

# LP3 : Aspects ondulatoires en optique

Leçon présentée par Mélanie

**Element imposés** Réseau de diffraction-manip exposant le role du pas de reseau

**Niveau :** Terminale SPCL (support optiques et capacité de stockage et des ondes pour mesurer)

**Prérequis :**

- Optique géométrique (2nde)
- Ondes mécaniques progressives et ondes périodiques (1ere)
- Modèle ondulatoire de la lumière (1ere)
- Retard entre deux ondes (1ere)
- Périodicité temporelle et spatiale (Terminale)
- Superposition de deux ondes (Term)

**Difficultés :**

- Notions assez abstraites : échelles de grandeurs microscopique
- Confusion diffraction et interférences
- Chemin optique : peut être difficile à appréhender

**séquence pédagogique** Dans le cadre de l'étude des ondes, on a vu les ondes acoustiques et l'effet Doppler au cours précédent. Ici, on essaie de décrire le comportement ondulatoire de la lumière. Dans la suite de la séquence, optique géométrique pour observer des objets lointains et gros.

TP : Tracer le diagramme de directivité d'un transducteur ultrasonore.

Mesurer la taille d'un objet (cheveu) en utilisant le phénomène de diffraction.

TP : Exercices/activités sur des applications (couleur ailes papillon et iridescence de la bulle de savon ici)

**Problématique :** Comment mettre à profit le comportement ondulatoire de la lumière pour effectuer des mesures ?

Objectif : reconnaître et caractériser un phénomène d'interférence, de diffraction.

**Bibliographie**

- acad montpellier : animation [ici](#)
- Lumière et luminescence

## Contents

<b>1</b>	<b>Diffraction</b>	<b>2</b>
1.1	Définition et conditions d'observations . . . . .	2
1.2	Mise en évidence dans le cas de la lumière . . . . .	3
1.3	Limites dues à la diffraction . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Interférences de deux ondes</b>	<b>3</b>
2.1	Interprétation . . . . .	3
2.2	Condition d'interférences . . . . .	4

<b>3 Interférences d'ondes multiples</b>	<b>4</b>
3.1 Le réseau plan . . . . .	4
3.2 Effet d'un réseau sur un faisceau monochromatique . . . . .	4
3.3 Application à la mesure du pas d'un réseau. . . . .	5
3.4 Effet d'un réseau sur un faisceau polychromatique . . . . .	5

## Introduction

source : lumière et luminescence p22

En 1665, Grimaldi illumine un petit objet par une source lumineuse ponctuelle et observe que l'image résultante n'est pas nette, comme on l'attendrait si la lumière se propageait rectilignement. On observe des couleurs autour de l'image. Grimaldi met alors en évidence le phénomène de de diffraction.

*Manip introductive*

Ces couleurs sont les mêmes que celles à la surface d'une bulle de savon et traduisent alors le comportement ondulatoire de la lumière.

Ce genre de couleurs peuvent également être observées sur un CD. Comment sont-elles créées ?

Dans ce cours, nous allons nous intéresser aux conséquences du comportement ondulatoire de la lumière et à comment nous pouvons l'utiliser pour effectuer des mesures.

## 1 Diffraction

Le premier élément est alors la diffraction par un petit objet comme ce que grimaldi a observé.

### 1.1 Définition et conditions d'observations

**Diffraction** : modification de la direction de propagation d'une onde progressive périodique lorsque celle-ci rencontre un obstacle ou une ouverture.

C'est ce que l'on observe sur le *diapo houle qui passe entre deux digues*, animation. On passe alors d'ondes planes à des ondes sphériques. On le caractérise par un écart angulaire noté  $\theta$  et appelé angle caractéristique de diffraction.

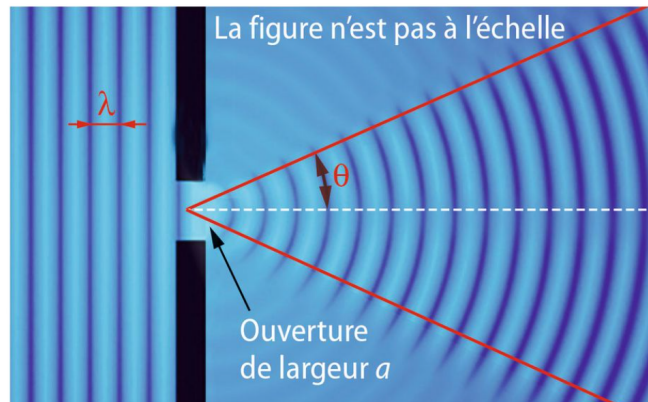


Figure 1: Définition du phénomène de diffraction (source : belin)

**Observations :**

- Cette modification se fait dans un plan perpendiculaire à l'axe principal de l'obstacle ou de l'ouverture.
- Le phénomène de diffraction ne modifie ni la longueur d'onde ni la fréquence de l'onde.
- Cette diffraction n'a pas lieu à chaque obstacle. Si on prend cette houle mais avec une ouverture grande par rapport à l'écart entre deux vagues, on ne voit une modification de la direction de propagation qu'aux bords de l'obstacle.

On en déduit alors que le phénomène de diffraction, s'observe lorsque les dimensions de l'ouverture sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde et est d'autant plus marquée que la taille de l'obstacle ou de l'ouverture est faible.

Dans le cas d'une onde progressive périodique, on peut également établir une relation entre  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$  :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

## 1.2 Mise en évidence dans le cas de la lumière

Pour observer la diffraction dans le domaine de la lumière, on prend donc un objet suffisamment petit. Je prends alors une fente de 100 nm.

*exp : Pour observer le cône de diffraction, taper les broches du tableau sur le chemin optique.*

Le cône de diffraction est difficile à quantifier, je prends alors un écran et je le met loin de mon objet pour avoir une grande image. (conditions de Fraunhofer).

On y voit plusieurs tâches (figure 2)

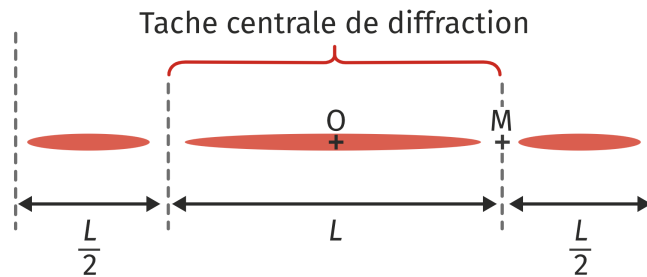


Figure 2: Allure des tâches sur l'écran dans le cas de la diffraction de Fraunhofer (source : LLS)

Dans le cas d'une grande distance entre l'objet et l'écran ( $D \gg a$ ), on peut relier la taille de la tâche centrale de diffraction à l'angle  $\theta$  et à la distance entre l'objet et l'écran  $D$  par :

$$\theta = \frac{L}{2D}$$

C'est ce que l'on fera en TP. On voit alors que l'on peut relier la taille de la tâche centrale de diffraction à l'obstacle. C'est ce qui nous permettra de mesurer la taille d'une fente, d'un trou ou d'un petit objet.

## 1.3 Limites dues à la diffraction

Pouvoir de résolution des appareils optiques, choix de la longueur d'onde de lecture du CD (Hachette).

On s'intéressera à ces limites dans le chapitre suivant.

Que se passe-t-il si l'on a deux fentes éclairées ?

## 2 Interférences de deux ondes

**interférences** : phénomène qui intervient lorsque deux ondes périodiques synchrones se superposent. Ces deux ondes peuvent être mécaniques ou électromagnétiques.

Dans la zone où les deux ondes interfèrent, on obtient une alternance de zones où l'onde est amplifiée et de zones où elle est atténuée.

### 2.1 Interprétation

*Animation avec les vagues ici.* S1 et S2 sont deux sources de même fréquence (synchrones) qui frappent la surface de l'eau. On a un flotteur rouge dont on enregistre le mouvement. Selon sa position, le flotteur n'a pas le même mouvement. On voit des zones où il ne bouge pas et des zones où l'amplitude de son mouvement est plus grande que celle d'une source.

Lorsque deux ondes de même nature se croisent (deux ondes mécaniques par exemple), leurs élongations s'additionnent ; elles **interfèrent**. On a alors en tout point M du flotteur

$$s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$$

On remarque que les interférences sont expliquées par le retard d'une des deux ondes par rapport à l'autre.

Pour certaines positions de la surface de l'eau, les deux ondes provenant des sources S1 et S2 sont **en phase**. Ces deux ondes se renforcent, le flotteur oscille donc de manière maximale.

Les interférences sont **constructives**.

Pour d'autres positions de la surface de l'eau, les deux ondes provenant des sources S1 et S2 sont en **opposition de phase**.

Les deux ondes s'annulent, le flotteur est donc immobile.

Les interférences sont **destructives**.

Dans le montage optique, on utilise deux fentes de largeur  $a$  séparées d'une distance  $b$  et on visualise la figure sur l'écran à une distance  $D$ .

On observe alors des **franges brillantes** et des franges sombres, il s'agit d'une **figure d'interférences**. On la caractérise par l'écart  $i$  entre deux franges brillantes ou deux franges sombres : l'**interfrange**.

Chaque fente correspond à une source lumineuse et leurs intensités s'additionnent dans l'espace. Les interférences destructives correspondent à une frange sombre et constructives à des franges brillantes.

On a alors expliqué la figure d'interférences par une approche ondulatoire de la lumière.

**Remarque** : C'est grâce à des interférences destructives que les casques à réduction de bruit fonctionnent.

Mais si je prends de la lumière quelconque, je ne crée pas de pénombre, de même on voit rarement des occasions où le son est totalement nul à un point d'une salle. Quelles sont conditions d'interférences ?

## 2.2 Condition d'interférences

Deux ondes peuvent interférer si elles ont la **même fréquence** (synchrones) et qu'elles ont un **déphasage constant** l'une par rapport à l'autre. On dit alors qu'elles sont **cohérentes**.

Deux ondes cohérentes sont en pratique créées par une unique source comme

- deux vibreurs d'une cuve à onde alimentés par le même générateur ;
- deux haut-parleurs alimentés par un même GBF ;
- deux fentes éclairées par un seul laser.

Le caractère constructif ou destructif de la superposition de deux ondes en un point P dépend du **retard**  $\tau$  d'une onde par rapport à l'autre.

Ce qui nous permet de définir les **conditions d'interférence** :

- Constructive : les ondes sont en phase  $\tau = kT, k \in (\mathbb{Z})$
- Destructive : les ondes sont en opposition de phase  $\tau = (k + 1/2)T, k \in (\mathbb{Z})$

## 3 Interférences d'ondes multiples

### 3.1 Le réseau plan

Un réseau plan est un dispositif optique obtenu en gravant sur une surface des traits identiques, parallèles, équidistants et très serrés. On appelle **pas du réseau** la distance qui sépare deux traits voisins d'un réseau plan. On la note généralement  $a$ .

Les réseaux plans sont également caractérisés par le nombre  $n$  de traits par unité de longueur. On a donc :

$$n = 1/a$$

### 3.2 Effet d'un réseau sur un faisceau monochromatique

L'action d'un réseau sur un faisceau de lumière incident est double et résulte de la combinaison des phénomènes de diffraction et d'interférences :

- chaque trait du réseau diffracte la lumière et se comporte donc une source de lumière secondaire en émettant des ondes lumineuses dans toutes les directions de l'espace

- toutes les ondes lumineuses se superposent et **interfèrent** entre elles (on parle d'interférences à ondes multiples ou à  $n$  ondes).

L'interférence entre toutes les ondes est constructive lorsque le retard est un multiple entier de la période :

$$\tau = kT$$

Comme il existe plusieurs valeurs de  $k$  satisfaisant cette condition, il existe plusieurs directions  $\theta_k$  dans lesquelles l'interférence est constructive : sur un écran, on observe donc plusieurs figures d'interférences, correspondant aux valeurs  $k=1, k=2, \dots$

On va pouvoir mettre cette figure d'interférences à profit pour mesurer le pas d'un réseau.

### 3.3 Application à la mesure du pas d'un réseau.

On va ici s'intéresser au CD car on va l'étudier plus tard dans l'année.

Le CD est composé d'une spirale enroulée vers l'extérieur sur laquelle on a des creux et des plats qui permettent de coder l'information. On s'intéressera dans un prochain chapitre à la lecture de ces signaux.

En mesurant la distance entre deux sillons, on peut en déduire la capacité de stockage d'un CD.

Le CD se comporte comme un réseau en réflexion.

Si on a une incidence nulle sur le CD, la formule des réseaux nous donne :

$$\sin \theta = \frac{k\lambda}{a}$$

avec  $\theta$  l'angle entre le rayon incident et l'ordre  $k$ .

Par un peu de trigonométrie, on trouve

$$\sin \theta = \frac{x}{D}$$

avec  $x$  la distance entre les ordres 0 et 1.

On a donc

$$d = \frac{ax}{\lambda}$$

On peut alors en déduire la capacité de stockage d'un CD en prenant un pixel comme étant d'aire  $a^2$

Le CD a pour aire  $A = \pi(R_e x^2 - R_i n^2)$

Donc le nombre de pixels est  $N = A/a^2$ .

### 3.4 Effet d'un réseau sur un faisceau polychromatique

Le retard donnant une interférence constructive dépend de la période, donc de la longueur d'onde  $\lambda$ . Si le faisceau incident est une lumière polychromatique, les différentes ondes vont interférer de manière constructive à des endroits différents en fonction de leurs longueurs d'onde.

Le réseau permet donc d'obtenir plusieurs spectres de la lumière qui le traverse : chaque ordre  $k$  donne un spectre.

On observe alors un phénomène de **dispersion** de la lumière polychromatique.

C'est ce qui nous permet d'expliquer les couleurs observées sur le CD.

C'est ce que l'on va pouvoir mettre à profit dans un **spectromètre à réseau**.

## Conclusion

On a alors mis en oeuvre et caractérisé les phénomènes de diffraction et interférences visibles au quotidien. On essaiera alors d'expliquer les couleurs de la bulle de savon en TD.

Les aspects ondulatoires peuvent-être mis en application pour faire des mesures mais ils correspondent aussi à des limites en optique. Pendant la séance suivante, on parlera d'appareil optiques et de leurs limites de pouvoir de résolution dûe à la diffraction.

## Question

- Difficile : notions abstraites. Couleur des ailes de papillon, plus concret ? Casque antibruit.
- Condition d'interférence, pourquoi hypothèses comment expliquer à un élève ? Monochromatique : on veut la moyenne des signaux donc avec trop de longueur d'ondes on a moyenne nulle et les figures d'interférences se superposent.
- Fentes d'young, figure ressemble à une figure de diffraction et on a les interférences dedans ? Enveloppe de la figure de diff et à l'intérieur interférences?
- Caractériser le phénomène d'interférence ?

## Retours

- Ne pas oublier la polarisation.
- Bulle = Fabry-Pérot