

## Cours 3 : Propriétés des ondes

### I. Diffraction

#### TP Diffraction

##### A. Diffraction d'une onde progressive sinusoïdale

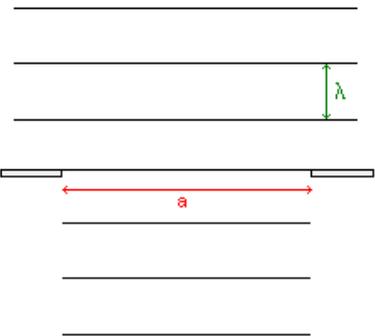
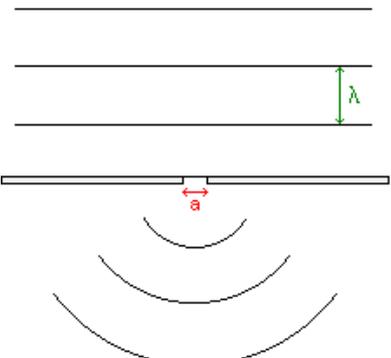
Expérience : Sur la surface d'une cuve à ondes, placer un obstacle muni d'une fente de largeur  $a$  réglable et envoyons des ondes progressives de longueur d'onde  $\lambda$ .

- On se place dans le cas où  $a \gg \lambda$  : on observe que la fente diaphragme les ondes et que celles-ci se propagent sans modification derrière la fente.
- On se place dans le cas où  $a \approx \lambda$  : On observe que l'onde plane est transformée en onde circulaire qui se propage au-delà de la fente.

**On dit que l'onde est diffractée par la fente.**

- On se place dans le cas où  $a < \lambda$  : On observe que l'onde plane est transformée en onde encore plus circulaire qui se propage au-delà de la fente.

Soit une onde plane périodique rencontrant un obstacle ou une ouverture.

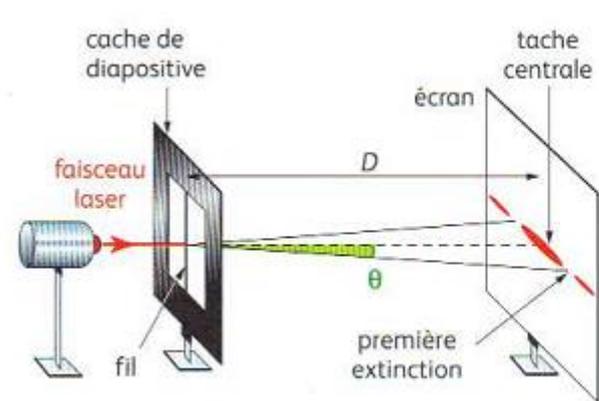
<u>Casn°1</u> L'ouverture est de grande taille par rapport à la longueur d'onde ( $\lambda$ négligeable par rapport à $a$ ).	<u>Casn°2</u> L'ouverture est de petite taille par rapport à la longueur d'onde ( $\lambda$ non négligeable par rapport à $a$ ).
	

Dans le cas n°2, l'onde change de direction et de comportement sans changement de sa longueur d'onde: elle est **diffractée** (le phénomène mis en évidence s'appelle la **diffraction**).

##### B. Le modèle ondulatoire de la lumière

Expérience :

On envoie une lumière laser sur une fente réglable et on observe la lumière transmise sur un écran placé à environ 2.50m de la fente.



Nathan-Terminal 5

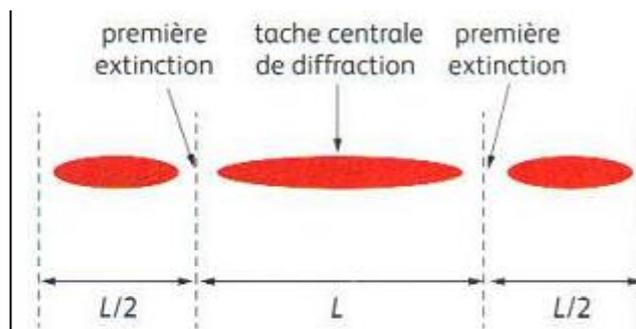


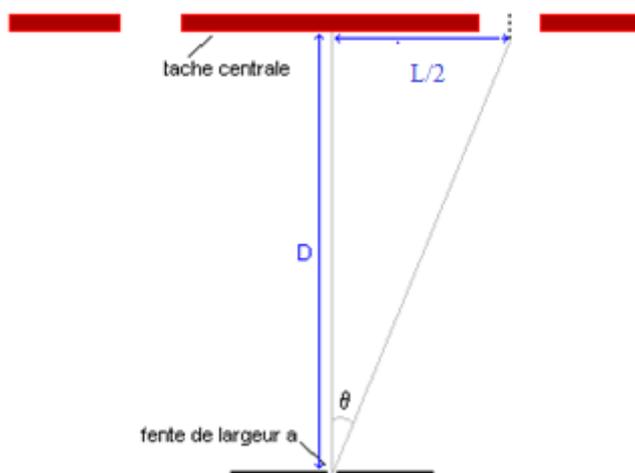
Figure de diffraction obtenue avec un fil vertical de diamètre a

Si la fente est grande ouverte, la tache lumineuse sur l'écran est un point.

Si on ferme progressivement la fente on aperçoit plusieurs taches. Ces taches sont alignées selon une direction perpendiculaire à la fente.

On observe donc le même phénomène de diffraction que pour les ondes sonores. On en conclut que la **lumière se propage sous forme d'onde lumineuse**.

<http://clemspcreims.free.fr/Simulation/diffractionfente.swf>



On montre que lorsque l'ouverture est une fente de largeur a:

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$$

Lorsque l'on fait l'expérience en lumière blanche on observe les couleurs de l'arc en ciel car chaque radiation constituant la lumière blanche est diffractée différemment selon sa longueur d'onde.

<http://clemspcreims.free.fr/Simulation/diffractiontrou.swf>

## II. Interférences

### TP Interférences

#### A. Description

[http://clemspcreims.free.fr/simul\\_ostralo/cuve\\_ondes\\_circulaires.swf](http://clemspcreims.free.fr/simul_ostralo/cuve_ondes_circulaires.swf)

<http://clemspcreims.free.fr/Simulation/young.swf>

Deux ondes de même fréquence peuvent interférer. On observe alors des franges d'interférences.

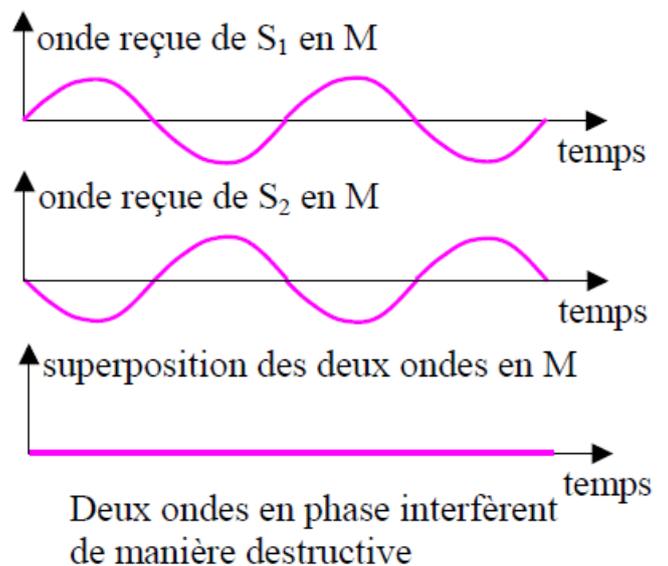
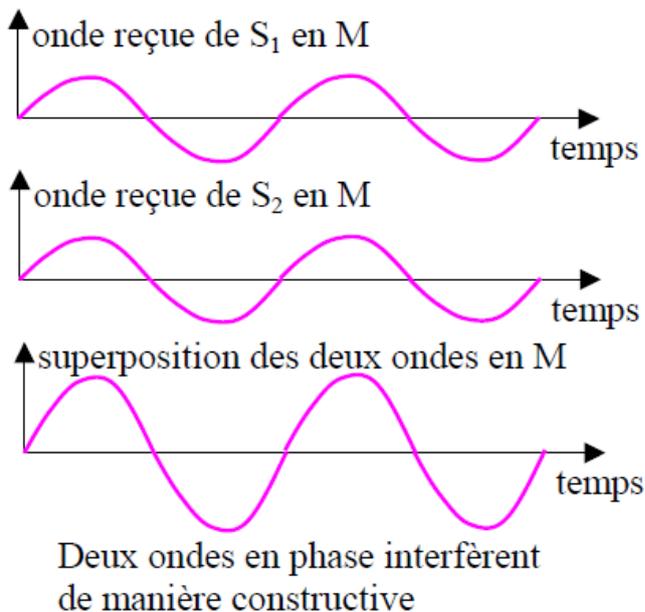


#### B. Interprétation

[http://clemspcreims.free.fr/simul\\_ostralo/interferences.swf](http://clemspcreims.free.fr/simul_ostralo/interferences.swf)

<http://clemspcreims.free.fr/Simulation/addition.swf>

Les interférences sont **constructives** en tout point où les ondes qui interfèrent sont **en phase**.



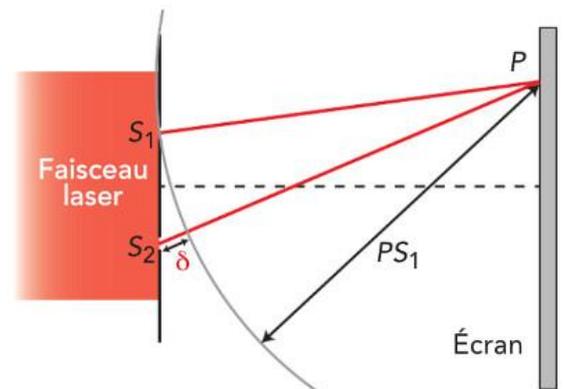
Les interférences sont **destructives** en tout point où les ondes qui interfèrent sont **en opposition de phase**.

Une figure d'interférence stable s'obtient avec **des ondes de même fréquence** et présentant un **déphasage constant** : ce sont **des ondes cohérentes** (elles sont émises par des sources cohérentes)

$$Y_1 = A \cos(2\pi ft) \quad \text{et} \quad Y_2 = B \cos(2\pi ft + \varphi)$$

#### C. Différence de marche

Les deux ondes qui interfèrent sont émises simultanément par chacune des sources, mais doivent



parcourir des distances différentes pour parvenir à un endroit donné du milieu.

La différence entre les distances parcourues par deux ondes issues de sources synchrones qui interfèrent en un point P, est appelée différence de marche, notée  $\delta$ .

$$\delta = S_1P - S_2P$$

- On observe des interférences constructives quand :  $\delta = k\lambda$
- On observe des interférences destructives quand :  $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$

Avec  $k \in \mathbb{N}^*$  appelé ordre d'interférences.

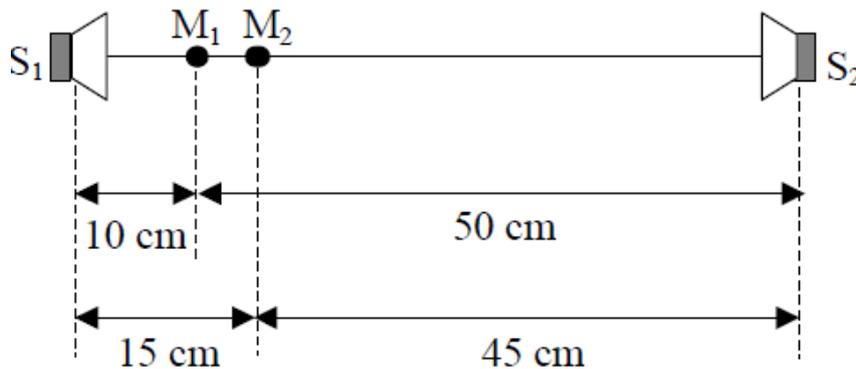
Dans le cas où la différence de marche est quelconque, l'amplitude n'est ni nulle ni maximale.

### Application :

Comment savoir si les interférences sont constructives ou destructives en un point ?

Deux haut-parleurs  $S_1$ , et  $S_2$  placés face à face et distants de  $d = 60$  cm engendrent des ondes progressives, de fréquence  $f = 1,7$  kHz et de célérité  $v = 340$  m.s<sup>-1</sup>.

Les interférences au point  $M_1$  situé entre  $S_1S_2$  à 10 cm de  $M_1$  et au point  $M_2$  situé à 45 cm de  $S_2$  sur ce même axe sont-elles constructives ou destructives ?



La longueur d'onde est

$$\lambda = v / f = 340 / 1,7 \cdot 10^3 = 0,20 \text{ m} = 20 \text{ cm}.$$

La différence de marche des deux ondes en M1 est :

$$\delta = S_2M_1 - S_1M_1 = 50 - 10 = 40 \text{ cm}.$$

$$\delta = 2\lambda$$

Les interférences sont constructives et la superposition des ondes en M1 a une amplitude maximale.

La différence de marche des deux ondes en M2 est :

$$\delta = S_2M_2 - S_1M_2 = 45 - 15 = 30 \text{ cm}.$$

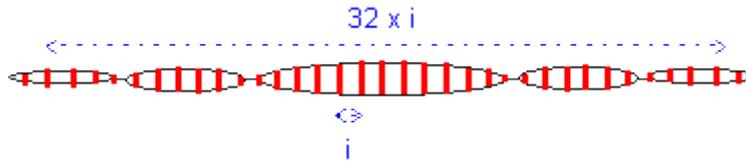
$$\delta = 1,5\lambda$$

Les interférences sont destructives et la superposition des ondes en M1 a une amplitude minimale.

### D. Interfrange

Le cas des ondes lumineuses est particulier, car le mode d'émission de la lumière par une source ne permet pas de former plusieurs sources synchrones séparées. C'est pourquoi les interférences lumineuses sont créées en divisant l'onde émise par une seule source, de sorte qu'elle prenne deux trajets différents, créant ainsi une différence de marche.

On obtient la figure d'interférences :



Les franges sont équidistantes, séparées d'une distance  $i$  appelée interfrange ( $i$  se mesure entre les milieux de 2 zones sombres consécutives).

<http://clemspcreims.free.fr/Simulation/young.swf>

Plusieurs expériences permettent de montrer que l'interfrange augmente si :

- la distance  $D$  entre l'écran et les fentes augmente,
- la longueur d'onde  $\lambda$  de la source utilisée augmente,
- la distance  $d$  entre les fentes diminue.

Le dispositif des fentes d'Young donne des franges d'interférences rectilignes et équidistantes, séparées par un interfrange  $i$  avec

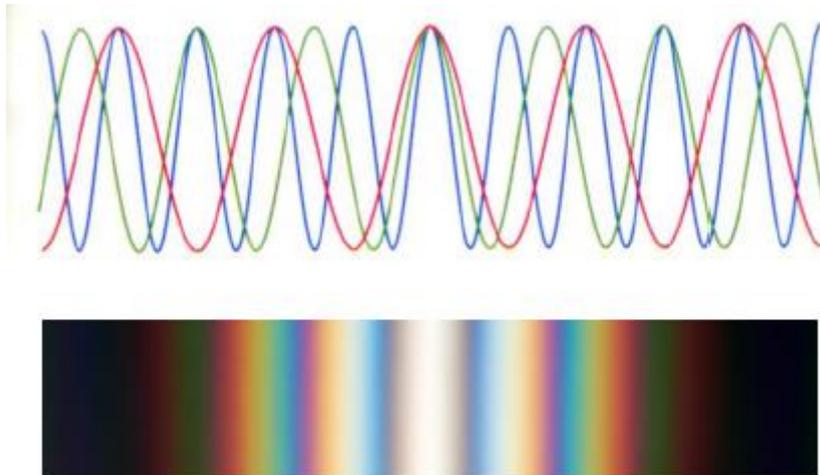
$$i = \frac{\lambda \times D}{d}$$

La mesure de l'interfrange  $i$  permet de déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière du laser.

### E. Interférences en lumière blanche

Si la source émet de la lumière blanche, seules quelques franges colorées sont observées au centre de la figure d'interférences : ce sont les couleurs interférentielles.

En effet, la source émet plusieurs radiations de longueurs d'onde différentes, correspondant à des figures d'interférences différentes, qui se superposent.



Les couleurs sont alors mélangées car les franges de différentes couleurs se brouillent.

La figure d'interférence ne présente qu'une frange blanche (frange centrale) et quelques franges irisées de part et d'autre.

Remarque : dans une bulle de savon, la lumière emprunte plusieurs trajets différents dans la membrane transparente, ce qui explique les couleurs interférentielles.

**Exercice 23p80 ; 30p82,19p78**

### III. L'effet Doppler

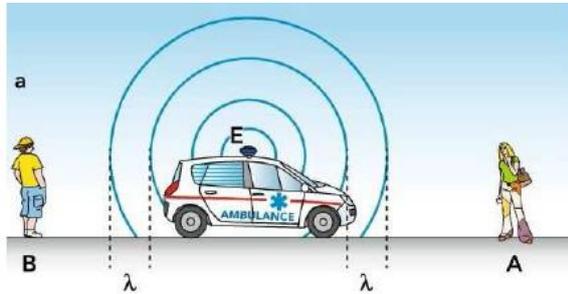
#### TP Effet Doppler

#### Activité L'effet Doppler

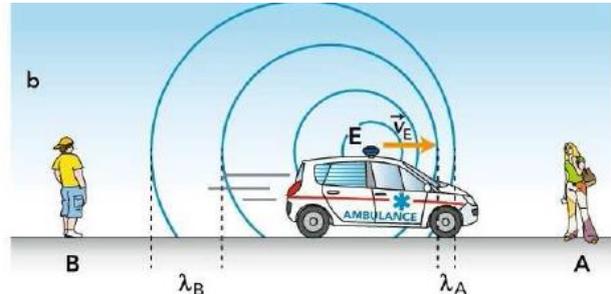
Une onde émise avec une fréquence  $F$  est perçue avec une fréquence  $f'$  différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif : C'est **l'effet Doppler**.

<http://clemspreims.free.fr/Simulation/Doppler.swf>

L'effet Doppler permet de mesurer la vitesse



Si l'émetteur est immobile, les observateurs immobiles A et B perçoivent des ondes de même longueur d'onde :  $\lambda = v_s / f_E$ .



Si l'émetteur se déplace à la vitesse  $v_E$  en s'approchant de A et en s'éloignant de B, ceux perçoivent des ondes de longueurs d'onde  $\lambda_A < \lambda$  et  $\lambda_B > \lambda$ .

Lorsque le véhicule se rapproche de l'observateur (cas de A) la longueur d'onde diminue comme  $f = \frac{c}{\lambda}$  la fréquence du son augmente donc le son devient plus aigu. Et inversement.

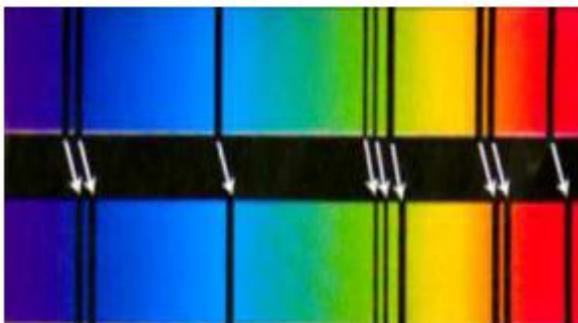
La vitesse du véhicule est donnée par la relation :

$$v_E = v_{son} \frac{f_A - f_E}{f_A}$$

Les radars routiers utilisent l'effet Doppler mais leur fonctionnement est différent de l'exemple car ils sont à la fois émetteurs et récepteur. De même on utilise l'effet Doppler en imagerie médicale pour mesurer la vitesse de déplacement du sang.

**L'effet doppler Fizeau** est utilisé en astronomie pour calculer la vitesse radiale d'une étoile en comparant les longueurs d'ondes de son spectre d'absorption à celui d'une étoile de référence.

L'analyse du spectre de la lumière émise par un astre, permet de déceler un décalage en fréquence lorsque l'astre se déplace par rapport à la Terre.



On constate une augmentation de la fréquence des raies d'absorption (décalage vers le bleu) si l'astre se rapproche de la Terre et vers le rouge en cas d'éloignement.

Spectre d'une source immobile par rapport à l'observateur

Spectre obtenu avec une source s'éloignant de l'observateur

#### Exercice 21p79 et 26p81