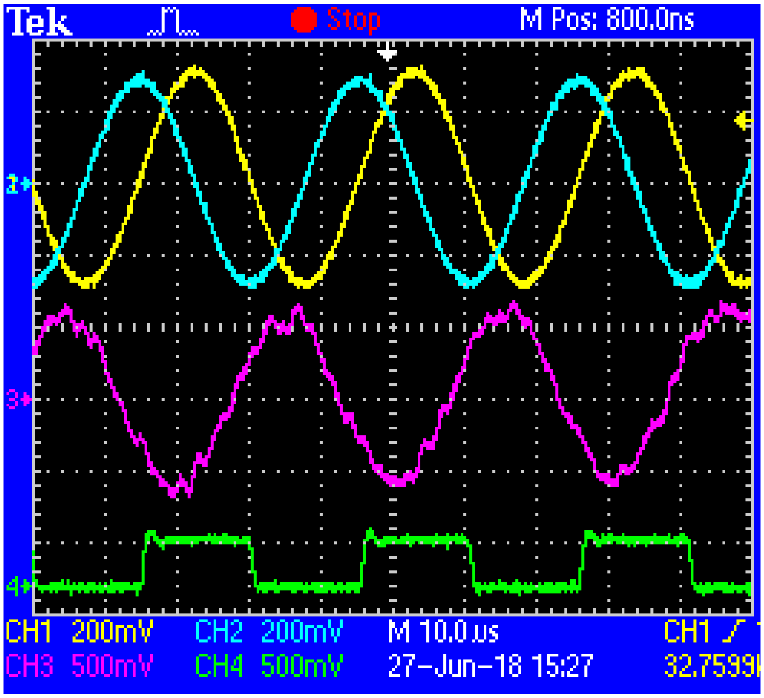
TD 4 - Propagation d'un signal et interférences

1 Applications

1.1 Lecture d'un oscillogramme



1. Mesurer la période des quatre signaux et en déduire leurs fréquences fondamentales (le calibre est visible au dessus de la date).
2. Mesurer l'amplitude des quatre signaux.
3. Mesurer la phase du premier signal et la différence de phase entre les signaux 2 et 3 par rapport au signal 1. Commenter avec le vocabulaire adéquat (retard, avance, en phase, en opposition, ...).
4. Écrire l'harmonique fondamentale des signaux 1, 2 et 3 sous forme mathématique (on utilisera des notations appropriées pour distinguer la phase, la période et l'amplitude des signaux). Faire la synthèse des mesures faites en utilisant les notations décrivant les signaux sous leurs forme mathématique.
5. Le signal 1 correspond à la réception du signal 2 après une distance de 3,4 mm. Écrire le signal 1 sous la forme $f(x-ct)$ où x correspond à une position spatiale de détection ou d'émission de l'onde et c sa célérité. En déduire la célérité de l'onde ainsi que sa longueur d'onde.

1.2 Utilisation des formules trigonométriques dans les calculs d'interférences

1. Soit deux signaux sinusoïdaux en phase, de même période T et d'amplitude respective A et 2A. Exprimer mathématiquement chaque signal et la somme des deux en utilisant des notations appropriées puis tracer les sur le même schéma.
2. Montrer que la somme de deux signaux en quadrature de même amplitude donne un signal résultant d'amplitude $\sqrt{2}$ fois supérieur. Utiliser la méthode des complexes en deuxième choix.
3. Montrer que la somme de signaux sinusoïdaux de fréquence et d'amplitude identique et de différence de phase $\Delta\varphi$ quelconque produit un signal sinusoïdal de même fréquence. On donnera l'amplitude en fonction de l'amplitude et de la différence de phase. Que se passe-t'il pour $\Delta\varphi = 0$? Que se passe-t'il pour $\Delta\varphi = \pi$?

1.3 Battement, spatial et temporel

Soit deux signaux d'amplitudes identiques et de fréquences différentes en phase à $t = 0$.

1. Prévoir le temps minimal au bout duquel les signaux se retrouvent en phase de nouveau.
2. Montrer que la somme des deux signaux précédents correspond au produit de signaux à haute et basse fréquence, dont un des termes fait intervenir ce temps minimal.
3. Tracer une représentation graphique de ce signal résultant (appelé battement).

Soit un écran situé à une distance $D = 1,0$ m de fentes d'Young espacées de $a = 10$ µm. On éclaire les fentes à l'aide de deux lasers quasi-monochromatiques de longueur d'onde $\lambda_v = 532$ nm et $\lambda_v = 632,8$ nm. On définit l'axe (Ox) comme étant perpendiculaire aux franges d'interférences. Le dispositif est réglé pour que le maximum d'intensité lumineuse se trouve en $x = 0$.

4. Décrire le phénomène observé. Y-a-t'il des interférences entre les rayons rouges et verts ?
5. Exprimer les déphasages $\Delta\varphi_v$ (respectivement $\Delta\varphi_r$) entre les rayons vert (respectivement rouges) passant par chaque fente en fonction de x en supposant $x \ll D$.
6. Utiliser la formule de Fresnel pour exprimer l'intensité lumineuse observée sur l'écran, résultant de la superposition de deux figures d'interférences, en fonction de x et des paramètres physiques du système.

7. Quelle est l'écart minimal observé sur l'écran pour que tous les signaux se retrouvent en phase ? Faire le lien avec les questions précédentes.

On rajoute une lame en verre dispersive d'indice $n(\lambda) \simeq n_0 + \dfrac{\gamma}{\lambda^2}$ dépendant de la longueur d'onde derrière les fentes.

8. Décrire le phénomène observé sur l'écran et le quantifier pour une lame d'épaisseur $e = 1$ mm, $n_0 = 1{,}5$ et $\gamma = 4{,}2 \times 10^3$ nm^2.

Propagation d'un signal :

Notions et contenus	Capacités exigibles	Exercices en lien
Exemples de signaux. Signal sinusoïdal.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.	
Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent.		1.1
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme f(x-ct) ou g(x+ct). Écrire les signaux sous la forme f(t-x/c) ou g(t+x/c). Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.	
Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique. Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase. Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation. *Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.*	1.1, 1.3
Milieux dispersifs ou non dispersifs.	Définir un milieu dispersif. Citer des exemples de situations de propagation dispersive et non dispersive.	1.3
Phénomène d'interférences		
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.	Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives. Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.	1.2, 1.3
Interférences entre deux ondes lumineuses de même fréquence. Exemple du dispositif des trous d'Young éclairé par une source monochromatique. Différence de chemin optique. Conditions d'interférences constructives ou destructives. Formule de Fresnel.	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. *Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour visualiser et caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes.*	1.3

Dans cette partie, il est recommandé de s'appuyer sur une **approche expérimentale ou sur des logiciels de simulation** pour permettre aux étudiants de faire le lien entre l'observation de signaux qui se propagent et la **traduction mathématique de cette propagation**, sans qu'aucune référence ne soit faite à une équation d'onde. L'étude de la somme de deux signaux sinusoïdaux de même fréquence et du **phénomène d'interférences** associé permet de mettre en évidence le rôle essentiel joué par le **déphasage** entre les deux signaux dans le signal résultant. L'étude des interférences lumineuses est l'occasion d'introduire la notion de **différence de chemin optique** et de la relier au déphasage.