

CONSIGNES GÉNÉRALES :

Le sujet comporte 2 problèmes indépendants qui peuvent être traités dans l'ordre de votre choix.

Noter clairement le titre de l'exercice et les numéros des questions traités.

Les calculs seront toujours menés **de façon littérale, et le résultat littéral encadré**.

Les applications numériques seront ensuite effectuées quand elles seront demandées, et soulignées.

PROBLÈME 1**Des oiseaux haut en couleur**

L'extraordinaire diversité des motifs colorés des oiseaux résulte de phénomènes physiques tels que l'absorption de la lumière, la diffusion, les interférences ou encore la diffraction.

Certains motifs peuvent être expliqués soit par une répartition organisée du plumage, on parle alors de couleurs structurales, soit par la présence de pigments dans le plumage, on parle alors de couleurs pigmentaires. Si le jaune du canari est par exemple pigmentaire, le bleu de la perruche est lui structural. Certains oiseaux bénéficient des deux types de colorations comme le perroquet Ara qui présente ainsi un plumage très coloré (**photo 1**).



Photo 1 - Perroquets Ara (rouge vert bleu à gauche, bleu jaune à droite)

Pour ce **problème 1**, les intervalles de longueurs d'onde de quelques couleurs sont fournis dans le tableau ci-dessous :

Couleurs	Rouge	Orange	Jaune	Vert	Bleu	Violet
λ en nm	620 - 780	590 - 620	580 - 590	500 - 580	450 - 500	380 - 450

On donne, pour une lentille conjuguant un objet A et une image A' , la relation de conjugaison avec origine aux foyers F et F' :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = -f'^2.$$

I.1 - Le bleu de la perruche

À l'origine, la couleur des perruches à l'état sauvage est verte, mais la captivité chez cet oiseau, souvent élevé en nombre, a permis l'émergence de nouvelles couleurs, comme le bleu (**photo 2**). C'est notamment l'appauvrissement en pigments jaunes dans son plumage qui est indirectement responsable de cette coloration si particulière et rare dans le domaine animal.

De façon schématique, une plume est constituée essentiellement d'un rachis sur lequel pousse les barbes sur lesquelles naissent des barbules (**figure 1**). Le long des barbules prennent naissance à leur tour des crochets.



Photo 2 - Perruche bleue

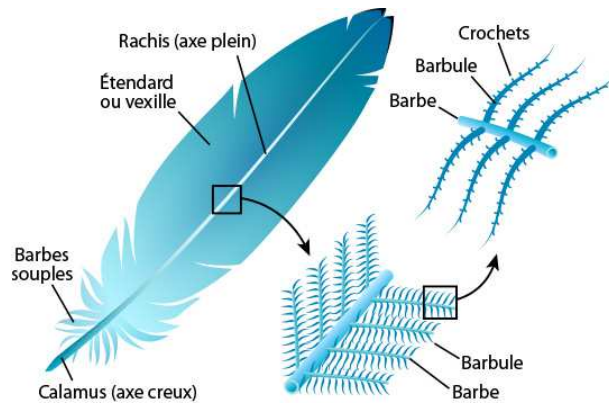


Figure 1 - Constitution d'une plume

Afin de déterminer l'origine physique de cette couleur bleue, on observe une partie AB d'une plume de perruche à l'aide d'un microscope optique.

Pour cela, on dispose :

- d'une première lentille, L_1 (centre O_1 , distance focale $f'_1 = 1,2 \text{ cm}$), qui porte le nom d'objectif ;
- d'une deuxième lentille, L_2 (centre O_2 , distance focale $f'_2 = 2,0 \text{ cm}$), qui porte le nom d'oculaire.

La distance qui sépare le foyer image F'_1 de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire est appelée intervalle optique, noté Δ , avec ici $\Delta = 16 \text{ cm}$ (**figure 2**).

L'observation se fait à l'aide d'un œil emmétrope (œil à vision normale) situé derrière l'oculaire.

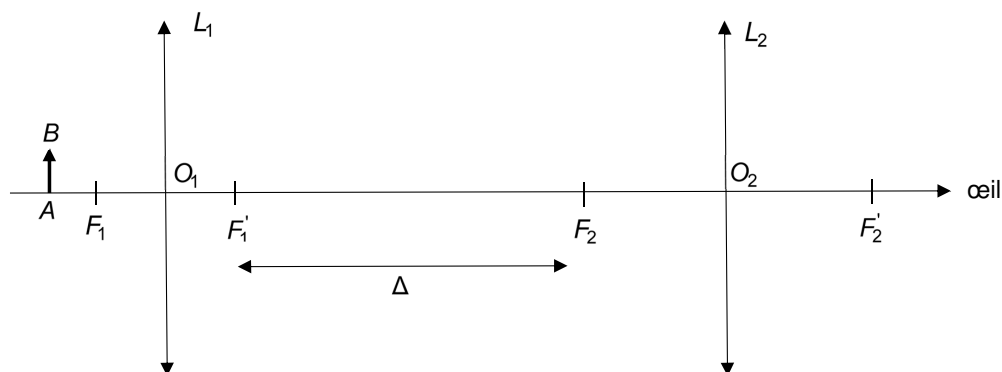


Figure 2 - Schéma du microscope

On se placera pour toute la suite dans les conditions de Gauss et dans l'approximation des petits angles. On note h la taille de l'objet AB observé.

- Q1.** Afin que l'observation puisse s'effectuer sans fatigue visuelle pour l'œil emmétrope, où doit être située l'image finale A_2 en sortie de L_2 ? Dans quel plan se situe donc l'image intermédiaire A_1B_1 ?
- Q2.** Reproduire sur la copie le schéma du microscope et tracer le chemin de deux rayons lumineux passant par l'extrémité B de l'objet, l'un parallèle à l'axe et l'autre passant par O_1 . Faire apparaître sur ce schéma :
- l'image intermédiaire A_1B_1 ;
 - le diamètre angulaire α' de l'image finale vue par l'œil.

- Q3.** Montrer que la grandeur $\gamma_1 = \frac{\overline{A_1 B_1}}{\overline{AB}}$, appelée grandissement transversal de l'objectif, s'écrit :

$$\gamma_1 = -\frac{\Delta}{f_1'}$$

- Q4.** En déduire l'expression du diamètre angulaire α' de l'image vue par l'observateur au travers du microscope en fonction de f_1' , f_2' , h et de Δ .

En l'absence de dispositif, l'œil voit net un objet situé à une distance comprise entre d_m et d_M , avec $d_m < d_M$.

- Q5.** Quels noms donne-t-on aux points objets correspondant à ces distances ? Donner une valeur à d_m et d_M pour un œil emmétrope.
- Q6.** Déterminer le diamètre angulaire α de l'objet AB vu sans instrument et situé à une distance d_m de l'œil (**figure 3**).

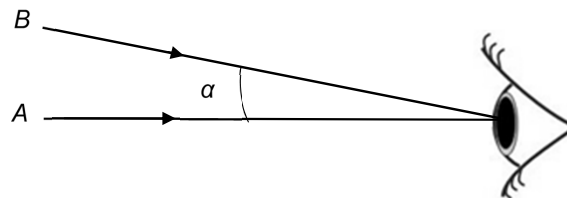


Figure 3 - Diamètre ou distance angulaire

- Q7.** En déduire que la grandeur $G_C = \frac{\alpha'}{\alpha}$, appelée grossissement commercial du microscope, s'écrit :

$$G_C = \frac{d_m \Delta}{f_1' f_2'}$$

Faire l'application numérique avec $d_m = 25 \text{ cm}$.

- Q8.** Un œil peut distinguer deux images ou deux objets si la distance angulaire les séparant est supérieure à la limite de résolution angulaire de l'œil $\varepsilon = 1'$ (une minute d'arc). Déterminer quelle sera la distance angulaire minimale α_m entre deux objets vus au travers de ce microscope.

L'image d'une partie d'une plume est donnée ci-après (**photo 3**) :

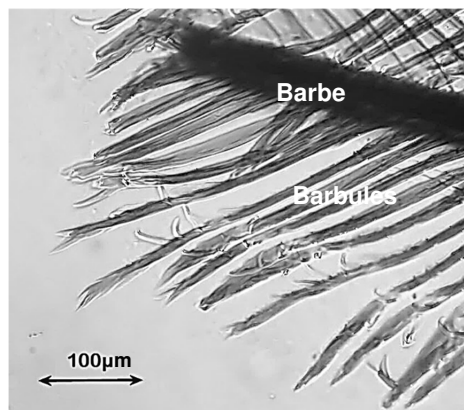


Photo 3 - Image d'une plume de perruche à l'aide d'un dispositif non précisé

- Q9.** Par mesure sur la **photo 3**, donner une estimation de la distance entre deux crochets situés au bout des barbules.
- Q10.** On rappelle que la résolution angulaire de l'œil nu est $\varepsilon = 1'$. Ces crochets peuvent-ils être distingués directement sans instruments ? Pourront-ils être distingués avec le microscope utilisé précédemment ?

PROBLEME 2

La photodiode

Une photodiode est dipôle électro-optique dont la caractéristique électrique dépend de la puissance lumineuse moyenne qu'elle reçoit au niveau de sa surface sensible. Une photodiode, représentée sur la figure 1, a une loi de fonctionnement donnée par

$$i(u) = I_0 \left(e^{u/V_0} - 1 \right) - I_p$$

où I_0 et V_0 sont des constantes strictement positives, et où l'intensité I_p , nommée « photocourant », est proportionnelle à la puissance lumineuse \mathcal{P}_ℓ reçue, selon la loi

$$I_p = k\mathcal{P}_\ell$$

avec k une constante strictement positive.

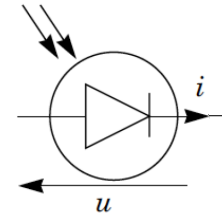


FIGURE 1 – Schéma électrique d'une photodiode

1. Rappeler les unités SI d'une intensité et d'une puissance, et leur correspondance en unités fondamentales. En déduire l'unité SI de k .
2. Déterminer la tension u_{CO} de la diode en circuit ouvert, en fonction de V_0 , I_p et I_0 .
3. Déterminer l'intensité i_{CC} de court-circuit de la diode.
4. Représenter graphiquement l'allure de la caractéristique de la diode $i(u)$. On y placera, entre autres, les grandeurs u_{CO} et i_{CC} .
5. Dans quel domaine de la caractéristique la photodiode fournit-elle une puissance positive au circuit dans lequel elle se trouve ?
6. On considère une photodiode recevant une puissance lumineuse $\mathcal{P}_\ell = 1,0 \text{ mW}$. Calculer u_{CO} et i_{CC} , en prenant $I_0 = 10 \mu\text{A}$, $V_0 = 26 \text{ mV}$ et $k = 0,50 \text{ uSI}$.

Afin de simplifier l'analyse, dans toute la suite on représentera désormais la caractéristique $i(u)$ de façon approchée, par deux segments de droite (cf. figure 2) :

- pour $u < u_{CO}$, $i = -I_p - I_0$;
- pour $i > -I_p - I_0$, $u = u_{CO}$.

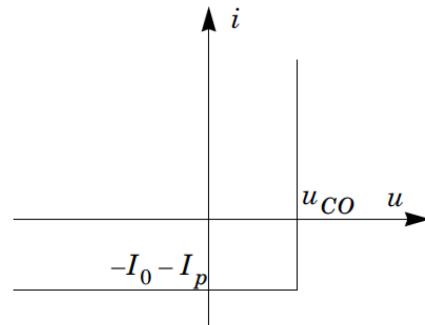


FIGURE 2 – Caractéristique courant-tension simplifiée.

On branche un résistor de résistance R_c aux bornes de la photodiode.

7. a) Déterminer la tension u et l'intensité i du courant en fonction de R_c , I_p , et I_0 et u_{CO} . On pourra raisonner graphiquement et on sera amené à distinguer 2 cas selon la valeur de R_c . On introduira la résistance $R_0 = \frac{u_{CO}}{I_0 + I_p}$.
 b) Déterminer la puissance \mathcal{P} fournie par la photodiode en fonction de R_c , u_{CO} , I_0 et I_p .
 c) Représenter l'allure de la courbe $\mathcal{P}(R_c)$.
 d) Déterminer la puissance maximale, notée \mathcal{P}_{\max} et calculer sa valeur pour $\mathcal{P}_\ell = 1,0 \text{ mW}$. On donnera l'expression et la valeur de la résistance R_c réalisant ce maximum, qu'on notera R_{opt} .

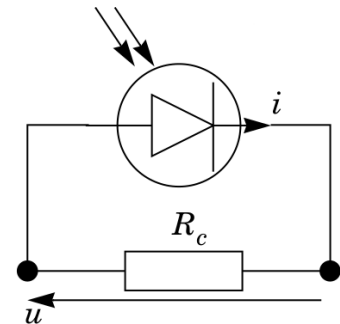


FIGURE 3 – Cellule photovoltaïque

8. On définit le rendement de conversion de la photodiode par $\eta = \mathcal{P}_{\max}/\mathcal{P}_\ell$.
 - a) Exprimer η en fonction de V_0 , k et de la quantité $x = k\mathcal{P}_\ell/I_0$. Calculer la valeur de η pour $\mathcal{P}_\ell = 1,0 \text{ mW}$.
 - b) Dans la limite $x \rightarrow \infty$, que pensez-vous du modèle utilisé pour décrire la caractéristique de la diode ?
 - c) De manière générale, justifier que le modèle simplifié de la figure 2 surévalue le facteur η .
9. On associe en série un nombre N de photodiodes identiques, chacune recevant la même puissance lumineuse \mathcal{P}_ℓ .
 - a) Procéder comme à la section 1.1. pour modéliser le dipôle constitué des N photodiodes par une caractéristique formée de deux demi-droites analogue à celle de la figure 2. On précisera les expressions du courant i_{CC_N} et de la tension u_{CO_N} correspondant.
 - b) Déterminer la puissance maximale $\mathcal{P}_{N\max}$ et préciser la valeur notée $R_{N\text{opt}}$ de la résistance qu'on doit brancher aux bornes de cette association série pour récupérer la puissance $\mathcal{P}_{N\max}$.
10. Reprendre les questions précédentes pour une association parallèle de N photodiodes. On précisera en particulier la nouvelle valeur notée $R_{N||\text{opt}}$ permettant de récupérer la nouvelle puissance maximale, notée $\mathcal{P}_{N||\max}$ dont on donnera également l'expression.
11. On souhaite alimenter une résistance $R_c = 1,0 \text{ k}\Omega$ par un ensemble de photodiodes associées soit en série, soit en parallèle, chacune étant soumise à la même puissance lumineuse $\mathcal{P}_\ell = 1,0 \text{ mW}$. Déterminer le nombre de photodiodes et la manière de les connecter (soit en série, soit en parallèle) permettant de récupérer un maximum de puissance dans R_c . Quelle est alors la valeur du rendement de conversion η ?