

## PHY NYC – Exercice de révision pour le Chapitre 3

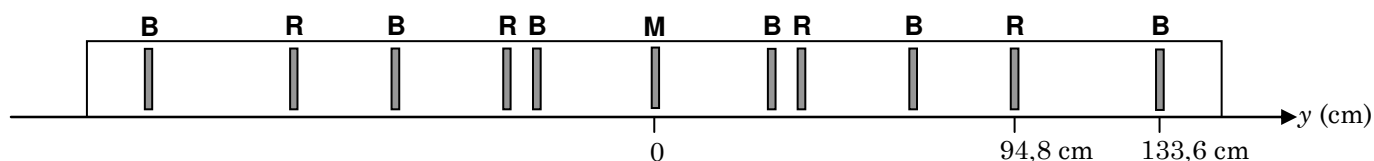
### « *The Dark Side of the Force* »

### SOLUTION

Mace Windu est un chevalier jedi qui possède un sabre laser dont la lame lumineuse émet une couleur magenta. Pour produire cette couleur (qui n'est pas une couleur qu'on retrouve dans un arc-en-ciel), son sabre émet simultanément du rouge ( $\lambda_R$ ) et du bleu ( $\lambda_B$ ). La combinaison de ces deux longueurs d'ondes différentes donne l'impression à l'oeil qu'une seule couleur violacée est émise.

(a) En utilisant le sabre de Windu pour éclairer un réseau qui contient 500 fentes par millimètre, on obtient une série de raies brillantes magentas (**M**), rouges (**R**) et bleues (**B**) sur un écran situé à 1,2 mètres du réseau. Quelles sont les deux longueurs d'ondes distinctes émises par le sabre laser de Windu ?

(réponse :  $\lambda_B = 496 \text{ nm}$  et  $\lambda_R = 620 \text{ nm}$ )



**solution :**

$$d = \frac{1 \text{ mm}}{500} = \frac{0,001 \text{ m}}{500} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$L = 1,2 \text{ m}$$

Concernant la longueur d'onde bleue, on voit que par rapport au maximum central ( $m = 0$ ), le 3<sup>e</sup> maximum d'interférence ( $m = 3$ ) survient à  $y = 133,6 \text{ cm} = 1,336 \text{ m}$ .

$$\tan \theta = \frac{y}{L} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{y}{L}\right) = \arctan\left(\frac{1,336}{1,2}\right) = \theta = 48,07^\circ$$

$$\delta = d \sin \theta = m \lambda$$

$$\lambda_B = \frac{d \sin \theta}{m} = \frac{2 \times 10^{-6} \cdot \sin 48,07^\circ}{3} = 4,96 \times 10^{-7} \text{ m} = 496 \text{ nm}$$

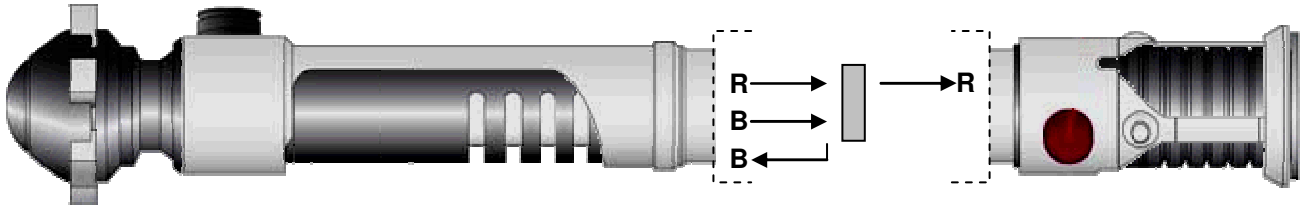
Concernant la longueur d'onde rouge, on voit que par rapport au maximum central ( $m = 0$ ), le 2<sup>e</sup> maximum d'interférence ( $m = 2$ ) survient à  $y = 94,8 \text{ cm} = 0,948 \text{ m}$ .

$$\tan \theta = \frac{y}{L} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{y}{L}\right) = \arctan\left(\frac{0,948}{1,2}\right) = \theta = 38,31^\circ$$

$$\delta = d \sin \theta = m \lambda$$

$$\lambda_R = \frac{d \sin \theta}{m} = \frac{2 \times 10^{-6} \cdot \sin 38,31^\circ}{2} = 6,20 \times 10^{-7} \text{ m} = 620 \text{ nm}$$

(b) Après la « défaite » de Windu contre l'empereur Palpatine (alias Darth Sidius), Sidius récupère le sabre laser de Windu pour son propre usage. Cependant, comme tout bon sith qui se respecte, Sidius préfère utiliser un sabre avec une lame rouge. Il introduit donc à l'intérieur du sabre de Windu une mince pellicule en diamant ( $n = 2,42$ ) entourée d'air qui aura pour effet de produire un maximum de réflexion dans le bleu ( $\lambda_B = 496 \text{ nm}$ ) et un minimum de réflexion dans le rouge ( $\lambda_R = 620 \text{ nm}$ ). Calculez l'épaisseur minimale de la pellicule que Sidius doit utiliser. (réponse :  $e = 256 \text{ nm}$ )



**solution :**

Comme la lumière franchit les milieux suivants : air  $\rightarrow$  diamant  $\rightarrow$  air ;  $n = 1 \rightarrow 2,42 \rightarrow 1$ , la première réflexion est dure ( $\pi$ ) et la deuxième réflexion est molle (0).

Ainsi, les 2 rayons lumineux se font déphaser par les réflexions :  $\Delta\phi_r = \pi$

Pour avoir un maximum de réflexion ( $\Delta\phi_{\text{tot}} = 0$ ) dans le bleu ( $\lambda_{\text{air}} = 496 \text{ nm}$ ), il faut :

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = \Delta\phi_r + \Delta\phi_e$$

$$0 = \pi + \Delta\phi_e \Rightarrow \Delta\phi_e = \pi, \text{ donc } \delta = 2e = (m + 1/2)\lambda_p = (m + 1/2)\frac{\lambda_{\text{air}}}{n_p}$$

$$2e = (m + 1/2)\frac{\lambda_{\text{air}}}{n_p} \Rightarrow e = (m + 1/2)\frac{\lambda_{\text{air}}}{2n_p} = (m + 1/2) \times \frac{496 \text{ nm}}{2 \times 2,42}$$

$e = 51,2 \text{ nm} ; 154 \text{ nm} ; 256 \text{ nm} ; 354 \text{ nm} ; 461 \text{ nm} \dots$

Pour avoir un minimum de réflexion ( $\Delta\phi_{\text{tot}} = \pi$ ) dans le rouge ( $\lambda_{\text{air}} = 620 \text{ nm}$ ), il faut :

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = \Delta\phi_r + \Delta\phi_e$$

$$\pi = \pi + \Delta\phi_e \Rightarrow \Delta\phi_e = 0, \text{ donc } \delta = 2e = m\lambda_p = m\frac{\lambda_{\text{air}}}{n_p}$$

$$2e = m\frac{\lambda_{\text{air}}}{n_p} \Rightarrow e = m\frac{\lambda_{\text{air}}}{2n_p} = m \times \frac{620 \text{ nm}}{2 \times 2,42}$$

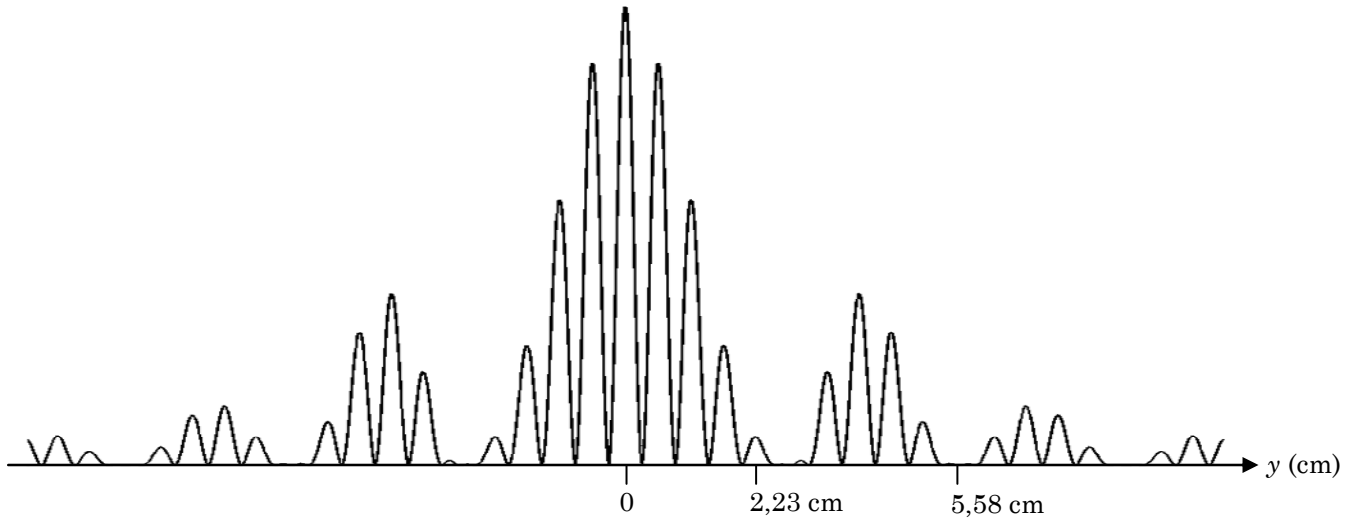
$e = 0 \text{ nm} ; 128 \text{ nm} ; 256 \text{ nm} ; 384 \text{ nm} ; 512 \text{ nm} \dots$

Comme on veut que les 2 conditions surviennent simultanément, on doit chercher la plus petite valeur possible de l'épaisseur  $e$  qui est présente simultanément dans les 2 listes de valeurs possibles.

Ainsi :  $e = 256 \text{ nm}$

(c) Maintenant que le sabre laser a été converti et que la lame émet seulement du rouge ( $\lambda_R = 620 \text{ nm}$ ), Sidius utilise ce sabre pour éclairer un masque qui contient deux fentes et obtient la courbe d'intensité lumineuse suivante sur un écran situé à 4,5 mètres du masque.

- i. Calculez  $d$  : la distance entre chacune des deux fentes. (réponse :  $d = 0,5 \text{ mm}$ )
- ii. Calculez  $a$  : la largeur de chacune des deux fentes. (réponse :  $a = 0,1 \text{ mm}$ )



**solution :**

$$L = 4,5 \text{ m}$$

$$\lambda = \lambda_R = 620 \text{ nm} = 620 \times 10^{-9} \text{ m}$$

En se concentrant uniquement sur l'interférence, on voit que par rapport au maximum central ( $m = 0$ ), le 4<sup>e</sup> maximum d'interférence ( $m = 4$ ) survient à  $y = 2,23 \text{ cm} = 0,0223 \text{ m}$ .

$$\tan \theta = \frac{y}{L} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{y}{L}\right) = \arctan\left(\frac{0,0223}{4,5}\right) = \theta = 0,2839^\circ$$

$$\delta = d \sin \theta = m\lambda$$

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \theta} = \frac{4 \cdot 620 \times 10^{-9}}{\sin 0,2839^\circ} = 5,00 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,5 \text{ mm}$$

En se concentrant uniquement sur la diffraction, on voit que par rapport au maximum central ( $m = 0$ ), le 2<sup>e</sup> minimum de diffraction ( $m = 2$ ) survient à  $y = 5,58 \text{ cm} = 0,0558 \text{ m}$ .

$$\tan \theta = \frac{y}{L} \Rightarrow \theta = \arctan\left(\frac{y}{L}\right) = \arctan\left(\frac{0,0558}{4,5}\right) = \theta = 0,7104^\circ$$

$$\delta = a \sin \theta = m\lambda$$

$$a = \frac{m\lambda}{\sin \theta} = \frac{2 \cdot 620 \times 10^{-9}}{\sin 0,7104^\circ} = 1,00 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,1 \text{ mm}$$