P2 — Diffraction et interférences

Thème 4 · Ondes et signaux

Table des matières

1 Pourquoi ce chapitre ? 1

2 Ce que tu vas apprendre 2

3 1. La diffraction 2

3.1 a. Définition et conditions d'observation 2
3.2 b. Angle caractéristique 2
3.3 c. Applications concrètes 3

4 2. Les interférences 3

4.1 a. Conditions d'observation 3
4.2 b. Interférences constructives et destructives 3

5 3. Fentes d'Young : calculer l'interfrange 4

5.1 a. Calcul de l'interfrange 4
5.2 b. Retrouver λ à partir de i 5

6 Carte mentale du chapitre 6

7 À retenir absolument 6

8 Quiz — Teste-toi ! 7

9 Pour aller plus loin 7

1 Pourquoi ce chapitre ?

Pourquoi la lumière d'un laser traversant une fente très fine **s'étale** au lieu de former un point bien net ? Pourquoi voit-on des reflets arc-en-ciel sur un CD, ou des franges colorées dans une bulle de savon ? Pourquoi les ingénieurs ne peuvent-ils pas fabriquer des microscopes capables de voir un atome avec de la lumière visible ?

Toutes ces questions ont la même réponse : **la lumière est une onde**, et comme toute onde elle **se diffracte** et **interfère**. Ce chapitre formalise ces deux phénomènes et t'apprend à calculer l'angle de diffraction et l'interfrange — deux grandeurs qui tombent presque chaque année au bac.

2 Ce que tu vas apprendre

- Quand et comment se produit la **diffraction** (fente rectangulaire, ouverture circulaire)
- Calculer l'**angle caractéristique** $\theta = \lambda/a$
- Les conditions pour observer des **interférences** (cohérence, sources en phase)
- Reconnaître les **interférences constructives et destructives**
- Calculer l'**interfrange** $i = \lambda D/b$ dans l'expérience des fentes d'Young

---

3 1. La diffraction

3.1 a. Définition et conditions d'observation

La **diffraction**, c'est le changement de direction de propagation d'une onde quand elle rencontre un obstacle ou passe par une ouverture. Elle s'observe quand les dimensions de l'ouverture sont **comparables à la longueur d'onde**.

> Analogie — Les vagues qui passent entre deux rochers
>
> Imagine des vagues rectilignes qui arrivent sur une plage et rencontrent deux gros rochers avec un passage étroit entre les deux. Si le passage est **large**, les vagues passent tout droit sans se déformer. Si le passage est **de la taille d'une vague** (ou plus petit), les vagues qui sortent de l'autre côté redeviennent **circulaires**, comme si une nouvelle source était apparue au niveau du passage. C'est ça, la diffraction.

3.2 b. Angle caractéristique

L'importance de la diffraction est mesurée par l'**angle caractéristique** θ : plus θ est grand, plus la diffraction est marquée.

*Un faisceau laser diffracté par une fente de largeur a. L'angle θ entre la direction centrale et la première extinction est l'**angle caractéristique** de diffraction.*

> Formule — Angle de diffraction
>
> **Fente rectangulaire de largeur a :**
>
> $$\sin\theta = \frac{\lambda}{a} \qquad \xrightarrow{\text{si } \theta \text{ petit}} \qquad \theta \approx \frac{\lambda}{a}$$
>
> **Ouverture circulaire de diamètre d** (limite de résolution des instruments d'optique) :
>
> $$\theta \approx 1{,}22\,\frac{\lambda}{d}$$
>
> - θ : angle caractéristique (rad)
> - λ : longueur d'onde (m)
> - a ou d : largeur/diamètre de l'ouverture (m)

Piège — L'approximation $\sin\theta \approx \theta$

Cette approximation n'est valable que si θ est **petit** (typiquement $\theta < 10°$, soit $\lambda \ll a$). Avec un laser visible ($\lambda \approx 600$ nm) et une fente de 100 µm, on a $\theta \approx 6 \times 10^{-3}$ rad : pas de souci. Mais pour une fente ultra-fine de quelques µm, θ peut dépasser 10° et il faut garder le sinus.

Exemple — Laser rouge et fente de 0,1 mm

Laser He-Ne, $\lambda = 633$ nm, fente de largeur $a = 0{,}10$ mm, écran placé à $D = 2{,}0$ m.

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{633 \times 10^{-9}}{10^{-4}} = 6{,}33 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

Demi-largeur de la tache centrale sur l'écran : $\ell = D\tan\theta \approx D\theta = 2{,}0 \times 6{,}33 \times 10^{-3} \approx 1{,}3$ cm. On observe donc une tache centrale de 2,6 cm de large.

3.3 c. Applications concrètes

- **Microscopie** : la diffraction limite le pouvoir de résolution d'un microscope optique à environ $\lambda/2 \approx 250$ nm.
- **Astronomie** : plus le télescope a un grand diamètre D, plus l'angle de diffraction $\theta \approx 1{,}22\lambda/D$ est petit, donc mieux on distingue les détails (cf. chapitre P8).
- **Lecture optique** : CD, DVD, Blu-ray utilisent des longueurs d'onde de plus en plus courtes (infrarouge → rouge → bleu) pour graver des pistes plus fines.

---

4 2. Les interférences

4.1 a. Conditions d'observation

Pour observer des interférences stables, il faut deux ondes :

1. **De même fréquence** (même longueur d'onde)
2. **En phase** (ou avec un déphasage constant)

En pratique, on obtient deux telles sources en **dédoublant** une source unique (fentes d'Young, miroir de Lloyd, biprisme de Fresnel). C'est ce qu'on appelle la **cohérence** : deux lampes à incandescence séparées ne donnent **jamais** d'interférences, car leurs phases fluctuent aléatoirement.

Analogie — Deux plongeurs au même rythme

Imagine deux enfants qui sautent dans une piscine à intervalles réguliers. S'ils sautent **exactement en même temps**, leurs vagues se combinent pour en faire de plus grandes à certains endroits (constructif) et s'annulent à d'autres (destructif). S'ils sautent chacun à leur propre rythme aléatoire, les vagues se mélangent sans motif clair : pas d'interférences visibles.

4.2 b. Interférences constructives et destructives

En un point M arrivent deux ondes qui ont parcouru des distances $d_1 = S_1M$ et $d_2 = S_2M$. La **différence de marche** vaut $\delta = d_2 - d_1$.

Conditions d'interférences

Constructives (les ondes arrivent en phase, l'amplitude est doublée) :

$$\delta = k\,\lambda \qquad k \in \mathbb{Z}$$

Destructives (les ondes arrivent en opposition de phase, elles s'annulent) :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad k \in \mathbb{Z}$$

Piège — $k = 0$ existe

Le cas $k = 0$ (différence de marche nulle) est **constructif** : les deux ondes ont parcouru exactement la même distance, elles arrivent forcément en phase. C'est la **frange centrale brillante** dans l'expérience des fentes d'Young, exactement au milieu de l'écran.

---

5 3. Fentes d'Young : calculer l'interfrange

L'expérience historique (Thomas Young, 1801) : on éclaire **deux fentes fines** (distantes de b) avec un laser et on observe sur un écran placé à distance D. Résultat : une succession de **franges brillantes et sombres** alternées, équidistantes.

*Fentes d'Young : deux fentes S_1 et S_2 séparées de b, écran à distance D. Les franges sont espacées de l'**interfrange** i.*

5.1 a. Calcul de l'interfrange

L'**interfrange** i est la distance entre deux franges brillantes (ou sombres) consécutives. On peut montrer que (voir le calcul dans le cours officiel) :

$$\boxed{i = \frac{\lambda\,D}{b}}$$

- i : interfrange (m)
- λ : longueur d'onde de la lumière utilisée (m)
- D : distance fentes–écran (m)
- b : écart entre les deux fentes (m)

Astuce mnémotechnique

« i c'est lambda-D sur b » — à retenir. Et pour vérifier les unités : i est en mètres, λ en mètres, D en mètres, b en mètres. $\mathrm{m} = \mathrm{m} \cdot \mathrm{m}/\mathrm{m} = \mathrm{m}$.

Piège — Ne pas confondre b et a

- a : largeur d'**une seule** fente → sert pour la **diffraction** ($\theta = \lambda/a$)
- b : distance **entre les deux** fentes d'Young → sert pour l'**interfrange** ($i = \lambda D/b$)

En général $a \ll b$: les fentes sont très étroites et pas trop rapprochées.

Exemple — Calcul d'un interfrange

Laser vert $\lambda = 532$ nm, $b = 0{,}20$ mm, $D = 1{,}5$ m.

$$i = \frac{\lambda D}{b} = \frac{532 \times 10^{-9} \times 1{,}5}{2{,}0 \times 10^{-4}} = 4{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m} = 4{,}0\ \text{mm}$$

Les franges sont espacées de 4 mm — parfaitement visibles à l'œil nu sur l'écran.

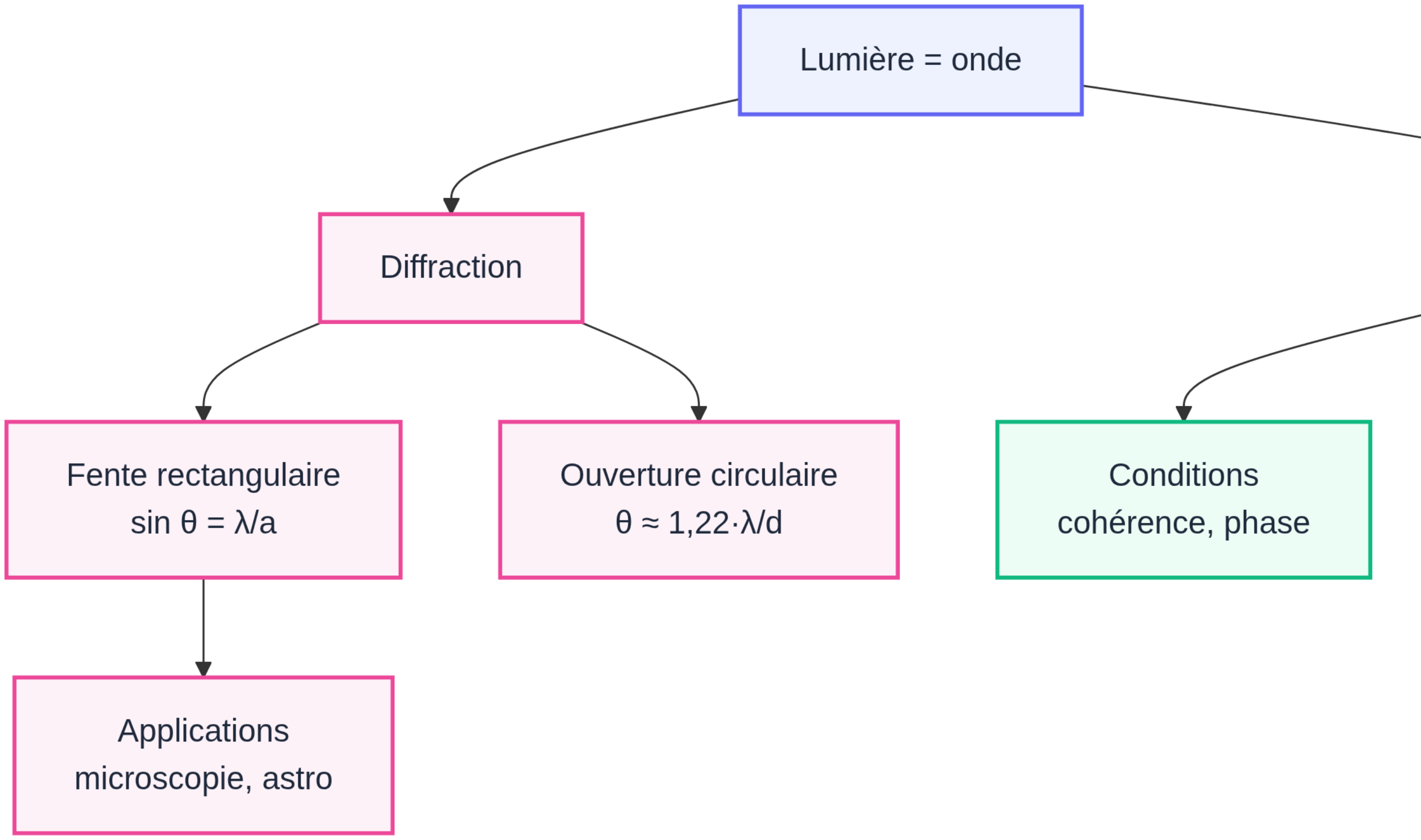
5.2 b. Retrouver λ à partir de i

En pratique, on utilise souvent la formule **à l'envers** : on mesure i sur l'écran, on connaît b et D, et on en déduit λ. C'est une méthode classique pour déterminer la longueur d'onde d'un laser inconnu.

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

---

6 Carte mentale du chapitre



---

7 À retenir absolument

1. **Diffraction** : écart à la propagation rectiligne quand l'ouverture est comparable à λ.
2. **Fente** : $\theta = \lambda/a$ (si θ petit). **Ouverture circulaire** : $\theta \approx 1{,}22\lambda/d$.
3. **Interférences** nécessitent des sources **cohérentes** (même λ, phase constante).
4. **Constructif** : $\delta = k\lambda$. **Destructif** : $\delta = (k + 1/2)\lambda$.
5. **Interfrange des fentes d'Young** : $i = \lambda D/b$.
6. Ne pas confondre a (largeur d'une fente, diffraction) et b (écart entre fentes, interfrange).

---

8 Quiz — Teste-toi !

---

9 Pour aller plus loin

- Cours officiel (PDF)
- Chapitres liés : P1 — Effet Doppler · P8 — Lunettes astronomiques