Thème : Ondes et signaux
Cours 17 : Interférences
(professeur)

B.O. Interférences de deux ondes, conditions d'observation. Interférences constructives, Interférences destructives.
Interférences de deux ondes lumineuses, différence de chemin optique, conditions d'interférences constructives ou destructives.

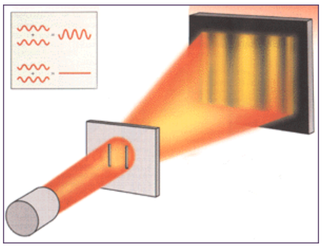
Capacité numérique : Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones en faisant varier la phase à l'origine de l'un des deux.

I. Mise en évidence expérimentale du phénomène d'interférences.

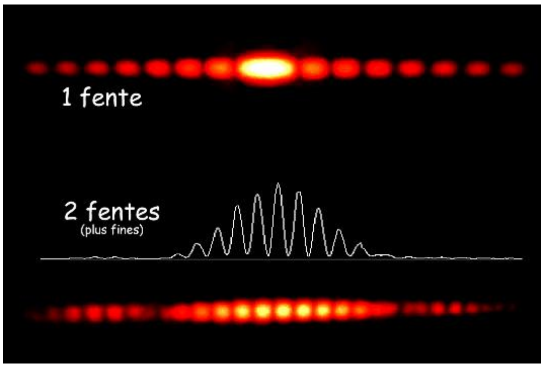
1. Expérience de cours avec un laser.

Un laser émet une lumière monochromatique qui passe :

- Dans un premier temps par une seule fente : phénomène de diffraction.
- Dans un second temps par deux fentes très proches (fentes d'Young) : phénomène d'interférences.



2. Observation.



- On observe des franges brillantes et des franges sombres appelées interférences destructives.

II. Conditions pour l'obtention d'interférences.

1. Notion de cohérence.

Les phénomènes d'interférences résultent de la superposition de 2 ondes lumineuses. Ils ne peuvent se produire que si Les ondes doivent montrent une cohérence temporelle (c'est-à-dire qu'elles sont en phase à leur émission).

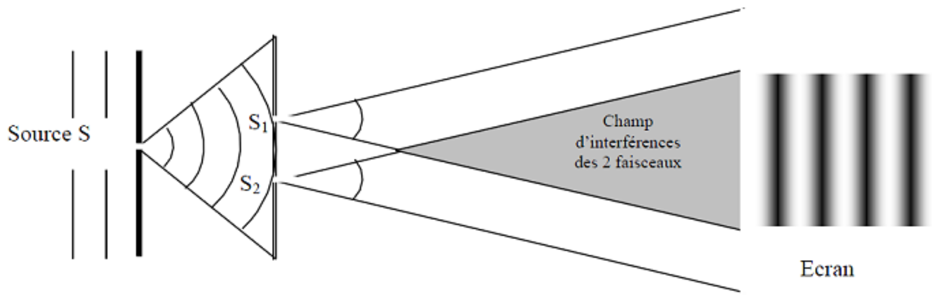
L'émission d'ondes lumineuses s'effectue par un train d'ondes lumineuses de très courte durée. (de l'ordre de la nanoseconde).
La différence de phase Φ_1 - Φ_2 entre deux vibrations émises par deux sources lumineuses quelconques S_1 et S_2 varie un très grand nombre de fois, de manière aléatoire pendant la durée de l'observation (environ 10^9 fois par seconde)
Il y a donc très peu de chance que ces deux ondes soient parfaitement en phase !

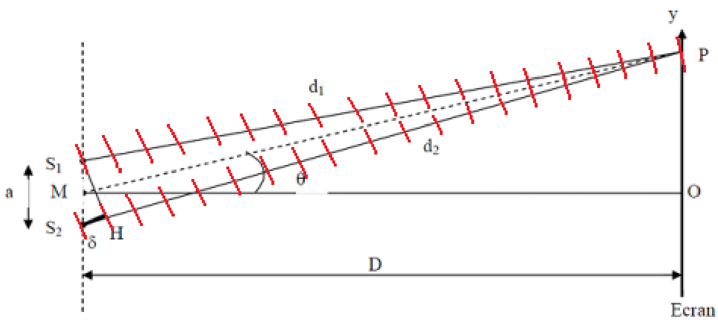
L'astuce : On réalise deux faisceaux issus d'une seule source ponctuelle.

2. Schématisation du dispositif.

Soit S une source ponctuelle monochromatique éclairant 2 fentes S_1 et S_2 proches l'une de l'autre, mais assez éloignées de S. S_1 et S_2 jouent le rôle de sources cohérentes, c'est à dire qu'elles sont dans le même état vibratoire.

S_1 et S_2 diffractent la lumière. Dans la région de l'espace où les 2 faisceaux se superposent, on peut observer des franges d'interférences non localisées.





Au point P, représentant le premier maximum d'amplitude, on observe une frange claire.

III. Conditions pour obtenir des interférences constructives ou destructives en un point de l'écran.

1. Conditions.

Si : $\delta = k\lambda$, **il y a interférences constructives** et on observe des franges brillantes $k \in \mathbb{Z}$

Si : $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$, **il y a interférences destructives** et on observe des franges sombres $k \in \mathbb{Z}$

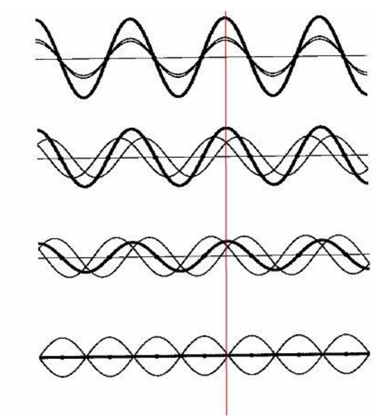
2. Les différents cas de figures de superpositions d'ondes sinusoïdales.

Le trait vertical représente l'écran.

Les ondes sont en phase.
Les amplitudes s'additionnent.
L'écran est éclairé. On obtient des franges claires.
Interférences constructives.

Ondes en quadrature de phase

Les ondes sont en opposition de phase.
La somme des deux ondes est nulle.
L'écran n'est pas éclairé. On obtient des franges sombres.
Interférences destructives.



3. Représentation de la somme de deux signaux sinusoïdaux à l'aide du langage de programmation Python. DM.

Question : En modifiant le programme PYTHON suivant, tracer des courbes sinusoïdales et leur somme tel que :

a. Les deux sinusoïdes sont en phase.
b. Les deux sinusoïdes sont en opposition de phase

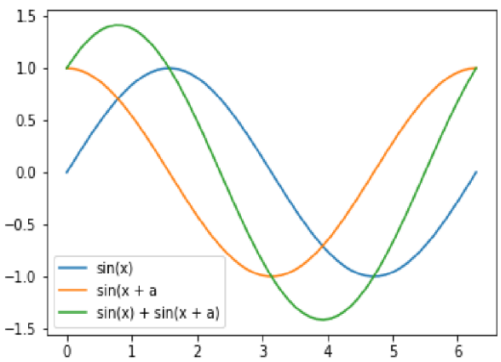
En déduire dans quel cas on obtient des interférences constructives ou des interférences destructives.

Programme PYTHON

```
from pylab import*

x = linspace(0, 2*pi, 60)
y1 = sin(x)
y2 = sin(x + pi/2)
y3 = y1 + y2
plot(x, y1, label = "sin(x)")
plot(x, y2, label = "sin(x + a")
plot(x, y3, label = "sin(x) + sin(x + a)")
legend()

show()
```

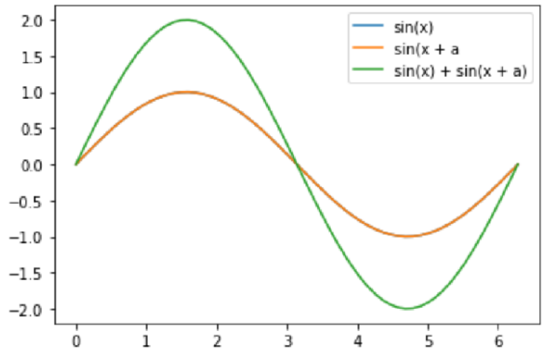


Réponses :

a. Les deux sinusoïdes sont en phase.

Il faut choisir une valeur de a = 0 ou a = 2*pi

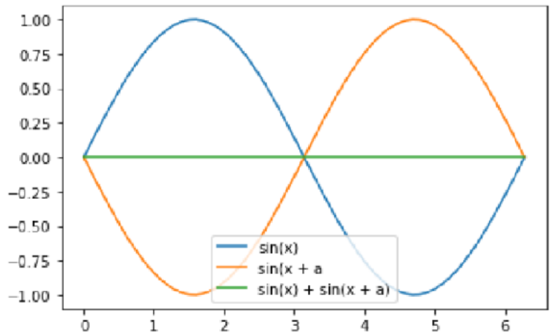
Les deux sinusoïdes étant en phase, elles se confondent
On constate que les amplitudes s'additionnent.
On observera des interférences constructives.



b. Les deux sinusoïdes sont en opposition de phase.

Il faut choisir une valeur de a = pi

On constate que les amplitudes s'annulent
On observera des interférences destructives.



IV. Méthode afin de déterminer le décalage de marche δ en fonction de grandeurs mesurables.

Soit : $\delta = d_2 - d_1$, la différence de marche entre les 2 rayons.
Soit *a* la distance séparant S_1 et S_2, et *D* la distance séparant le plan S_1S_2 du plan P (écran) sur lequel on observe les franges.

Dans le triangle S_1S_2H : $\sin \theta = \frac{S_2H}{S_1S_2} = \frac{\delta}{a}$

Dans le triangle MOP : $\tan \theta = \frac{OP}{OM} = \frac{y}{D}$

L'angle θ est très faible car $D >> a$. Dans ce cas, $\sin \theta \approx \tan \theta$; on en déduit : $\delta = \frac{ay}{D}$

Le décalage de marche géométrique δ a pour ordre de grandeur le mm (10^{-3} m).

V. Méthode afin d'établir une expression de l'interfrange *i*.

L'interfrange *i* est la distance entre deux franges claires ou deux franges sombres.

L'interfrange sera exprimée en fonction de :

- La longueur d'onde λ.
- La distance *a* séparant les deux sources S_1 et S_2.
- La distance *D* séparant une source S des images d'interférences.

1. Etablissement de l'expression de l'interfrange.

On a montré que la différence de marche était égale à $\delta = \frac{ay}{D}$

a. Quelle est la condition sur δ pour que l'on observe une frange claire au point P (point où l'on observe le premier maximum d'amplitude) ?

Il faut que $\delta = \lambda$

b. Ce premier maximum d'amplitude définit la valeur de l'interfrange *i*.
Etablir l'expression de l'interfrange en fonction de λ, *D* et *a*.

Si $\delta = \lambda$ et $y = i$ alors $\delta = \frac{ai}{D}$ donc $\frac{ai}{D} = \lambda$ soit $i = \frac{\lambda \cdot D}{a}$

2. Expérience d'interférences sur une feuille de papier ! (Source : d'après W. Fortin LP Claude Garamont)

Objectif : Montrer que l'expression de l'interfrange est : $i = \frac{\lambda D}{a}$

Matériel :

- Une photocopie de la mire sur une feuille de papier.
- Une photocopie de la mire sur un transparent.
- Matériel de mesure classique (règle, équerre) + scotch pour fixer la feuille sur la table.
- Calculatrice, papier millimétré ou poste informatique avec un tableur-grapheur.

La mire en taille réelle est fournie en feuille annexe (fichier : interférence fiche transparent)
Imprimer sur une feuille et sur un transparent. (superposer les deux en commençant par faire coïncider les sources

Démarche.

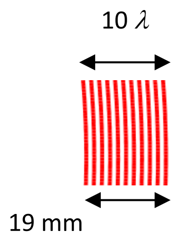
- Rédaction d'un protocole :
  Dans un premier temps : comment déterminer graphiquement la longueur d'onde λ, la distance *D*
  Dans un second temps, présenter un graphique permettant de mettre en évidence la relation $i = \frac{\lambda D}{a}$
- Réalisation du protocole et présentation des résultats expérimentaux (tableau de valeurs-graphique).
- Modélisation.

<u>Correction</u>

Dans un premier temps, on détermine les valeurs des grandeurs ne variant pas.

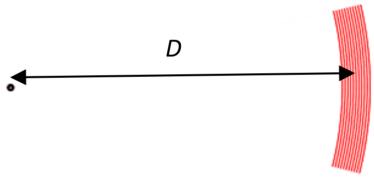
- La longueur d'onde λ.

  Afin d'avoir une plus grande précision, on mesure la longueur d'onde en prenant une distance correspondant à 10λ.



λ = 1,9 mm

- La distance *D*.



D = 238 mm

Dans un deuxième temps, on mesure les interfranges *i* pour différents écartements *a* entre les deux sources S_1 et S_2.

a (mm)	8,0	16	24	32	40	48
i (mm)	59	28	19	14	11	9,5
$i = \frac{\lambda D}{a}$ (mm)	$\frac{1,9 \times 238}{8,0} = 57$	28	19	14	11	9,4

Conclusion :

Interfrange $i = \frac{\lambda D}{a}$

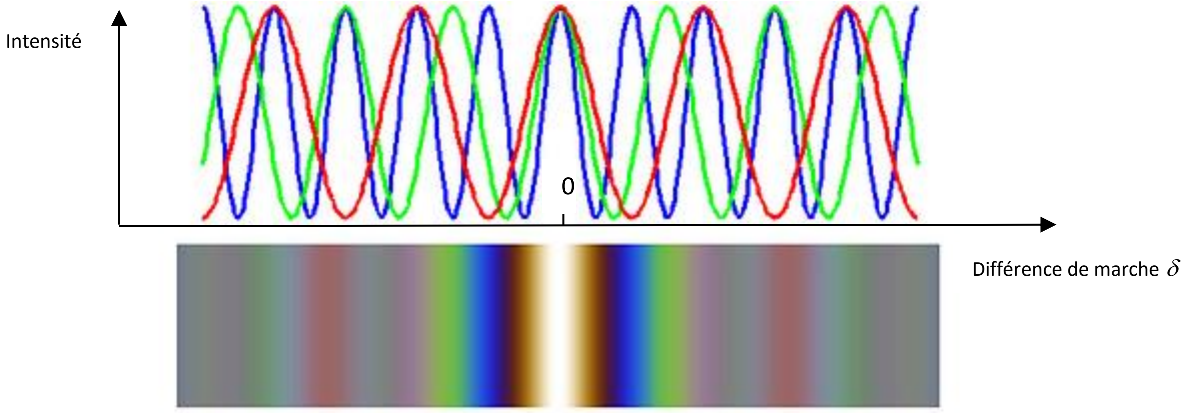
VI. Interférences en lumière blanche. Couleurs interférentielles.

Interférences en lumière blanche : Une superposition de franges colorées.

Expérience ou vidéo : Bulle de savon ; http://www.youtube.com/watch?v=Cp_DaSiYVls&feature=player_embedded

En lumière blanche, on peut considérer que chacune des longueurs d'onde du spectre visible constitue un système de franges qui se superposent.

Question : Justifier l'apparition des couleurs blanche, bleu et verte obtenues par interférences en lumière blanche.



optique-ingenieur.org

Blanc

Au voisinage immédiat de $\delta = 0$, l'intensité est maximale pour toutes les fréquences.
La couleur qui en résulte est donc blanche.

Noir Noir

Les trois intensités sont proches de leur minimum. L'intensité totale est faible.
La couleur qui en résulte est donc noire.

Bleu Bleu

Quand δ augmente, il y a toujours une radiation pour laquelle l'intensité est proche de son maximum (Bleu) et d'autres (Rouge et verte) pour lesquelles leurs intensités sont proches de 0.
Dans ce cas précis, la couleur qui en résulte est bleue.

Avec une source de lumière blanche, les franges d'interférences ne sont visibles qu'au voisinage immédiat de la différence de marche δ nulle.

Au delà, il y a plusieurs radiations éteintes et plusieurs radiations à leur maximum d'intensité.
L'œil ne peut plus alors discerner de couleurs et la lumière est perçue comme « blanche ».
Les couleurs palissent