

# Chapitre 3 : Interférences

## Prérequis

- chapitre 1 - Description et analyse de signaux
- chapitre 2 - Propagation d'un signal

## Mots-clés

*interférence constructive, interférence destructive, chemin optique, différence de marche, formule de Fresnel, trous d'Young, interfrange, phénomène de battements*



## PLAN DU COURS

### A Généralités

- A.1 Position du problème
- A.2 Interférences constructives et destructives

### B Superposition d'ondes synchrones

- B.1 Deux expérience à connaître
- B.2 Forme mathématique du signal résultant
- B.3 Cas des ondes lumineuses
- B.4 Étude de l'expérience des trous d'Young

### C Superposition de signaux de fréquences voisines

- C.1 Phénomène de battements
- C.2 Forme mathématique du signal résultant



## LES SAVOIRS ET LES SAVOIR-FAIRE

### A Généralités



#### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.
- ★ Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.

#### A.1 Position du problème

1. Rappeler le contexte général dans lequel on se place.

**A.2 Interférences constructives et destructives**

2. Quelle est la condition d'interférence constructive/destructive entre deux signaux sinusoïdaux ?

**B Superposition d'ondes synchrones****B.1 Deux expérience à connaître**

3. Décrire l'expérience d'interférences avec la cuve à onde ainsi que les observations qui en découlent.  
4. Décrire l'expérience d'interférences avec les trous d'Young ainsi que les observations qui en découlent.

**B.2 Forme mathématique du signal résultant****CAPACITÉS EXIGIBLES**

- ★ Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.

5. Montrer que le signal résultant de l'interférence des deux ondes synchrones est nécessairement sinusoïdal et de même fréquence que chacune des deux ondes et établir l'expression de l'amplitude résultante en fonction du déphasage.  
6. Retrouver alors les conditions d'interférences constructives ou destructives.

**B.3 Cas des ondes lumineuses****CAPACITÉS EXIGIBLES**

- ★ Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique.
- ★ Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique entre les deux ondes.
- ★ Exploiter la formule de Fresnel fournie pour décrire la répartition d'intensité lumineuse.

7. Définir ce qu'est le chemin optique. Établir le lien avec le temps de propagation.  
8. Montrer que le déphasage des deux ondes parvenant au capteur peut s'exprimer en fonction de la différence de marche. Comment s'exprime alors la condition d'interférence constructive? destructive?  
9. Quel est le lien (admis) entre amplitude et intensité lumineuse? En déduire la **formule de Fresnel**.

**B.4 Étude de l'expérience des trous d'Young**

Trous d'Young  $T_1$  et  $T_2$  séparés d'une distance  $a$  éclairés par une source ponctuelle monochromatique : pour une abscisse  $x$  le long d'un axe  $Ox$  (parallèle à  $(T_1T_2)$ ) sur l'écran situé à une distance  $D$  des trous.

10. Établir l'expression approchée de la différence de marche comme une fonction affine de  $x$ . En déduire l'interfrange  $i$ .  
11. Montrer que l'intensité lumineuse  $I(x)$  est une fonction sinusoïdale de période spatiale  $i$ .

**C Superposition de signaux de fréquences voisines****CAPACITÉS EXIGIBLES**

- ★ Déterminer une différence de fréquences à partir d'enregistrements de battements ou d'observation sensorielle directe.

**C.1 Phénomène de battements**

12. Pour des signaux de fréquences  $f_1$  et  $f_2$ , établir la période des battements résultant de leur superposition à partir de l'étude du déphasage.

**C.2 Forme mathématique du signal résultant**

13. Dans le cas d'amplitudes identiques des deux signaux qui se superposent, établir l'expression mathématique du signal résultant et tracer l'allure graphique correspondante. Retrouver alors la période des battements à partir de cette expression.



## EXERCICES

DIFFICULTÉ DE L'EXERCICE (ANALYSE, «TECHNICITÉ», ...)

DURÉE DE L'EXERCICE

## COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

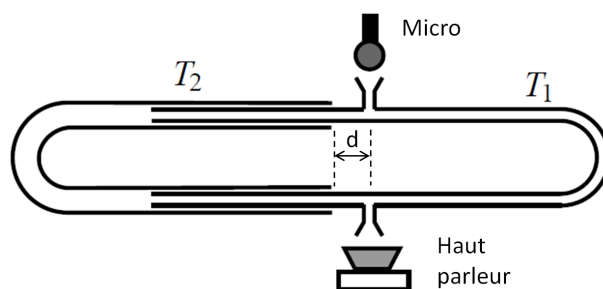
	Exercices			
	1	2	3	4
Exploiter la condition d'interférence destructive ou constructive	•		•	•
Exploiter la fréquence de battements		•		
Exprimer la différence de marche entre deux ondes lumineuses			•	•
Exploiter la formule de Fresnel			•	•

## Exercice 1

## Trombone de Koenig



Le trombone de Koenig est un dispositif de laboratoire permettant de faire interférer deux ondes sonores ayant suivi des chemins différents. Lorsque la partie mobile  $T_2$  est repoussé complètement à droite, les deux chemins sont identiques. Le haut-parleur, alimenté par un générateur de basses fréquences, émet un son sinusoïdal de fréquence  $f = 1500$  Hz. On mesure le signal de sortie avec un microphone branché sur un oscilloscope. On note  $c$  la célérité du son dans l'air.



- Si on déplace la partie  $T_2$  d'une distance  $d$ , comment s'exprime le déphasage  $\Delta\varphi_{1/2}$  entre les deux ondes au niveau du micro en fonction de  $f$ ,  $c$  et  $d$ ?  
Tracer  $\Delta\varphi_{1/2}$  en fonction de  $d$ .
- Lorsque la partie mobile  $T_2$  est complètement repoussée vers la droite, que dire du déphasage entre les deux ondes se superposant au niveau du micro?  
L'amplitude du signal observé varie lorsqu'on déplace la partie  $T_2$ . Préciser pourquoi et de quelle manière.
- En partant d'un minimum d'amplitude du signal observé correspondant à une distance de déplacement  $d_i$  de la partie mobile, on déplace  $T_2$  progressivement. On observe successivement un maximum puis un minimum. On arrête à ce moment le déplacement.  
 $T_2$  a été déplacé d'une distance  $D = d_f - d_i = 115$  mm avec  $u(D) = 2$  mm.  
Déterminer la mesure de la célérité  $c$  du son dans l'air en précisant l'incertitude-type.  
Comment pourrait-on améliorer la précision de cette mesure?

## Exercice 2

## Radar routier



Un radar routier, au bord d'une autoroute (limitation à  $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), émet une onde électromagnétique sinusoïdale de fréquence  $f = 2,00 \cdot 10^{10}$  Hz vers un véhicule s'éloignant du radar à vitesse de norme  $v$ .

On note  $c$  la célérité de l'onde (quasiment égale à la vitesse de la lumière dans le vide). On note  $f'$  la fréquence du signal perçu dans le référentiel du véhicule.

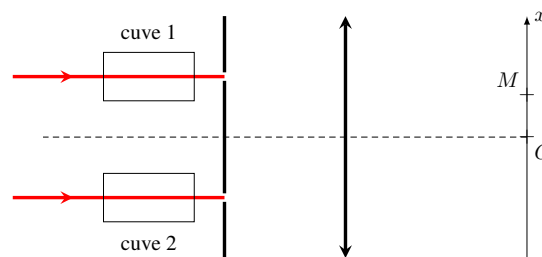
Par réflexion sur l'arrière du véhicule, celui-ci émet alors une onde de fréquence  $f'$  vers le radar. Le radar reçoit alors un signal sinusoïdal de fréquence  $f''$ .

- Montrer que  $f' = f \left(1 - \frac{v}{c}\right)$  et  $f'' = \frac{f'}{1 + \frac{v}{c}}$ .
- Exprimer  $f''$  en fonction de  $f$ ,  $v$  et  $c$ , à l'ordre 1 en  $v/c$ .  
On rappelle que :  $(1 + \epsilon)^\alpha \simeq 1 + \alpha\epsilon$  à l'ordre 1 lorsque  $|\epsilon| \ll 1$ .
- Le radar est conçu de telle sorte à ce qu'il superpose le signal qu'il émet et le signal réfléchi qu'il reçoit. Pour un véhicule donné, la fréquence des battements mesurée par le radar est  $f_{\text{batt}} = 6,7$  kHz. Y a-t-il eu un flash?

## Exercice 3 Détecteur interférométrique de concentration



Deux trous d'Young  $T_1$  et  $T_2$  séparés de  $a = 100 \mu\text{m}$  sont éclairés en incidence normale par un faisceau laser de longueur d'onde  $\lambda = 532 \text{ nm}$ . Les interférences sont observées le long d'un axe  $Ox$  parallèle à  $(T_1T_2)$  dans le plan du capteur CCD d'une webcam, le capteur étant situé dans le plan focal de la lentille de la webcam. Devant chaque trou d'Young est disposée une cuve transparente de forme parallélépipédique de longueur  $\ell = 1,00 \text{ m}$ . Les deux cuves sont identiques et maintenues à  $0^\circ\text{C}$ , mais la cuve 1 contient un gaz d'indice  $n_1$ , alors que la cuve 2 contient un gaz a priori différent et d'indice  $n_2$ .

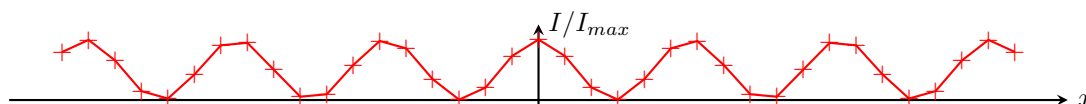


On admet qu'en déviant les rayons lumineux pour former un point image quelconque, la lentille n'introduit pas de différence de marche supplémentaire entre les rayons.

Données :

Indice de l'air pur à  $0^\circ\text{C}$  :  $n_a = 1,00029$       Distance focale de la webcam :  $6,00 \text{ mm}$       Taille d'un pixel :  $5,6 \mu\text{m}$

- Tracer la marche des deux rayons lumineux issus de  $T_1$  et  $T_2$  et interférant en un point  $M$  quelconque de l'axe  $Ox$ .
- Exprimer la différence de marche entre les deux rayons en fonction notamment de  $x$  et des indices optiques de chacun des deux gaz.
- Exprimer et calculer l'interfrange  $i$ .
- Dans le cas où les deux gaz sont identiques, commenter la courbe expérimentale ci-dessous représentant l'intensité lumineuse détectée par le capteur, en admettant que celle-ci est proportionnelle au carré de l'amplitude de l'onde.



- On considère que les deux cuves sont initialement remplies d'air pur d'indice  $n_a$ . Puis, dans la cuve 2 uniquement, cet air est progressivement remplacé intégralement par du monoxyde de carbone. Pendant cette opération, on observe que les franges se translatent vers les valeurs croissantes de  $x$ . Un compteur indique que 113 franges brillantes sont passées en  $O$  à la fin de l'opération.
  - L'interfrange est-elle modifiée ?
  - Pour deux indices  $n_1$  et  $n_2$  de valeurs différentes, quel est déplacement  $d$  de la figure d'interférence par rapport au cas où  $n_1 = n_2$  ? On exprimera  $d$  en fonction de  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $a$ ,  $f'$  et  $\ell$ .
  - Quelle mesure de l'indice optique  $n_{CO}$  du monoxyde de carbone peut-on en déduire ?
- Désormais, on souhaite se servir de ce dispositif pour mesurer la fraction molaire  $\epsilon$  de monoxyde de carbone (càd le pourcentage de monoxyde de carbone en terme de quantité de matière) contenue dans la cuve 2, la cuve 1 étant toujours remplie d'air pur. On admet que l'indice optique  $n_2$  de l'air contenu dans la cuve 2 est une fonction affine de  $\epsilon$ .
  - Quelle est l'expression de  $n_2$  en fonction de  $\epsilon$ ,  $n_a$  et  $n_{CO}$  ?
  - Quelle est la plus petite fraction  $\epsilon$  mesurable à l'aide de ce dispositif ?



## RÉSOLUTION DE PROBLÈME

## Exercice 4 Gravimètre interférentiel



Le dispositif ci-contre permet d'étudier le champ de pesanteur terrestre. Le laser employé est de longueur d'onde  $633 \text{ nm}$ .

Le tracé ci-dessous représente l'intensité lumineuse mesurée par le détecteur. En déduire une mesure de l'intensité du champ de pesanteur.

