qui met en évidence l'existence d'un réseau horizontal constitué par l'onde ultrasonore, mais on n'arrive pas à distinguer les ordres de diffraction, donc cette expérience ne permet pas de déterminer la période du réseau. Ceci est dû au fait que l'écart entre les ordres de diffraction est trop faible par rapport à la taille du faisceau laser : les différentes tâches de diffraction se recouvrent.

On pourra remarquer aussi que la hauteur du « trait » que l'on observe augmente avec l'amplitude de l'onde ultrasonore. Ceci ne peut pas être attribué à une augmentation de l'angle de diffraction due à une réduction de la période  $\Lambda$  de l'onde ultrasonore, puisque celle-ci est constante, comme on a pu le vérifier grâce aux deux expériences précédentes. On attribue plutôt ceci à un effet non-linéaire : à faible amplitude, la modulation ultrasonore donne naissance à un réseau sinusoïdal qui ne diffracte qu'aux ordres  $\pm 1$ . A plus forte amplitude, la modulation n'est plus sinusoïdale : des harmoniques (ordres de diffraction plus élevés) apparaissent.

## II - APPLICATIONS :

### 1) MODULATEUR ACOUSTO-OPTIQUE :

La diffraction de la lumière par une onde ultrasonore est mise à profit dans les modulateurs acousto-optiques :



Un générateur haute fréquence ( $F \approx 100 \text{ MHz}$ ) génère dans un solide une onde acoustique de longueur d'onde  $\Lambda$  ( $= C / F$  où  $C \approx 4000 \text{ m/s}$  donc  $\Lambda \approx 50 \mu\text{m}$ , beaucoup plus faible que précédemment). Le faisceau laser est diffracté par cette onde ultrasonore. Ici, on a affaire à de la diffraction de Bragg car l'angle de diffraction est tel qu'on ne peut négliger l'aspect tridimensionnel du milieu diffractant (autrement dit, à l'intérieur du cristal, la déviation d'un rayon lumineux est telle qu'il va traverser plusieurs périodes du réseau acoustique). Pour qu'un maximum d'intensité soit diffracté dans l'ordre 1, on doit donc orienter la cellule pour avoir un angle d'incidence égal à l'angle de Bragg :  $\theta_B = \lambda / 2\Lambda \approx 0,3^\circ$ . Le faisceau laser est alors dévié d'un angle  $2 \theta_B \approx 0,6^\circ$ .

L'amplitude de l'onde ultrasonore peut être modulée par un générateur externe (GBF), ce qui a pour effet de moduler l'intensité diffractée dans l'ordre 1.

## **2) DEFLECTEUR ACOUSTO-OPTIQUE :**

En modulant cette fois-ci non pas l'amplitude mais la fréquence  $F$  du signal HF, on modifie la longueur d'onde ultrasonore  $\Lambda$  donc l'angle de diffraction. Ceci permet de contrôler la déflexion d'un faisceau laser par un signal électrique. Cet effet est utilisé dans les scanners par exemple. Cette expérience ne peut pas être réalisée avec notre matériel car nous ne disposons pas d'alimentation HF de fréquence variable.