

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · ONDES ET SIGNAUX · CHAPITRE 20



R. RINGUET · 2026 – 2027

Approfondissement

Diffraction et interférences

Démonstrations, validité des approximations, incertitudes, lames minces, diffraction et interférences superposées : pour aller plus loin

6 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce que cette feuille ajoute au cours

- Établir *entièrement* $L = 2\lambda D/a$ et $\delta = bx/D$, et discuter le domaine de validité des approximations utilisées.
- Aller plus loin : optimisation d'un protocole et incertitudes composées, couleurs des lames minces, spectre cannelé en lumière blanche.

Les passages signalés « *hors programme* » ne sont pas exigibles au baccalauréat : toutes les relations nécessaires y sont fournies.

Exercice 1 Établir $L = 2\lambda D/a$, et jusqu'où la relation tient

●●●

A. La démonstration. Une fente de largeur a est éclairée sous incidence normale par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ ; un écran plan, parallèle à la fente, est placé à la distance D . On admet que la tache centrale est limitée par les deux directions faisant l'angle $\theta = \lambda/a$ avec la direction du faisceau incident.

- Faire un schéma soigné et exprimer, sans aucune approximation, la largeur L de la tache centrale en fonction de λ , a et D .
- En quoi l'expression obtenue diffère-t-elle de la relation $L = 2\lambda D/a$ du cours ? Quelle approximation permet de passer de l'une à l'autre ?

B. Le domaine de validité. On note $\varepsilon = \frac{\tan \theta - \theta}{\theta}$ l'écart relatif commis en remplaçant $\tan \theta$ par θ .

- Calculer ε pour $\theta = 0,50$ rad, $\theta = 0,20$ rad et $\theta = 0,10$ rad. Dans chaque cas, exprimer la largeur de fente correspondante en multiples de λ .
- Le programme ci-dessous calcule ε (en pourcentage) pour une fente de largeur $a = n\lambda$. Compléter la ligne 4, puis indiquer les valeurs affichées pour $n = 2$ et $n = 10$.

```
1 from math import tan
2 for n in [2, 5, 10, 20, 50]:
3     theta = 1 / n                # theta = lambda / a avec a = n * lambda
4     ecart = ...                  # ligne 4 à compléter : ecart relatif, en %
5     print(n, round(theta, 3), round(ecart, 2))
```

- En admettant qu'un écart de 1 % est acceptable, déterminer la valeur minimale du rapport a/λ pour laquelle la relation du cours est utilisable. Conclure sur les expériences de diffraction d'un laser ($\lambda \approx 0,6 \mu\text{m}$) par une fente de $100 \mu\text{m}$, puis sur la diffraction d'un son de $1,0$ m de longueur d'onde par une porte de $0,80$ m.

Exercice 2 Établir la différence de marche des fentes d'Young

●●●

Deux fentes fines S_1 et S_2 , distantes de b , sont éclairées par la même source monochromatique de longueur d'onde λ . L'écran, parallèle au plan des fentes, est à la distance D . Un point M de l'écran est repéré par son abscisse x comptée à partir du point O situé sur la médiatrice de $[S_1S_2]$, la fente S_1 étant du côté des abscisses positives. On prendra $b = 0,500$ mm, $D = 2,000$ m et $\lambda = 633$ nm.

■ **DONNÉES** $\delta = k\lambda$ (constructives), $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ (destructives)

- Exprimer S_1M et S_2M en fonction de D , x et b .

- 2.2** (Hors programme — pour aller plus loin.) On donne l'approximation $\sqrt{1+u} \approx 1 + \frac{u}{2}$, valable pour u très petit devant 1. En factorisant D dans chacune des deux racines, montrer que

$$S_1M \approx D + \frac{(x - b/2)^2}{2D} \quad \text{et} \quad S_2M \approx D + \frac{(x + b/2)^2}{2D},$$

puis en déduire que $\delta = \frac{bx}{D}$.

- 2.3** Vérifier numériquement la qualité de l'approximation pour $x = 2,00 \text{ cm}$: calculer δ avec la relation approchée, puis avec les deux racines carrées exactes, et donner l'écart relatif entre les deux résultats.
- 2.4** Retrouver l'expression de l'interfrange $i = \lambda D/b$ et la calculer. Combien de franges brillantes observe-t-on sur une zone de $3,0 \text{ cm}$ de large centrée en O ?
- 2.5** L'écran est maintenant incliné de telle sorte que sa distance aux fentes vaut toujours $D = 2,000 \text{ m}$ en O, mais augmente d'un côté de O et diminue de l'autre. Sans calcul, indiquer si l'interfrange reste constant sur l'écran. Justifier.

Exercice 3 Pourquoi mesure-t-on dix interfranges ?



On mesure la longueur d'onde d'un laser avec des fentes d'Young : $b = 0,200 \text{ mm}$ et $D = 2,000 \text{ m}$, d'incertitudes-types $u(b) = 0,004 \text{ mm}$ et $u(D) = 0,005 \text{ m}$. À la règle, on relève la distance Δ entre le centre de la première frange brillante et celui de la $(N + 1)^{\text{e}}$, avec une incertitude-type $u(\Delta) = 0,5 \text{ mm}$ indépendante de N . L'interfrange vaut alors $i = \Delta/N$. On admet :

$$\frac{u(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{u(\Delta)}{\Delta}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

■ **DONNÉES** $i = \lambda D/b$

- 3.1** Exprimer λ en fonction de Δ , N , b et D . Pour $N = 10$, on mesure $\Delta = 63,3 \text{ mm}$: calculer λ en nanomètres.
- 3.2** Calculer les trois termes relatifs et $u(\lambda)$ pour $N = 10$, puis écrire le résultat de la mesure.
- 3.3** Reprendre la question précédente pour $N = 1$ (on mesurerait alors $\Delta = 6,33 \text{ mm}$). Comparer les deux incertitudes et conclure sur l'intérêt de mesurer plusieurs interfranges.
- 3.4** Pour $N = 10$, quel terme domine désormais ? En déduire qu'augmenter encore N n'apporterait presque rien, et proposer ce qu'il faudrait améliorer en priorité.
- 3.5** On souhaite obtenir $u(\lambda)/\lambda < 1,0 \%$. Montrer que c'est impossible avec ce jeu de fentes, quelle que soit la valeur de N .

Exercice 4 Les couleurs d'une bulle de savon



(Hors programme — pour aller plus loin.) Une bulle de savon est une pellicule d'eau savonneuse d'épaisseur e et d'indice de réfraction $n = 1,33$. Éclairée en lumière blanche sous incidence quasi normale, elle renvoie deux ondes : l'une réfléchiée par la face avant, l'autre par la face arrière (figure 1). On admet que leur différence de marche vaut $\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$, le terme $\lambda/2$ traduisant le comportement particulier de la réflexion sur la face avant.

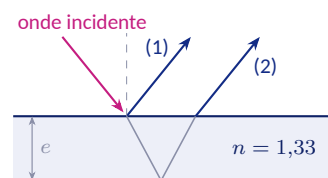


Figure 1 — Les deux ondes réfléchies (angle exagéré)

■ **DONNÉES** $\delta = k\lambda$ (constructives), $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ (destructives) • domaine visible : $400 \text{ nm} - 800 \text{ nm}$

- 4.1** Écrire la condition pour que la radiation de longueur d'onde λ soit renvoyée avec une intensité maximale, puis montrer que $e = \left(k - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2n}$, avec k entier strictement positif.
- 4.2** Calculer les deux plus petites épaisseurs qui renvoient intensément le vert ($\lambda = 550 \text{ nm}$).

- 4.3** Pour $e = 310 \text{ nm}$, quelles radiations du domaine visible sont renvoyées avec une intensité maximale ? Lesquelles sont éteintes ? De quelle couleur la bulle apparaît-elle ?
- 4.4** Juste avant d'éclater, le sommet d'une bulle s'amincit énormément et paraît noir. Justifier à l'aide de l'expression de δ lorsque e tend vers zéro.
- 4.5** Citer deux autres situations courantes où l'on observe des couleurs dues à des interférences en lumière blanche, en précisant ce qui joue le rôle de la pellicule.

Exercice 5 Un spectre cannelé



(Hors programme — pour aller plus loin.) On éclaire un dispositif de fentes d'Young avec une lampe à lumière blanche. En un point M de l'écran, la différence de marche vaut $\delta = 2,50 \mu\text{m}$, la même pour toutes les radiations. On analyse la lumière reçue en M avec un spectroscopie : certaines longueurs d'onde ont disparu du spectre, qui apparaît « cannelé » (figure 2).

■ **DONNÉES** $\delta = k\lambda$ (constructives), $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ (destructives) • domaine visible : 400 nm–800 nm

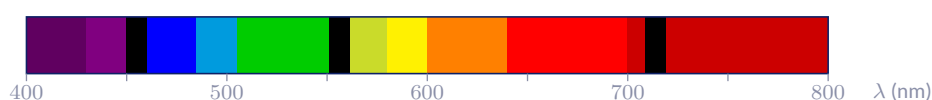


Figure 2 — Le spectre cannelé observé en M

- 5.1** Écrire la condition d'extinction d'une radiation de longueur d'onde λ en M, puis exprimer λ en fonction de δ et de l'entier k .
- 5.2** En donnant à k les valeurs successives 0, 1, 2, ..., déterminer toutes les longueurs d'onde éteintes appartenant au domaine visible. Combien de cannelures observe-t-on ?
- 5.3** Déterminer de même les longueurs d'onde renforcées (interférences constructives) dans le domaine visible.
- 5.4** En un point M' plus éloigné du centre, $\delta = 4,50 \mu\text{m}$. Sans tout recalculer, le nombre de cannelures augmente-t-il ? Que devient, à l'œil nu, la lumière reçue en M' ?
- 5.5** Expliquer pourquoi, au voisinage immédiat du centre de l'écran, aucune cannelure n'est observable.

Exercice 6 Quand la diffraction se superpose aux interférences



(Hors programme — pour aller plus loin.) Les « fentes » d'Young ont en réalité une largeur a non nulle : chacune diffracte la lumière, et les franges d'interférences n'apparaissent que dans la tache de diffraction d'une fente isolée, dont elles reprennent l'éclat. La figure 3 donne le profil d'intensité obtenu pour $a = 0,100 \text{ mm}$, $b = 0,500 \text{ mm}$, $\lambda = 633 \text{ nm}$ et $D = 2,00 \text{ m}$.

■ **DONNÉES** $\theta = \lambda/a$ (rad) • $i = \lambda D/b$ • $\delta = k\lambda$ (constructives), $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ (destructives)

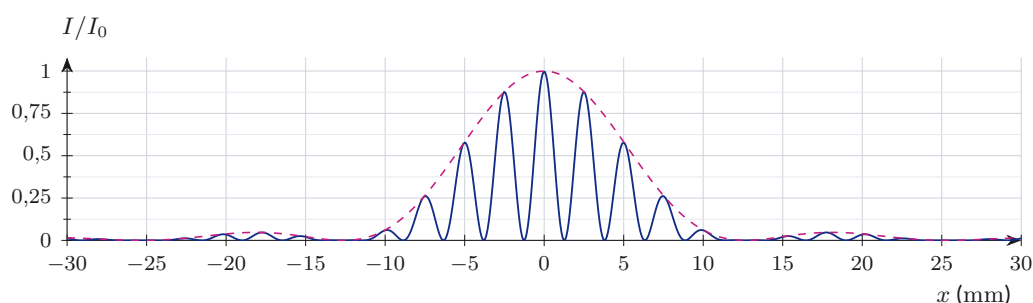


Figure 3 — Profil d'intensité (trait plein) et enveloppe de diffraction d'une seule fente (pointillés)

- 6.1** Calculer l'interfrange i , puis la largeur L de la tache centrale de diffraction que donnerait une seule fente de largeur a . Vérifier ces deux valeurs sur la figure 3.
- 6.2** Montrer que le rapport L/i vaut $2b/a$, puis que, lorsque b/a est un nombre entier, le nombre de franges brillantes entièrement contenues dans la tache centrale vaut $\frac{2b}{a} - 1$. Vérifier sur la figure.

- 6.3** Les franges d'ordre $k = \pm 5$ sont absentes du profil : justifier par le calcul. Quels autres ordres manquent également ?
- 6.4** Relever sur la figure l'intensité relative de la frange brillante d'ordre 3.
- 6.5** Les fentes sont deux fois plus larges ($a = 0,200 \text{ mm}$), b inchangé : l'interfrange change-t-il ? Combien de franges brillantes reste-t-il dans la tache centrale ?