

Aspects ondulatoires en optique

Manon LECONTE - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 7 juillet 2020

Merci à Estelle Meyer, Max Roose, Karine Braganti, Joachim Galiana et Lauriane Demeure pour leur précieuse aide.

Mots-clé : diffraction, interférences, différence de marche, couleurs interférentielles.

Niveau : TS

Pré-requis :

- Optique géométrique [1^{re} S]
- Caractéristiques des ondes (longueur d'onde, front d'onde) [TS]
- Sources lumineuses mono- et polychromatiques [2^{de}]
- Synthèse additive des couleurs [1S]
- Incertitudes [TS]

Bibliographie :

- *Physique-Chimie TS - Enseignement spécifique*, Hachette éducation
- *Physique-Chimie TS - Enseignement spécifique*, Micromega
- Taillet, *Dictionnaire de physique*

Plan proposé

I - Phénomène de diffraction	3
A/ Conditions d'observation	3
B/ Diffraction par une fente éclairée par une lumière monochromatique . . .	3
C/ Figure de diffraction en lumière blanche	4
II - Phénomène d'interférences	4
A/ Conditions d'interférences	4
B/ Expérience des fentes d'Young	5
C/ Irisation des bulles de savon	6

Liste de matériel

Diffraction par une fente éclairée par une lumière monochromatique

- laser ;
- fente de largeur variable ;
- écran ;
- réglet.

Expérience des fentes d'Young

- laser ;
- fentes d'Young d'espacement variable ;
- écran ;
- réglet.

Introduction pédagogique

Ce cours se trouve dans la séquence "Caractéristiques et propriétés des ondes" et est situé juste après un cours sur les caractéristiques des ondes. Le cours suivant - et qui clôt la séquence - est celui sur l'effet Doppler.

Propriétés des ondes Diffraction. Influence relative de la taille de l'ouverture ou de l'obstacle et de la longueur d'onde sur le phénomène de diffraction.	Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle. Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda/a$. Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction. <i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.</i>
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche.	Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques. <i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses.</i>
Interférences. Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche. Couleurs interférentielles.	Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler. Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.
Effet Doppler.	

On fait le choix de présenter d'abord la diffraction puis les interférences, car pour l'expérience des fentes d'Young, la figure d'interférences s'inscrit dans la figure de diffraction.

Difficultés :

- Visualiser les phénomènes de diffraction et d'interférences de la lumière alors qu'on ne peut obtenir que des figures sur un écran → on utilise l'analogie avec les vagues ;
- Faire la différence entre diffraction et interférences.

Exemples de TD : étude de la diffraction et des interférences sur un CD, un DVD et un Blue ray, ...

Exemples de TP : mesurer l'épaisseur d'un objet fin à l'aide d'une expérience de diffraction, déterminer la longueur d'onde d'un laser.

Introduction

En se promenant sur une plage, on peut être amené à observer ce phénomène :

I Vidéo – Phénomène de diffraction dans une baie.

Les fronts d'onde des vagues sont perturbés : avant les murs, ils étaient tous parallèles ; après, ils forment des arcs de cercles.

⇒ La lumière peut-elle aussi être soumise à ce type de phénomènes ?

I Objectifs – Comprendre les phénomènes de diffraction et d'interférences.

I - Phénomène de diffraction

A/ Conditions d'observation

Définition – Diffraction : modification de la propagation sans changement de fréquence ni de longueur d'onde d'une onde au passage d'un obstacle.

Ce phénomène est observé si la taille caractéristique de l'obstacle a est **légèrement supérieure** à la longueur d'onde λ de l'onde : $a > \lambda$.

Application numérique – Pour des vagues, $\lambda \simeq 1$ m. On peut donc observer de la diffraction si l'ouverture de la baie a une largeur de quelques mètres. Pour la lumière, $\lambda \simeq 10^{-7}$ - 10^{-6} m. Elle n'intervient donc que si l'obstacle est de très petite taille (de l'ordre du μm).

B/ Diffraction par une fente éclairée par une lumière monochromatique

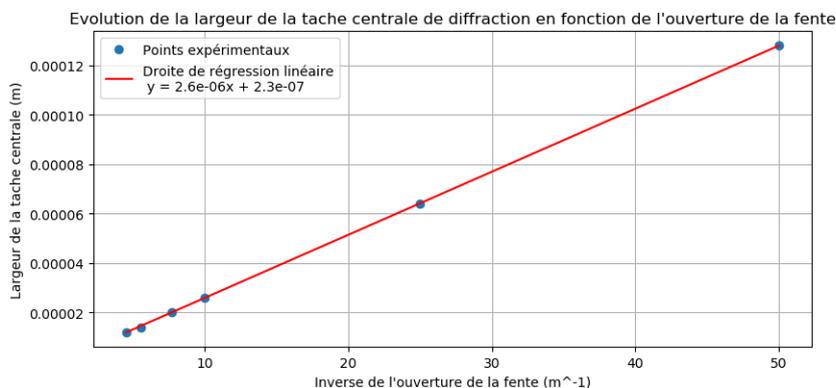
Animation – Diffraction par une fente (**Source** : Labosims).

On remarque que la figure de diffraction est orthogonale à l'orientation de la fente.

On peut faire varier certains paramètres et observer une variation de la figure de diffraction :

— En faisant varier la largeur de la fente a , on observe que la largeur de la tache L diminue. Plus précisément, la largeur de la tache est inversement proportionnelle à la largeur de la fente :

Script Python – Evolution de la largeur de la tache centrale de diffraction en fonction de l'ouverture de la fente.



— On observe également que si la longueur d'onde du laser λ augmente, la largeur de la tache augmente.

La relation mathématique caractérisant le phénomène de diffraction est :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad (1)$$

où θ est l'**angle de diffraction** ou la **demi-ouverture angulaire** de la tache centrale.

Si θ est petit, on peut faire l'approximation $\theta \simeq \tan \theta$ et retrouver le lien avec la largeur de la tache centrale :

$$\frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a} \quad (2)$$

où D est la distance entre la fente et l'écran.

C/ Figure de diffraction en lumière blanche

La lumière blanche est une lumière polychromatique. Puisque la relation 1 dépend de la longueur d'onde, on devine que chaque composante colorée de la lumière sera diffractée différemment. On va ainsi observer une décomposition de la lumière.

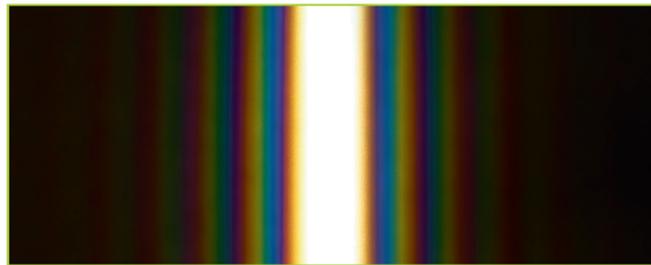


Figure 1 – Diffraction par une fente éclairée en lumière blanche (**Source** : Hachette (p. 67)).

II - Phénomène d'interférences

A/ Conditions d'interférences

Définition – Interférence : phénomène par lequel la superposition de plusieurs ondes produit localement une intensité différente de la somme des intensités individuelles.

Ce phénomène n'est pas spécifique aux ondes lumineuses. On peut aussi l'observer dans une cuve à ondes par exemple.

Conditions d'interférences Pour interférer, deux ondes incidentes doivent posséder la même fréquence et donc la même longueur d'onde. Les deux ondes parcourent des trajets différents, ce qui fait qu'elles sont **déphasées**. Il faut de plus qu'elles soient issues de la même source primaire afin qu'elles soient **cohérentes**. Les ondes sont ensuite déphasées par passage par des sources secondaires.

Définition – Différence de marche : différence entre les distances parcourues par les deux ondes.

On distingue alors deux situations :

- **interférences constructives** : au point considéré, les ondes sont en **phase** et la différence de marche est un multiple entier de la longueur d'onde : $\delta = k\lambda$;
- **interférences destructives** : au point considéré, les ondes sont en **opposition de phase** et la différence de marche est un multiple demi-entier de la longueur d'onde : $\delta = (k + \frac{1}{2}) \lambda$.

B/ Expérience des fentes d'Young

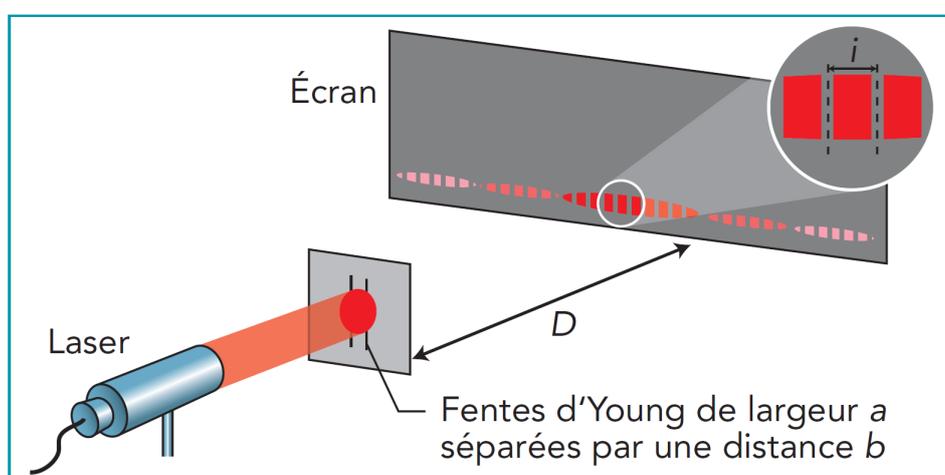


Figure 2 – Dispositif expérimental des fentes d'Young (**Source** : Hachette (p. 64)).

Dans l'expérience des fentes d'Young, les deux fentes jouent le rôle de sources secondaires.

Puisqu'on utilise des fentes de fine ouverture, on va à la fois observer de la diffraction et des interférences. Alors, la figure d'interférences s'inscrit dans la figure de diffraction (plus large).

On remarque que la figure d'interférences est constituée de franges lumineuses régulièrement espacées. En ces points, il y a interférence constructive. Au niveau des franges sombres également régulièrement espacées de la même distance, il y a interférence destructive.

Définition – Interfrange : distance entre deux franges lumineuses (ou deux franges sombres) adjacentes.

Expérimentalement, on pourra observer que l'interfrange vérifie la relation :

$$i = \frac{\lambda D}{b} \quad (3)$$

C/ Irisation des bulles de savon

Là encore, le phénomène d'interférences dépend de la longueur d'onde de la source lumineuse. Si on utilise de la lumière blanche, chaque radiation a sa propre figure d'interférences. La superposition de ces figures donne une figure avec des couleurs caractéristiques appelées **couleurs interférentielles**.

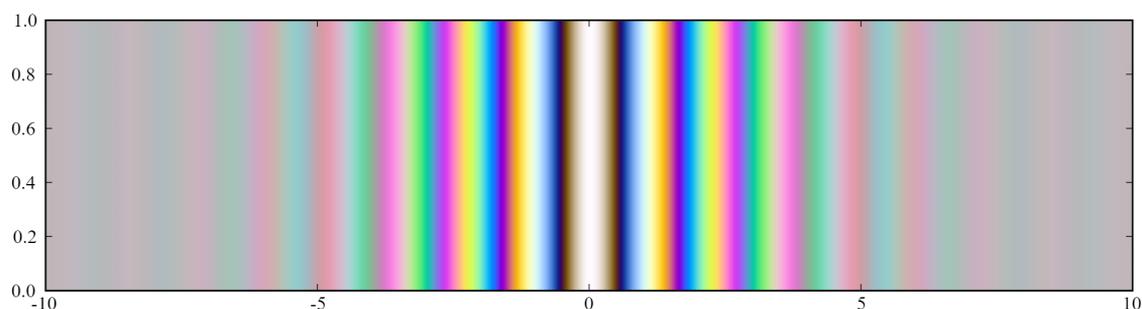


Figure 3 – Figure d'interférences obtenue pour une source de lumière blanche (**Source** : F. Legrand).

On peut observer ce phénomène au quotidien, sur les bulles de savon notamment, ce qui explique leur **irisation**. Il y a alors interférences entre les rayons lumineux réfléchis sur la bulle et ceux qui ont pénétré le film.

Conclusion

Le phénomène de diffraction intervient lorsqu'une onde est perturbée par un obstacle de taille légèrement supérieure à sa longueur d'onde. Il intervient pour les ondes lumineuses mais également pour les vagues dans une baie.

Le phénomène d'interférences intervient lorsque deux ondes de même longueur d'onde se superposent mais que l'intensité produite est différente de la somme de leurs intensités. Pour les ondes lumineuses, il se superpose souvent au phénomène de diffraction. Il permet en outre d'expliquer l'irisation des bulles de savon.

Il existe un dernier phénomène caractéristique des ondes qui intervient si la source des ondes ou le récepteur est en mouvement. Il est l'objet du cours "Effet Doppler".