

PARTIE 1 - OBSERVER : ONDES ET MATIÈRE

Chapitre 3 : Propriétés des ondes (p. 61)

Compétences exigibles :

- ✓ 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.
- ✓ *Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.**
- ✓ Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques.
- ✓ *Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses.**
- ✓ *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.

(*) *Savoir-faire expérimentaux.*

I- Qu'est-ce que la diffraction ? (p. 67)

ED : À la découverte de la diffraction et des interférences ?

App, Ana, Val, Réa

TP n°4 : Diffraction de la lumière et mesure de longueur

Réa, Ana, Val, Com, Aut

1. Observation avec des ondes lumineuses (p. 67)

Lorsqu'une onde rencontre un obstacle de petite dimension, sa **direction de propagation est modifiée** : c'est le phénomène de **diffraction**. L'onde diffractée présente alors des **maxima** et des **minima** d'amplitude. La diffraction ne modifie **ni la fréquence, ni la longueur d'onde, ni la vitesse de l'onde**.

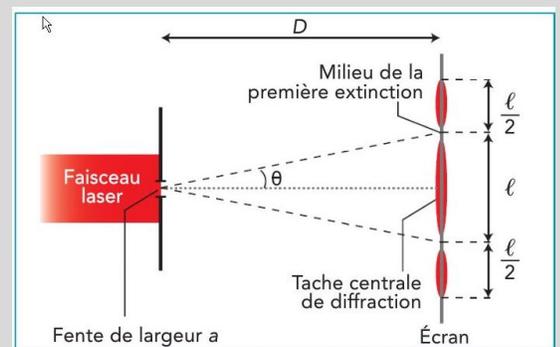
Le **phénomène de diffraction** dépend de la **longueur d'onde λ** de l'onde incidente et de la **dimension a** de l'obstacle. Il est d'autant plus marqué que a est voisin ou inférieur à λ .

La diffraction d'une onde est caractérisée par le demi-angle délimitant les premiers minima d'amplitude. On le nomme **écart angulaire** et on le note θ . Il s'exprime en **radian (rad)**.

L'**écart angulaire** vérifie la relation :

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

avec θ l'écart angulaire en rad,
 λ la longueur d'onde de l'onde incidente en m,
 a la dimension de l'obstacle en m.



Remarque :

→ Le phénomène de diffraction est caractéristique des **ondes**.

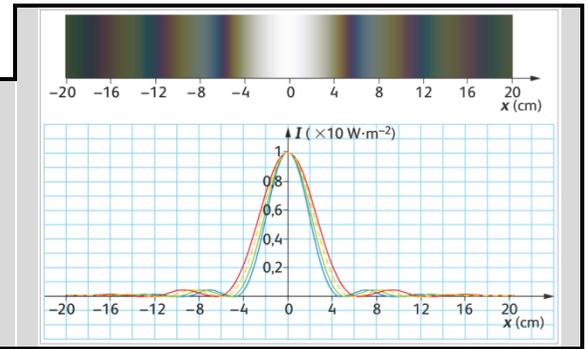
→ Si l'écart angulaire θ est faible, c'est-à-dire que la distance D séparant la fente de l'écran est très grande par

rapport à la largeur ℓ de la tache centrale, on peut écrire $\theta \approx \tan \theta = \frac{\ell/2}{D} = \frac{\ell}{2D}$

2. Diffraction de la lumière blanche (p. 67) Animation

Lorsque l'on remplace la lumière du LASER par une lumière blanche, on observe la figure de diffraction ci-contre.

En lumière polychromatique, chaque radiation de longueur d'onde λ donne sa propre figure de diffraction. La superposition de ces figures conduit à l'observation de zones colorées.



3. La diffraction dans la vie courante (p. 67)

Pour les ondes électromagnétiques :

→ Les longueurs d'onde des ondes lumineuses étant très petites (μm ou nm), la diffraction n'est à prendre en compte que dans les systèmes optiques de très petite dimension.

Exemple :

Sur le CD et DVD fonctionnant avec un laser classique rouge ($\lambda = 650 \text{ nm}$), les informations sont stockées sur des pistes gravées avec un intervalle $a = 0,74 \mu\text{m}$ entre chaque piste.

Quel peut être l'intérêt d'utiliser un laser bleu (Blu-Ray, BD...) ?

Pour les ondes mécaniques :

→ Les dimensions d'entrée des ports peuvent conditionner la diffraction des ondes et les variations de niveau d'eau dans le port.

→ Les ondes sonores audibles (20 à 20 000 Hz) ont des longueurs d'ondes comprises entre 17 mm et 17 m. La diffraction des ondes sonores est donc un phénomène omniprésent du fait des dimensions des ouvertures (portes...). Cela explique qu'il soit très difficile de se protéger du bruit.

Exercices n°(1) p. 73, n°6, 7, (8) p. 76, n°(15) p. 77, n°18, 20 p. 78 et n°33 p. 83

II- Que sont les interférences ? (p. 68)

TP n°5 : Les interférences lumineuses et leur application

App, Réa, Val, Ana

ED : Les casques antibruit actifs

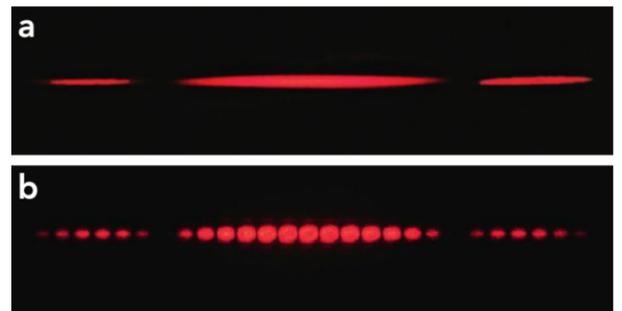
App, Ana

1. Observation des interférences en lumière monochromatique (p. 68)

Si l'on éclaire une fente en lumière monochromatique, on observe une figure de diffraction (**doc a**).

Si l'on éclaire 2 fentes (fentes d'Young) en lumière monochromatique, on observe alors une figure de diffraction striée d'une alternance de bandes noires et lumineuses appelées **franges d'interférences** (**doc b**).

Chaque fente se comporte comme une source lumineuse ponctuelle et c'est la superposition des ondes qui crée ce phénomène.



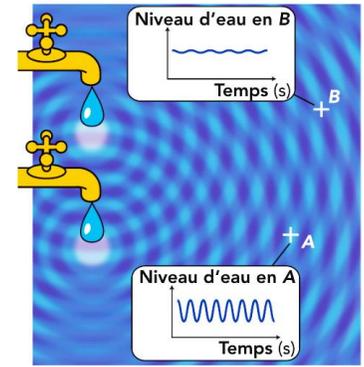
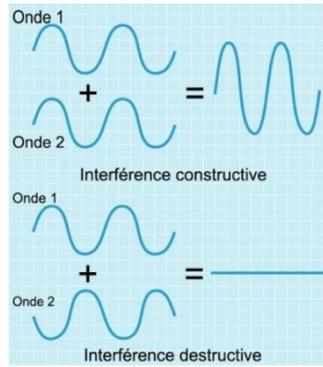
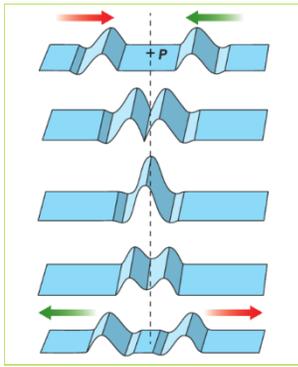
Lorsque **deux ondes** monochromatiques de même nature **se superposent**, l'amplitude de l'onde résultante varie dans l'espace : c'est le phénomène d'**interférences**.

2. Interprétation avec des ondes à la surface de l'eau (p. 68) Animation

Lorsque deux ondes monochromatiques de même longueur d'onde se superposent, leurs elongations s'ajoutent, les interférences qui en résultent sont dites :

→ **constructives** si elles sont en phase (l'onde résultante est amplifiée) ;

→ **destructives** si elles sont en opposition de phase (elles s'annulent).



3. Nécessité de sources cohérentes (p. 69)

Il existe un **déphasage** entre deux ondes lorsqu'elles sont décalées dans le temps. Pour observer une figure d'interférences stable, il faut des ondes de **mêmes fréquences** (c'est-à-dire **synchrones**) et présentant un **déphasage constant** dans le temps. Ce sont alors des **ondes cohérentes** et les sources qui les émettent sont appelées **sources cohérentes**.

Remarque :

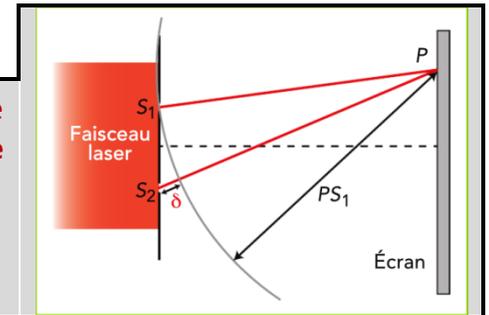
→ Pour obtenir deux sources cohérentes avec de la lumière, il faut éclairer deux sources secondaires avec de la lumière venant d'une source unique.

4. Différence de marche (p. 69) Animation

La différence entre les distances parcourues par deux ondes issues de sources synchrones qui interfèrent en un point P, est appelée **différence de marche**, notée δ .

Il y a **interférences constructives** quand $\delta = k \times \lambda$ avec k entier relatif.

Il y a **interférences destructives** quand $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ avec k entier relatif.



5. Interfrange (p. 69)

On appelle **interfrange** la distance i séparant deux franges brillantes ou deux franges sombres de la figure d'interférence.

Dans le cas des fentes d'Young éclairées par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ , l'interfrange s'exprime par :

$$i = \frac{\lambda \times D}{b}$$

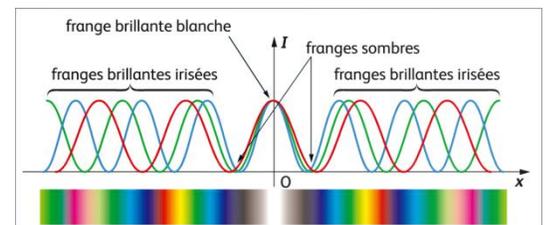
avec : D : la distance séparant les fentes de l'écran (en mètre),
b : la distance séparant les deux fentes (en mètre).



6. Interférence en lumière blanche et couleurs interférentielles (p. 70) Animation

→ Des taches d'huile, des CD ou DVD, des ailes d'insectes ou des bulles de savon éclairées en lumière blanche font apparaître des irisations.

→ On peut en effet considérer de tels objets comme des couches minces, les ondes lumineuses réfléchies sur la paroi interne et sur la paroi externe de la couche mince possèdent une différence de marche pouvant engendrer une figure d'interférence dont la superposition engendre des zones colorées : les **couleurs interférentielles**.



La figure d'interférence dépendant de la **longueur d'onde** de la lumière, on observe l'apparition de **couleurs interférentielles** en lumière polychromatique.

Exercices n°(2) p. 73, n°(9), (10), 11 p.76, n°16, (17) p. 77, n°(19) p.78, n°23, 24 p.80 et n°30 p. 82

III- Qu'est-ce que l'effet Doppler ? (p. 70)

ED : Effet Doppler (Activité 4 page 65)

App, Ana

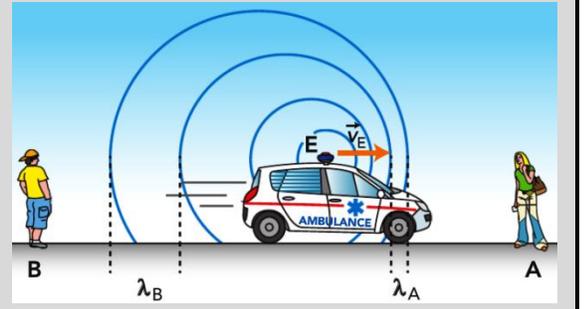
TP n°6 : Mesure de la valeur d'une vitesse par effet Doppler

App, Aut, Ana, Réa, Val

1. Définition (p. 70) Vidéo - Animation – Lien1 - Lien2

L'**effet Doppler** est la variation de fréquence (et donc de période et de longueur d'onde) d'une onde mesurée entre l'émission et la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps :

- La fréquence perçue est **plus grande** lorsque source et récepteur **se rapprochent**,
- La fréquence perçue est **plus petite** lorsque source et récepteur **s'éloignent**.



2. Vitesse relative d'un émetteur par rapport au récepteur (p. 70)

La **variation de fréquence** entre l'onde émise et l'onde reçue dépend de la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur.

L'effet Doppler permet donc, entre autres, de **mesurer une vitesse**.

Remarque :

→ Soit une onde de **fréquence** f_e (en Hz) et de **célérité** c (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) émise par un émetteur en mouvement à la vitesse **constante** v (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) du récepteur. La **fréquence** f_r (en Hz) de l'onde reçue par le récepteur fixe est telle que :

- $f_r = f_e \cdot c / (c - v)$ si l'émetteur s'approche du récepteur ($f_r > f_e$),
- $f_r = f_e \cdot c / (c + v)$ si l'émetteur s'éloigne du récepteur ($f_r < f_e$).

→ Dans le cas de faibles vitesses ($v \ll c$) l'expression de la fréquence f_r reçue se simplifie :

- $f_r = f_e (1 + v/c)$ si l'émetteur s'approche du récepteur,
- $f_r = f_e (1 - v/c)$ si l'émetteur s'éloigne du récepteur.

→ La différence $f_r - f_e$, notée δf , est le **décalage Doppler** et dans le cas de faibles vitesses on a $\delta f = f_e \frac{v}{c}$

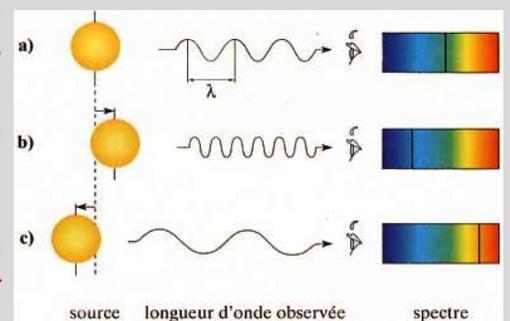
Applications :

- Radar routier : mesure de la valeur de la vitesse des véhicules (ondes électromagnétiques),
- Écho Doppler : mesure de la valeur de la vitesse d'écoulement du sang (ondes ultrasonores).

3. L'effet Doppler-Fizeau en astronomie (p. 71)

La mesure du **décalage des raies** d'absorption d'un élément chimique sur le spectre d'une étoile permet de déterminer si celle-ci s'éloigne ou se rapproche de la Terre, ainsi que sa **vitesse de déplacement**.

- si l'étoile s'approche de la Terre (cas b), $f_r > f_e$ donc $\lambda_r < \lambda_e$: la longueur d'onde observée est plus courte que la longueur d'onde réelle (décalage vers le bleu : blueshift),
- si l'étoile s'éloigne de la Terre (cas c), $f_r < f_e$ donc $\lambda_r > \lambda_e$: la longueur d'onde observée est plus grande que la longueur d'onde réelle (décalage vers le rouge : redshift).



Exercices n°(3) p. 73, n°12, (13), 14 p. 76, n°21, 22 p. 79, n°25 p. 80, n°26, (27), 28 p. 81, n°29 p. 82 et n°31, 32 p. 83