

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



R. RINGUET · 2026 – 2027

Sujet type bac

Diffraction et interférences

Deux exercices indépendants : le contrôle qualité d'un fil de tungstène, des interférences pour mesurer une longueur d'onde

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : / 20

★ CONSIGNES

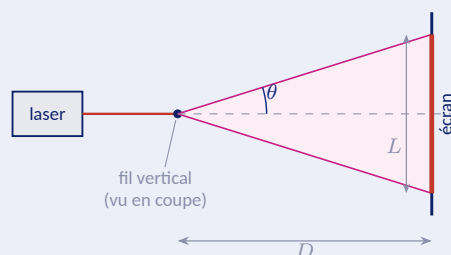
Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies ; toute expression littérale est établie avant l'application numérique et toute démarche, même partielle, est valorisée. Formulaire : angle caractéristique de diffraction $\theta = \lambda/a$ (θ en radians) • interférences de deux ondes synchrones : $\delta = k\lambda$ (constructives), $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ (destructives), k entier • écart normalisé $z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{u(x)}$; on admet la compatibilité si $z < 2$.

Exercice 1 Contrôler le diamètre d'un fil de tungstène

12 pts ●●●

Les filaments de tungstène des lampes à incandescence, encore utilisés dans certains fours et projecteurs, doivent respecter un diamètre très précis : une variation de quelques pour cent suffit à modifier fortement la puissance et la durée de vie de la lampe. Un atelier contrôle sa production par une méthode optique, sans contact, fondée sur la diffraction d'un faisceau laser.

■ DOCUMENT 1 — Le banc de contrôle



Le fil, tendu verticalement, est éclairé par une diode laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 650,0 \text{ nm}$, d'incertitude-type $u(\lambda) = 1,0 \text{ nm}$. L'écran est à la distance $D = 2,000 \text{ m}$, mesurée avec $u(D) = 2,0 \text{ mm}$. Un fil opaque de diamètre a donne la même figure de diffraction qu'une fente de largeur a : on mesure la largeur L de la tache centrale. Le cahier des charges impose un diamètre $a_{\text{réf}} = 50,0 \mu\text{m}$.

Partie A — Le principe de la mesure

- 1.1 Expliquer, en une ou deux phrases, pourquoi un fil de quelques dizaines de micromètres diffracte nettement la lumière visible, alors qu'une fente de 1 mm ne le fait pratiquement pas.
- 1.2 À l'aide du schéma du document 1, exprimer $\tan \theta$ en fonction de L et D . En admettant que θ est petit, établir la relation $L = \frac{2\lambda D}{a}$.
- 1.3 Justifier, par un calcul d'ordre de grandeur, que l'approximation des petits angles est ici parfaitement légitime.
- 1.4 Un technicien propose de rapprocher l'écran à 50 cm pour gagner de la place. Sans calcul détaillé, expliquer pourquoi c'est une mauvaise idée pour la précision de la mesure.

Partie B — Le traitement d'une série de mesures

■ DOCUMENT 2 — Huit mesures successives de la tache centrale

mesure	1	2	3	4	5	6	7	8
L (mm)	51,5	52,8	51,9	53,1	52,2	51,7	52,6	52,0

Le même fil est mesuré huit fois de suite, le montage étant démonté et remonté entre deux mesures. La moyenne de ces huit valeurs est $\bar{L} = 52,225$ mm et leur écart-type expérimental $s = 0,560$ mm. L'incertitude-type de type A sur la moyenne vaut $u(\bar{L}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$, où n est le nombre de mesures. On admet enfin

$$\frac{u(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(\bar{L})}{\bar{L}}\right)^2}.$$

- 1.5 Pourquoi démonte-t-on le montage entre deux mesures ? Quel type d'erreur cette précaution permet-elle d'évaluer, et lequel échappe totalement à cette méthode ?
- 1.6 Calculer l'incertitude-type $u(\bar{L})$ en millimètres.
- 1.7 Calculer le diamètre a du fil, en micromètres, à partir de $\bar{L}$.
- 1.8 Calculer les trois termes relatifs, puis $u(a)$. Écrire le résultat de la mesure sous la forme $a = (\dots \pm \dots) \mu\text{m}$ avec un nombre de chiffres cohérent.
- 1.9 Calculer l'écart normalisé entre la valeur mesurée et la valeur imposée par le cahier des charges, puis conclure sur la conformité du lot.
- 1.10 Le responsable qualité souhaite diviser par deux l'incertitude sur a . Indiquer, en justifiant à l'aide des trois termes calculés, la ou les modifications les plus efficaces du protocole.

Partie C — Automatiser le contrôle

Pour contrôler la production en continu, un fil est prélevé sur chacune des huit bobines d'une journée et mesuré une seule fois. Le programme ci-dessous calcule le diamètre correspondant à chaque mesure de L et compte les bobines hors tolérance, la tolérance étant de $\pm 2,0 \mu\text{m}$ autour de $50,0 \mu\text{m}$.

```

1 lam, D = 650.0e-9, 2.000 # en m
2 L = [52.0e-3, 51.3e-3, 54.6e-3, 52.5e-3, 50.9e-3, 53.0e-3, 55.1e-3, 52.3e-3]
3 hors_tolerance = 0
4 for valeur in L:
5     a = ... # ligne 5 à compléter : diamètre, en m
6     if abs(a - 50.0e-6) > 2.0e-6:
7         hors_tolerance = hors_tolerance + 1
8 print(hors_tolerance, "bobine(s) hors tolerance")

```

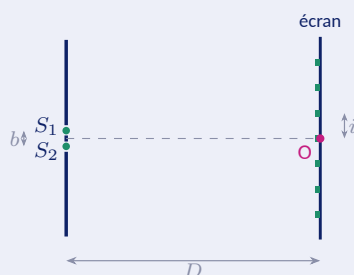
- 1.11 Compléter la ligne 5 du programme.
- 1.12 Calculer les diamètres correspondant aux deux plus grandes valeurs de L de la liste, puis déterminer, sans exécuter le programme, le nombre affiché.
- 1.13 Ce contrôle repose sur une mesure unique par bobine, alors que la partie B utilisait la moyenne de huit mesures. Discuter en deux ou trois phrases la pertinence de ce choix pour un contrôle de production.

Exercice 2 Des interférences pour mesurer une longueur d'onde

8 pts ●●●

Un laboratoire de métrologie vérifie la longueur d'onde d'un laser vert à l'aide d'un dispositif de fentes d'Young, puis étudie ce que devient la figure en lumière blanche.

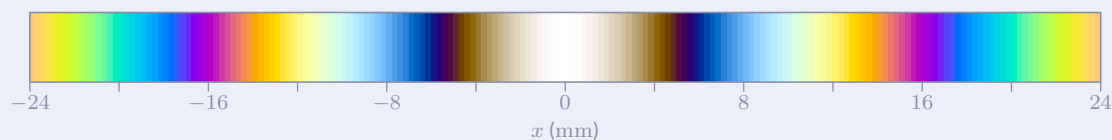
■ DOCUMENT 3 — Le dispositif interférentiel



Deux fentes fines et parallèles, distantes de $b = 100,0 \mu\text{m}$, sont éclairées par le laser à tester. L'écran est placé à $D = 2,000 \text{ m}$. On admet que la différence de marche en un point M d'abscisse x de l'écran vaut $\delta = bx/D$. Sur l'écran, on mesure la distance entre le centre de la première frange brillante et celui de la onzième : $\Delta = 10,6 \text{ cm}$, avec $u(\Delta) = 0,1 \text{ cm}$. Le constructeur du laser annonce $\lambda_c = 532 \text{ nm}$.

- 2.1** Les deux fentes se comportent comme deux sources synchrones. Expliquer pourquoi et préciser le rôle de la diffraction dans cette expérience.
- 2.2** À partir de $\delta = bx/D$ et de la condition d'interférences constructives, établir que les franges brillantes sont aux abscisses $x_k = k \frac{\lambda D}{b}$, puis que l'interfrange vaut $i = \frac{\lambda D}{b}$.
- 2.3** Dédire de la mesure de Δ la valeur de l'interfrange i , puis celle de la longueur d'onde λ du laser, en nanomètres.
- 2.4** L'incertitude-type sur λ est dominée par celle sur Δ : on prendra $u(\lambda)/\lambda = u(\Delta)/\Delta$. Calculer $u(\lambda)$, puis l'écart normalisé avec la valeur annoncée par le constructeur. Cette annonce est-elle vérifiée ?
- 2.5** On remplace les deux fentes par deux fentes distantes de $b' = 200,0 \mu\text{m}$. Calculer le nouvel interfrange et indiquer si la mesure de λ serait plus ou moins précise, à incertitude $u(\Delta)$ inchangée.
- 2.6** Le laser est finalement remplacé par une lampe à lumière blanche : on observe la figure du document 4. Justifier la couleur de la frange centrale, puis la position relative des teintes bleue et rouge dans la frange colorée suivante.

■ DOCUMENT 4 — La figure observée en lumière blanche (échelle des abscisses en millimètres)



- 2.7** Calculer l'interfrange que donnerait une radiation violette (400 nm) puis une radiation rouge (800 nm). En déduire qu'au-delà de 16 mm environ, des franges brillantes d'ordres différents se superposent, puis expliquer pourquoi, beaucoup plus loin du centre, l'écran paraît uniformément éclairé en lumière blanchâtre.
- 2.8** Un élève propose de remplacer la lampe et les deux fentes par deux petites lampes identiques placées à $100 \mu\text{m}$ l'une de l'autre. Expliquer pourquoi aucune figure d'interférences ne serait alors observable.