

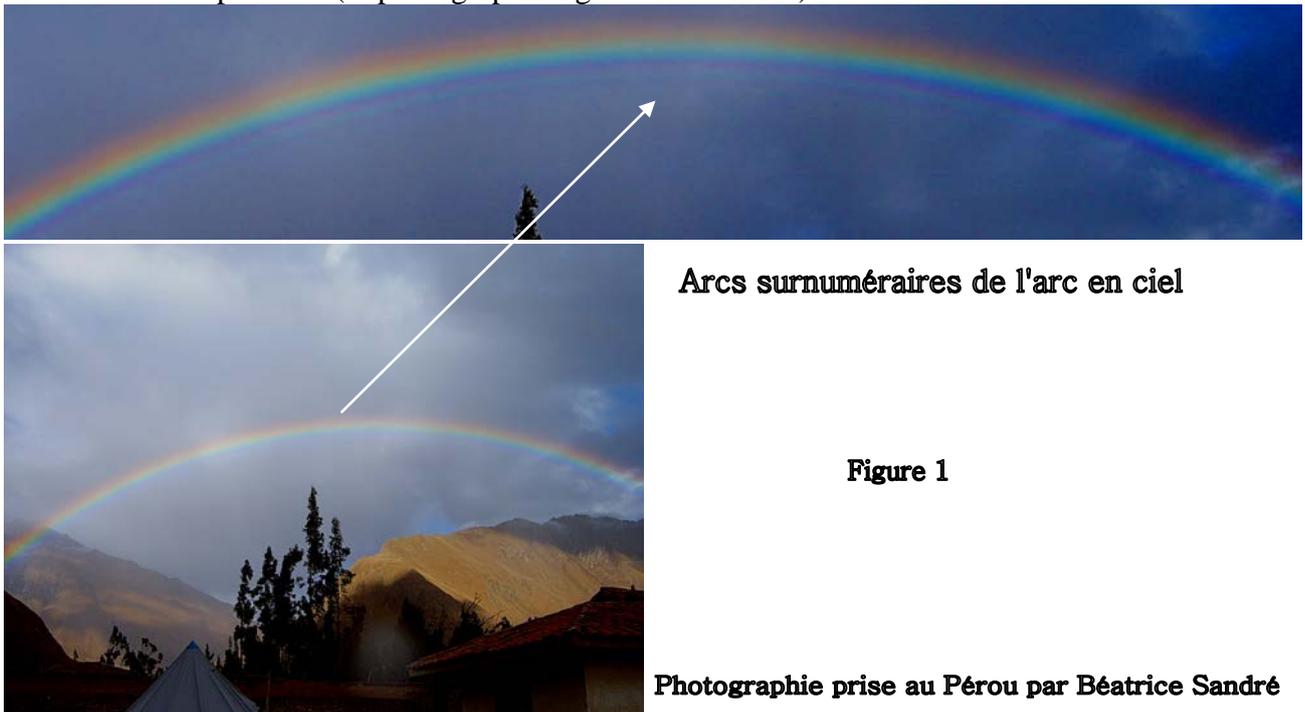
# Optique ondulatoire

## Interférence des ondes lumineuses, diffraction

### 1. Observations

**Le phénomène d'interférences est caractérisé par la superposition de deux ou plusieurs ondes cohérentes de même fréquence.** Il se rencontre dans de très nombreux domaines : ondes sonores, ondes radio, ondes à la surface de l'eau, ondes lumineuses.

En optique, c'est lui qui est responsable des couleurs observées sur les films de savon, de l'iridescence des ailes de papillons, et des arcs surnuméraires de l'arc en ciel observés juste en dessous de l'arc primaire (cf photographie figure 1 ci-dessous)<sup>1</sup>



### Approche expérimentale

Historiquement, le phénomène d'interférences lumineuses a été découvert par le savant anglais Thomas Young (1773-1829) en 1801. Pendant ses études de médecine, il avait beaucoup étudié les ondes sonores, soutenant même une thèse sur la voix humaine à l'université de Göttingen. Il partit donc d'analogies avec les propriétés des ondes sonores et des ondes à la surface de l'eau pour étendre son « principe d'interférences » aux ondes lumineuses. Nous allons suivre son approche pour aborder la compréhension de ce phénomène.

### Exemple 1 : interférences d'ondes à la surface de l'eau

**Observations :** dans une cuve à ondes, un dispositif électromécanique permet à deux bras vibreurs de frapper simultanément la surface de l'eau, générant ainsi deux ondes circulaires de même fréquence réglable  $f$ . Ces deux ondes sont visualisables ci-dessous, figure 2.a.

<sup>1</sup> Pour l'explication des arcs surnuméraires et leur reproduction en laboratoire avec un laser et une goutte d'eau, lire l'article de Jearl Walker « le mystère des arcs en ciel et des arcs surnuméraires, si peu observés », revue Pour la Science

Dans la zone située entre les deux sources, et appelée **champ d'interférences**, les ondes circulaires progressives se superposent pour donner des lignes ou franges fixes dans le temps, **alternativement claires et sombres**.

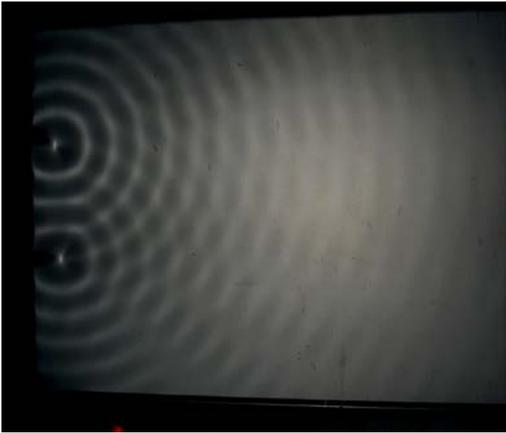


Figure 2.a

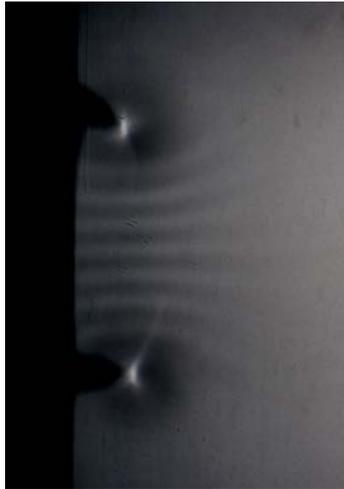


Figure 2.b



Figure 2.c

Ceci est particulièrement bien visible sur la figure 2.b ci-dessus au centre où la fréquence réglable  $f$  a été augmentée. Pratiquement **rectilignes et parallèles entre les deux sources  $S_1$  et  $S_2$** , les franges s'incurvent lorsqu'elles s'en éloignent. On peut également observer des franges par superposition d'une onde circulaire progressive incidente sur un obstacle et de l'onde réfléchi correspondante (figure 2.c ci-dessus à droite pour un obstacle rectiligne). On remarquera les franges quasi-rectilignes en haut et à gauche de l'obstacle, et l'onde progressive réfléchi en bas à gauche de l'obstacle.

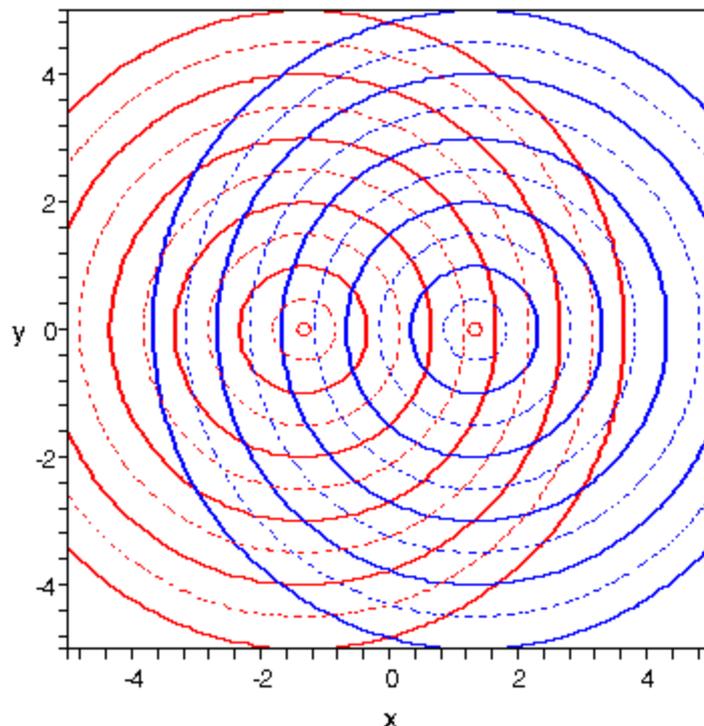
### Interprétation de la figure d'interférences

Sur la figure 3 ci-contre sont représentées les lignes de crêtes et de creux des ondes circulaires générées par les deux sources  $S_1$  et  $S_2$ , et ce, à un instant où les deux mouvements en  $S_1$  et  $S_2$  présentent simultanément une amplitude maximale. La longueur d'onde commune  $\lambda$  des ondes est de 1 cm.

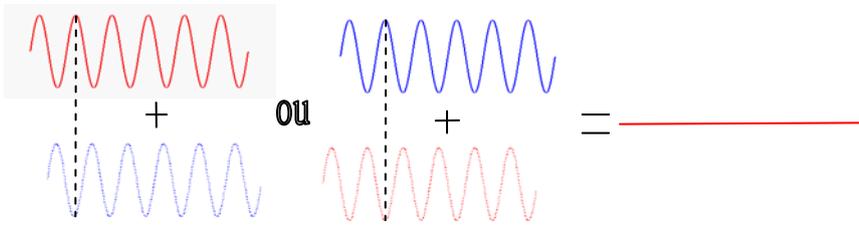
Les cercles en trait plein, de centre  $S_1$  et  $S_2$  et de rayons  $\lambda, 2\lambda, 3\lambda \dots$  représentent les lignes de crêtes.

Les cercles en trait pointillé, de centre  $S_1$  et  $S_2$  et de rayons  $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \dots$

représentent les lignes de creux, décalées des précédentes d'une demi-longueur d'onde.



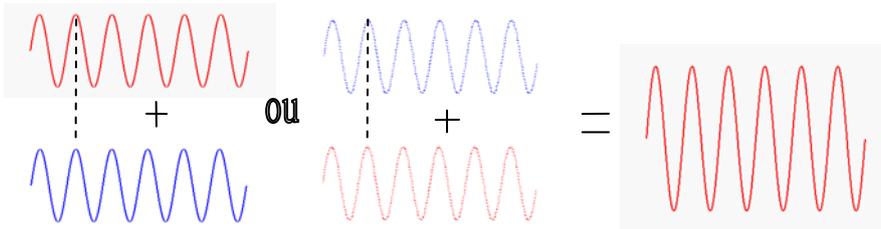
Pour interpréter l'existence de franges, on applique en chaque point du champ d'interférence à la surface de l'eau le **principe d'interférence** : Les points situés à l'intersection d'une crête et d'un creux (Repassez ces points en feutre vert) sont le siège d'interférences destructives et sont au repos.



### Interférences destructives

En les reliant, on forme les franges sombres d'amplitude de mouvement nulle : l'eau est calme en ces endroits. **l'interférence de deux ondes mécaniques peut créer du repos!** De même en acoustique, **l'interférence de deux ondes sonores peut créer du silence** à certains endroits du champ d'interférence.

Les points situés à l'intersection de deux lignes de crête (Repassez ces points en feutre rouge) ou de deux lignes de creux (Repassez ces points en feutre bleu) sont le siège d'interférences constructives et vibrent avec une amplitude maximale.



### Interférences constructives

En les reliant tous entre eux, on forme les franges claires d'amplitude de mouvement maximale.

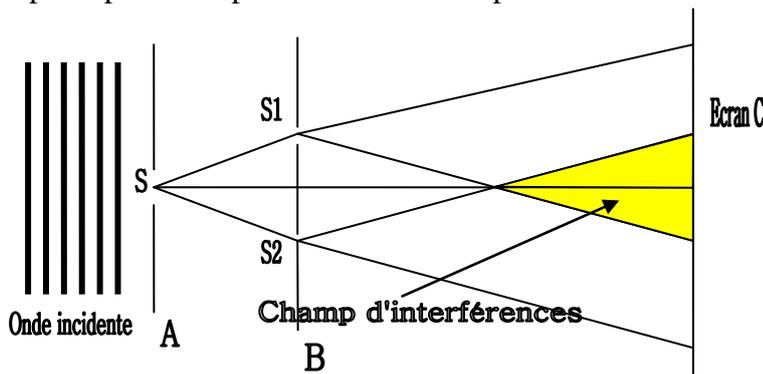
On remarquera que les points qui correspondent à la superposition de deux crêtes et ceux qui correspondent à la superposition de deux creux vibrent à chaque instant en opposition de phase les uns par rapport aux autres. Mais, comme leur amplitude de vibration est identique et que l'œil opère une moyenne dans le temps de l'éclairement reçu, ils apparaissent finalement avec le même éclairement.

Le principe de superposition ou d'interférences nous permet donc de retrouver l'allure des franges expérimentales.

### Exemple 2 : expérience historique des trous et fentes d'Young

Il ne s'agit pas de la première expérience d'interférences lumineuses réalisée par Thomas Young, mais incontestablement de son expérience la plus probante. Elle est décrite dans un recueil de conférences données à la Royal Institution et publié en 1807. Elle établit de façon indiscutable la nature ondulatoire de la lumière sur des bases expérimentales.

Le principe de l'expérience est très simple et décrit schématiquement ci-dessous figure 4.



Pour réaliser son expérience des **trous d'Young**, Young fit passer la lumière du soleil par un petit trou S, situé sur un écran A. Le faisceau lumineux s'élargissait ensuite par phénomène de diffraction et éclairait ainsi deux petits trous  $S_1$  et  $S_2$  sur l'écran B. Une nouvelle diffraction se produisait, générant deux ondes sphériques issues de  $S_1$  et  $S_2$ , qui se superposaient sur un écran C.

## 2. Diffraction.

Le faisceau lumineux d'un laser est dirigé vers un écran. On dispose un fil vertical ou une fente sur le trajet du faisceau. L'obstacle et l'écran sont séparés d'une distance que l'on notera  $D$ .

Schéma de l'expérience :

Qu'observe t'on à l'écran ?

on note  $i$  la distance sur l'écran entre 2 extinction lumineuse,  $b$  est la taille de la fente ou du fil servant d'obstacle.

1. En déduire, parmi les formules proposées, celle correspondant à l'expression de l'interfrange.

a/  $i = \lambda \times b \times D$       b/  $i = \lambda \times \frac{D}{b}$       c/  $i = \lambda \times \frac{b}{D}$       d/  $i = \frac{\lambda}{D \times b}$

2. Choisir une valeur de  $D$  et ne plus la modifier.

***Proposer et réaliser un protocole expérimental permettant, à partir de la formule du 1 de vérifier expérimentalement la valeur de  $\lambda$ . On terminera par un calcul d'erreur.***

### **Comment évaluer l'incertitude sur la longueur d'onde ?**

On note  $U(b)$  l'incertitude sur  $b$ ,  $U(D)$  celle sur  $D$  et  $U(i)$  celle de  $i$

La loi des incertitudes composées relie les incertitudes entre elles, elle s'écrit dans ce cas :

$$\text{Incertitude relative sur la longueur d'onde du laser} = \sqrt{\left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{U(b)}{b}\right)^2}$$

- Evaluation de l'incertitude absolue sur  $D$  Elle résulte de deux lectures effectuées à l'aide d'une règle.

L'incertitude due aux lectures est reliée à la plus petite graduation  $q$  de la règle : on suppose qu'elle s'évalue par l'expression :  $\sqrt{\frac{2}{3}}q$ .

- Evaluation de l'incertitude absolue sur  $i$  on procède comme pour la mesure de  $D$  mais en prenant le plus grand nombre possible d'interfranges

- Evaluation de l'incertitude absolue sur  $b$  donnée par le constructeur  $U(b) = \dots\dots\dots$