

Physique - Devoir Surveillé 1

Le 26/09/2026

Ce sujet comporte 7 pages. Il est fortement conseillé de le parcourir intégralement avant de commencer à composer. Toutes vos réponses doivent impérativement être **encadrées**. De même il est de votre devoir de vérifier que ces résultats sont **homogènes**.

L'usage de la calculatrice est interdit.

Les applications numériques seront effectuées avec la précision qu'un calcul à la main permet aisément, et (sauf mention contraire) sans excéder deux chiffres significatifs.
Un formulaire et des aides de calcul sont donnés à la **fin du sujet**.

I Étude de l'œil

Ce problème aborde quelques phénomènes physiques liées au fonctionnement de l'œil humain dont le fonctionnement général est introduit sur la figure I.1.

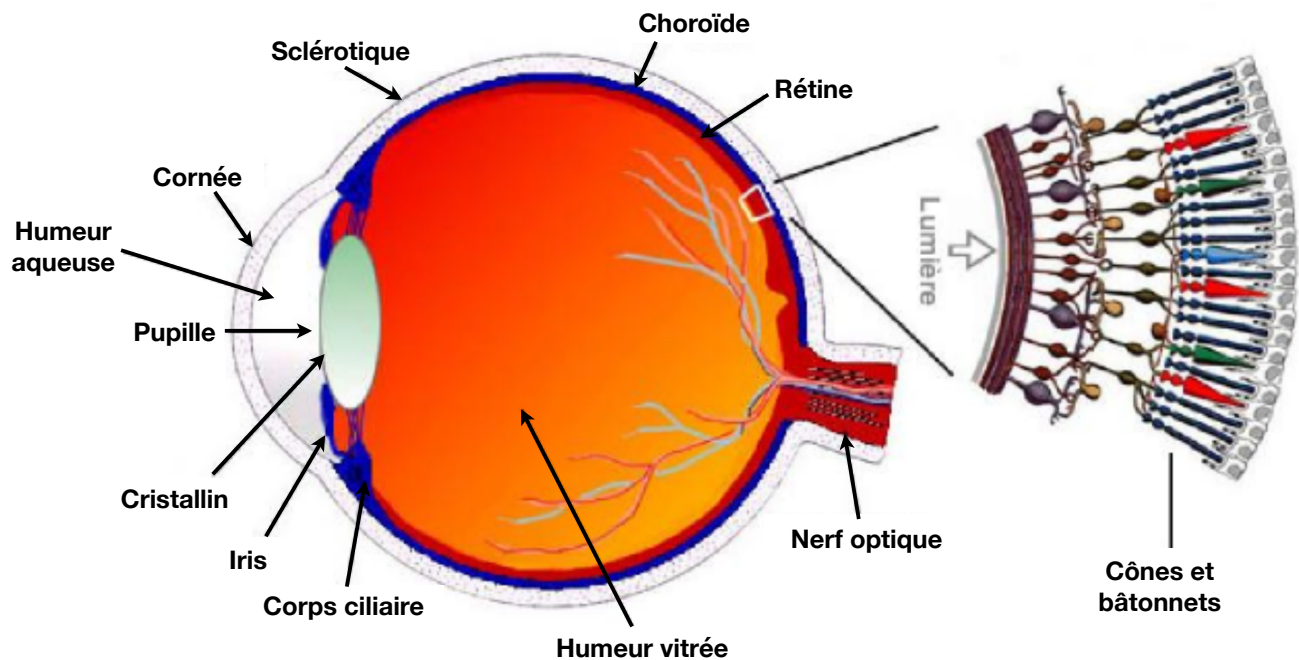


FIGURE I.1 – Les différentes parties de l'œil humain.

I.A Sensibilité de l'œil

Le fond de l'œil est tapissé par la rétine, membrane très fragile, jaunâtre et transparente. C'est la partie sensible de l'œil. Cette sensibilité est due à deux sortes de cellules :

- Les bâtonnets : comme leur nom l'indique, ces cellules ont une forme allongée. Ils sont colorés en rose par le pourpre rétinien qui les rend sensibles à la lumière. Ils ne sont pas sensibles à la couleur et travaillent essentiellement en vision crépusculaire. On compte environ 120 millions de bâtonnets dans la rétine humaine.
- Les cônes : ce sont les seuls à être sensibles à la couleur. Ils participent essentiellement à la vision diurne.

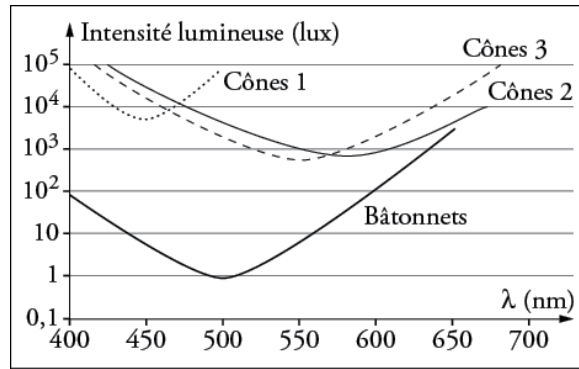


FIGURE I.2 – Éclairement lumineux minimal pour lequel les quatre types de cellules photosensibles émettent un signal électrique

1. Quel est le domaine de longueur d'onde du visible ?
2. À partir de la figure I.2, justifier que les bâtonnets sont associés à la vision nocturne et que les cônes sont associés à la vision diurne.
3. L'énergie d'un photon dans une onde lumineuse de fréquence f est donnée par la relation $E = hf$ où $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ est la constante de Planck. Calculer les fréquences f_1 , f_2 et f_3 pour lesquelles chaque type de cône est le plus sensible. En déduire les énergies E_1 , E_2 et E_3 des photons associés. On donne la vitesse de la lumière dans le vide $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Le lux est une unité de l'intensité lumineuse adaptée à l'œil humain, correspondant à la puissance minimale détectable par l'œil. Comme le montre la figure I.2, c'est dans les verts ($\lambda = 550 \text{ nm}$), que l'œil humain est le plus sensible. À cette longueur d'onde, un éclairement de $1,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ correspond à environ 700 lux. Le diamètre moyen de la pupille de jour est de 3,0 mm. On rappelle qu'une puissance (en watt W) correspond à une énergie (en joule J) divisée par un temps (en second s).

4. Calculer la puissance minimale en Watt que doit recevoir l'œil pour détecter du vert.
5. À quel débit de photons cela correspond-il ? Un résultat à 1 chiffre significatif est attendu.

I.B Formation d'images

Lorsqu'ils pénètrent dans l'œil, les photons suivent la trajectoire des rayons lumineux. Cette partie étudie l'œil d'un point de vue optique géométrique.

I.B.1 Dioptre sphérique

Dans une modélisation préliminaire, on considère que l'œil est une sphère de rayon a , et d'indice n . Un rayon lumineux incident arrive sur l'œil, parallèlement à l'axe optique, avec une hauteur h petite devant a . Il est alors réfracté et atteint la rétine en son centre. Dans toute cette partie on se place dans l'approximation aux petits angles, ce qui revient à supposer $h \ll a$.

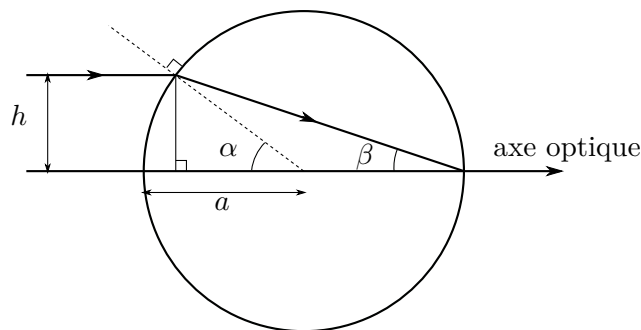


FIGURE I.3 – Rayons venant de l'infini traversant l'œil modélisé par une sphère d'indice n .

6. Donner une relation entre h , a et $\sin \alpha$ et simplifier aux petits angles. De même relier h , a et β .

7. Reproduire le schéma ci-dessus, et y indiquer l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r . Relier i et r à α et β .
8. Écrire la loi de Snell-Descartes et la simplifier aux petits angles; en déduire la valeur de l'indice n de l'œil dans ce modèle.
9. L'indice des humeurs aqueuse et vitrée est en fait plus faible, proche de celui de l'eau 1,33. Commenter en considérant l'effet du cristallin, qui n'a pas été pris en compte.

I.B.2 Lentille convergente

L'ensemble de l'œil est à présent modélisé par une unique lentille convergente, et la rétine par un écran situé à la distance $d = 20 \text{ mm}$ de la lentille.

10. Définir les notions d'accommodation, de punctum proximum PP et de punctum remotum PR.

Pour un œil sans défauts, le PP est de l'ordre de 20 cm et le PR est à l'infini.

11. Quelle est la valeur de la distance focale f'_1 lorsque l'œil regarde un objet à l'infini? Faire une construction géométrique représentant la formation de l'image d'un objet à l'infini sur l'axe optique.
12. Quelle est la valeur de la distance focale f'_2 lorsque l'œil regarde au PP. Faire une construction géométrique représentant la formation de l'image d'un objet au PP sur l'axe optique.
13. Calculer l'écart relatif entre ces deux valeurs.

Un patient myope voit flou les objets situés à plus d'un mètre de distance. Il cherche des lentilles de contact pour corriger ce défaut. On rappelle que deux lentilles accolées sont équivalentes à une lentille unique dont la vergence est la somme des vergences des deux lentilles.

14. Rappeler ce qu'est la vergence d'une lentille.
15. Calculer la vergence de l'œil du patient lorsqu'il regarde un objet à 1 mètre de distance.
16. Calculer la vergence de la lentille de contact à placer sur l'œil du patient pour qu'il puisse voir net un objet à l'infini.

II Détermination de la masse du soleil

On rappelle que l'expression de la norme de la force exercée par une masse ponctuelle M_1 (de masse m_1) sur une masse ponctuelle M_2 (de masse m_2), distantes de r s'écrit :

$$F = -\mathcal{G} \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

1. Exprimer la dimension de la constante de gravitation universelle $\mathcal{G}$ en fonction des grandeurs de base du système international. En quelle unité s'exprime-t-elle?
2. On considère une planète de masse m en orbite circulaire autour du Soleil (de masse M_s) à la distance r de son centre. Son énergie potentielle peut s'écrire $E_p = -\frac{\mathcal{G} m M_s}{r}$. Vérifier l'homogénéité de cette expression.
3. La période T de son mouvement dépend de la masse du Soleil M_s , du rayon r de son orbite et de la constante de gravitation universelle $\mathcal{G}$. Proposer une expression de T de la forme

$$T = k \times M_s^\alpha \mathcal{G}^\beta r^\gamma$$

où k est une constante sans dimension que l'on ne cherchera pas à déterminer.

On donne pour les différentes planètes du système solaire le rayon moyen de leur orbite ainsi que leur période de révolution. On utilisera les données suivantes (USI = unité du système international) :

- 1 u.a. (unité astronomique) = $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- $\mathcal{G} \simeq 6,7 \times 10^{-11} \text{ USI}$
- $k \simeq 40$.

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
T (jours)	88	225	365	687	4335	10758	30687	60224
r (u.a.)	0,4	0,7	1	1,5	5,2	9,5	19,6	30,1

4. À partir des données pour la planète de votre choix, déterminer la valeur de la masse du soleil. Un chiffre significatif est attendu.

On cherche à trouver une expression de la vitesse de la libération v_ℓ d'un corps, qui correspond à la vitesse minimale à communiquer à un corps à la surface de la Terre (soit à une distance R_T du centre de la Terre, où R_T est le rayon de la Terre) pour qu'il échappe à l'attraction de la Terre. On pourra noter M_T la masse de la Terre.

5. Proposer une expression plausible de v_ℓ .

III Constructions graphiques

1. Compléter les **schémas 1 à 3**, pour placer les images $A'B'$ ou bien les objets AB .
2. Construire pour le **schéma 4** le foyer principal objet F et le foyer principal image F' du système global composé des deux lentilles.

Formulaire et données

Relations de conjugaison d'optique géométrique

Pour un objet AB orthogonal à l'axe optique avec A sur l'axe optique, on note A'B' l'image par une lentille mince de centre O, de foyer objet F et image F' et de distance focale f' . Les relations suivantes sont alors vérifiées :

— Relations de conjugaison et de grandissement de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ et $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

— Relations de conjugaison et de grandissement de Newton : $\overline{FA} \times \overline{F'A'} = -f'^2$ et $\gamma = -\frac{f}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$

Aide aux applications numériques

Les données suivantes peuvent être exploitées pour les applications numériques.

$$\pi \simeq 3,1 \quad \frac{4}{22} \simeq 1,8 \times 10^{-1} \quad 24 \times 3600 \simeq 8,6 \times 10^4$$

$$(24 \times 3600)^2 \simeq 7,5 \times 10^9 \quad 3,65^2 \simeq 1,3 \times 10^1 \quad 1,5^3 \simeq 3,4$$

On donne également la représentation graphique de la fonction $x \mapsto \frac{3}{x}$:

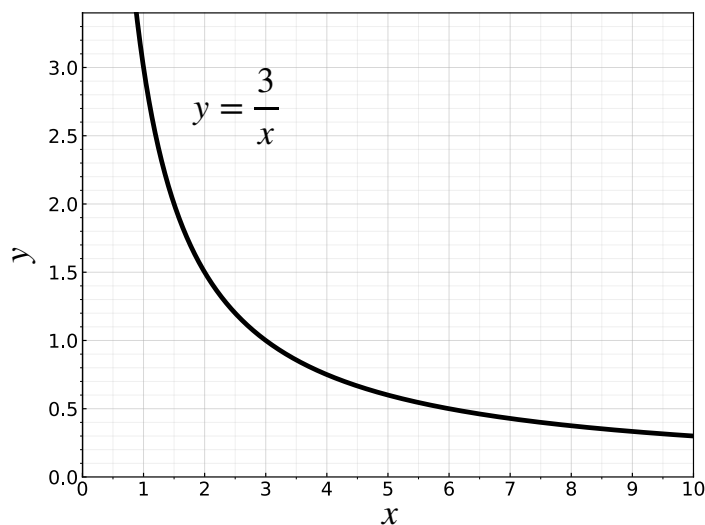


Schéma 1

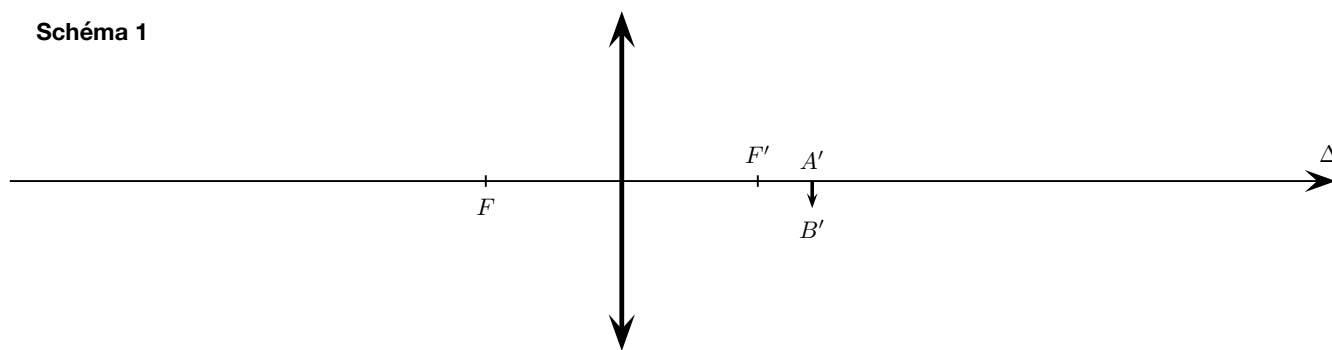


Schéma 2

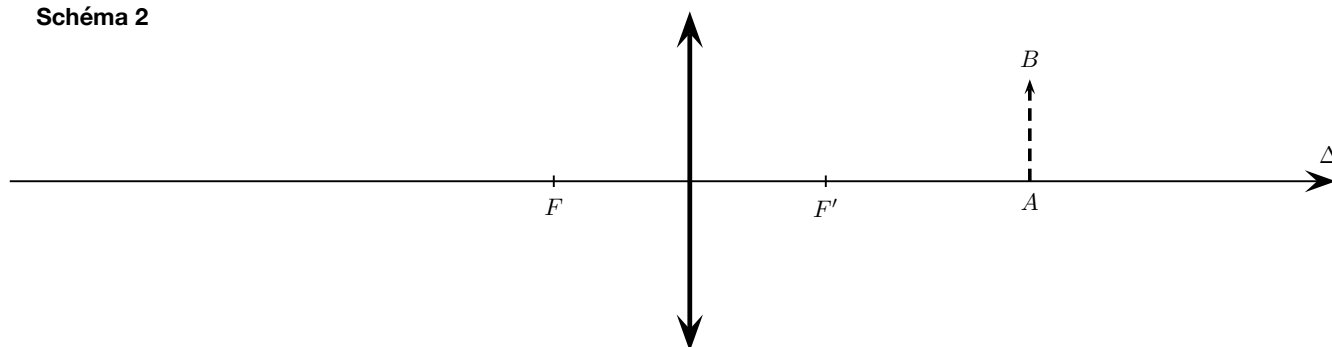


Schéma 3

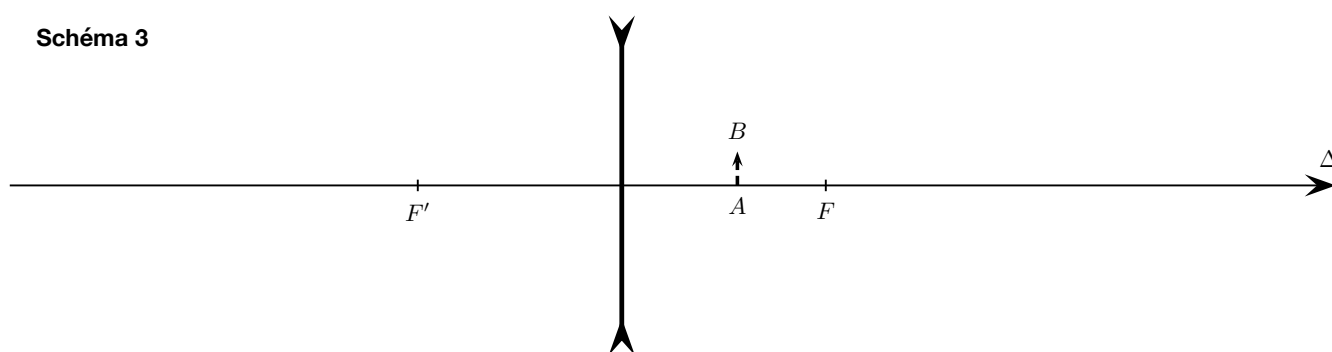


Schéma 4

