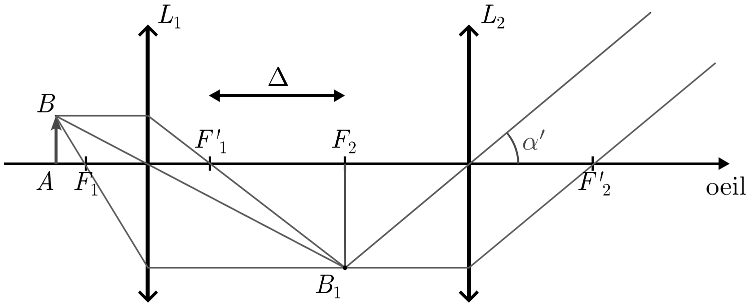
Problème 1 : Des oiseaux haut en couleur

1 Les couleurs structurales

1.1 Le bleu de la perruche

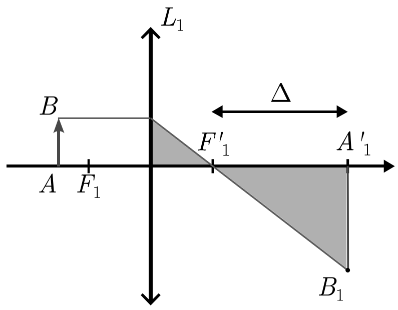
Q1. Un œil observe sans fatigue un objet situé à l'infini. On souhaite donc ici l'image finale A_2 en sortie de L_2 doit se situer à l'infini. Alors l'image intermédiaire A_1B_1 doit se situer dans le plan focal objet de la seconde lentille. Il faut notamment que $A_1 = F_2$.

Q2. Schéma optique des rayons lumineux :



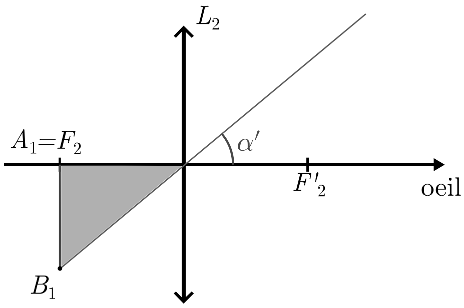
Q3. Grandissement transversal de l'objectif :

$$\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F_1'A_1}}{\overline{F_1'O}} = \frac{\overline{F_1'F_2'}}{-\overline{OF_1'}}$$
$$\gamma_1 = -\frac{\Delta}{f_1'}$$



Q4. Diamètre angulaire d'observation

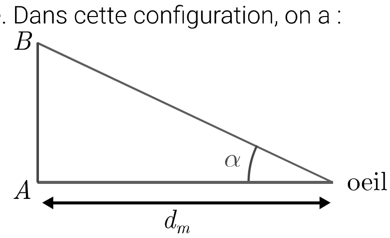
$$\tan(\alpha') \simeq \alpha' \qquad \text{dans les conditions de Gauss}$$
$$\alpha' = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{\gamma_1 \times \overline{AB}}{\overline{O_2F_2}} = \frac{-\Delta \times h}{f_1' \times (-f_2')}$$
$$\alpha' = \frac{h\Delta}{f_1'f_2'}$$



Q5. $d_m \simeq 25$ cm correspond au *punctum proximum*, point le plus proche auquel l'œil peut voir net. d_M correspond au *punctum remotum*, point le plus éloigné auquel l'œil peu voir net, qui se situe à l'infini pour un œil sans défaut.

Q6. Au *punctum proximum*, l'objet est vu sous le plus grand diamètre angulaire. Dans cette configuration, on a :

$$\tan(\alpha) \simeq \alpha = \frac{h}{d_m}$$



Q7. Grossissement commercial du microscope :

$$G_c \triangleq \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{h\Delta}{f_1'f_2'} \times \frac{d_m}{h} = \frac{d_m\Delta}{f_1'f_2'} \tag{1}$$

Application numérique : $G_c \simeq 167$

Q8. La résolution angulaire de l'œil est $\varepsilon = 1'$. La distance angulaire minimale vue à travers le microscope est donc : $\alpha_m = G_c \times \varepsilon = 167' = 2,8°$.

Q9. En mesurant sur la photo 3 du sujet, on peut estimer la distance entre deux barbules à environ $30\ \mu\text{m}$.

Q10. Pour $d_m = 25\ \text{cm}$, cela correspond à un diamètre angulaire à l'œil nu de : $\alpha \simeq \dfrac{30\ \mu\text{m}}{25\ \text{cm}} = 1,2.10^{-4}\ \text{rad} = 0,4'$. Ceci est en dessous de la limite de résolution angulaire $\varepsilon = 1'$.
En revanche, avec un grossissement $G_c = 167$, le diamètre angulaire sera $\alpha' \simeq 20\ \text{mrad} \simeq 69'$: on peut distinguer les barbules au microscope.

Q11. Lors du passage de l'onde lumineuse pour les microgranules, il y a diffusion Rayleigh de la lumière avec une puissance moyenne diffusée à travers une sphère :

$$\langle \mathcal{P} \rangle = \alpha \omega^4$$

Lorsqu'on éclaire avec de la lumière blanche, le bleu (avec $\omega_{\text{bleu}} \sim 2 \times \omega_{\text{rouge}}$) est alors environ $2^4 = 16$ fois plus diffusé que le rouge ! Ce sera donc le bleu et le violet qui seront les couleurs dominantes observées en diffusion.
Les autres radiations de plus faible pulsation / fréquence qui sont moins diffusées, sont principalement transmises comme indiqué sur la figure 5 de l'énoncé.

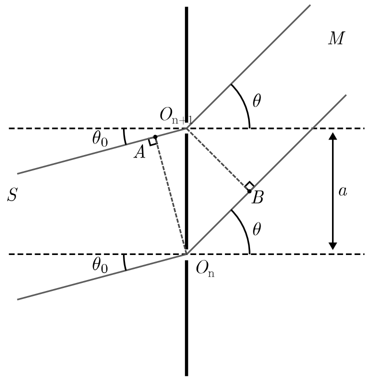
Q12. On a donc une meilleure transmission des ondes de faibles fréquences (rouge, orange, jaune...), et une perte de puissance des radiations de hautes fréquences (bleu, violet) qui sont diffusées sur les côtés. On peut donc dire que cette partie du plumage agit comme un filtre passe-bas en transmission.

1.2 Du vert clair au violet pour le canard colvert

Q13. Les documents nous précisent que « chaque microlamelle se comporte comme un petit miroir réfléchissant la lumière ». La structure constitue donc un réseau par réflexion.

Q14. Expression de la différence de marche entre deux ouvertures pour un réseau en transmission.
Le théorème de Malus permet de compléter le schéma et d'écrire l'égalité entre les chemins optiques suivants :

$$\begin{cases} (SA) & = (SO_n) \\ (O_{n+1}M) & = (BM) \end{cases}$$

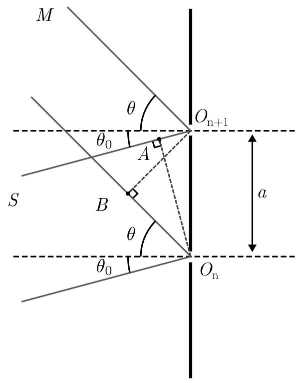


On exprime alors la différence de marche avec des relations trigonométriques :

$$\begin{aligned} \delta(M) &= (SO_{n+1}M) - (SO_nM) \\ &= (SO_{n+1}) + (O_{n+1}M) - (SO_n) - (O_nM) \\ &= (AO_{n+1}) - (O_nB) \\ \delta(M) &= a\sin(\theta_0) - a\sin(\theta) \end{aligned}$$

Q15. Les ondes interférences toutes constructivement si : $\delta(M) = k \times \lambda_0$ avec λ_0 la longueur d'onde et k un entier relatif.

Q16. Dans le cas d'un réseau par réflexion, le calcul est modifié par un signe $\oplus$ dans le calcul de la différence de marche, conformément à ce schéma.



On a alors

$$\delta(M) = a\sin(\theta_0) + a\sin(\theta) \qquad (2)$$

Donc pour des interférences constructives avec $\delta = k\lambda_0$

$$\sin(\theta_k) + \sin(\theta_0) = k\frac{\lambda_0}{a} \qquad \text{avec} \quad k \in \mathbb{Z} \qquad (3)$$

Q17. Pour le schéma de l'énoncé, le canard est éclairé par le soleil en incidence normale sur les plumes ($\theta_0 = 0$). On observe à deux angles différents. On peut en première approche ne considérer que les ordres $k = \pm 1$ de diffraction, car ce sont ceux dont la luminosité est la plus puissante. Par ailleurs on pourra voir par le calcul que considérer les ordres supérieurs ne donnent des interférences constructives que pour des rayonnements hors du domaine du visible.

- Pour l'observateur A placé à $\theta = 90° = \frac{\pi}{2}$; la couleur correspondant à des interférences constructives pour $k = 1$