

# CONCOURS D'ADMISSION 2026

TEL +33 (0)1 84 67 00 01  
www.ens-louis-lumiere.fr

## Master Cinéma

### Épreuve de sciences – Phase 2

Durée de l'épreuve : 1 h 30  
Coefficient : 1

**Les calculatrices ne sont pas autorisées.**

Le sujet comporte une annexe qu'il est recommandé de lire avant de commencer la rédaction.

Les questions sont numérotées de 1 à 21 et leur énoncé est délimité par une barre verticale à gauche du texte.

Les questions marquées d'un astérisque dépendent en grande partie de la ou des questions précédentes.

Un barème indicatif est fourni pour chaque partie.

Respect de l'anonymat : aucun nom, élément ou signe distinctif ne doit apparaître sur votre copie, sous peine d'exclusion du concours.

## Éléments de correction

**Q1.** L'unité SI de la longueur d'onde est le mètre (m). La longueur d'onde retranscrit l'aspect ondulatoire de la lumière, car elle correspond à la distance séparant deux points successifs en phase lors de la propagation. Cette notion est propre aux phénomènes ondulatoires et n'intervient pas dans une description corpusculaire de la lumière.

**Q2.** L'indice de réfraction  $n = c/v$  où  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide et  $v$  dans le milieu. Dans le vide,  $n = 1$ .

**Q3.** La dispersion de la lumière est le phénomène par lequel la vitesse de propagation de la lumière dans un milieu dépend de sa longueur d'onde. Cela conduit à une variation de l'indice de réfraction  $n$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$ . Un exemple courant de dispersion est la séparation de la lumière blanche en ses différentes couleurs lorsqu'elle passe à travers un prisme, formant un spectre visible. On peut aussi citer les problèmes de chromatisme dans les lentilles optiques.

**Q4.** Le spectre électromagnétique est continu et la lumière visible n'en constitue qu'une petite partie. Pour des longueurs d'onde plus grandes que le visible, on trouve l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio. Pour des longueurs d'onde plus petites que le visible, on trouve l'ultraviolet, les rayons X et les rayons gamma.

**Q5.** Les angles  $r_2$  et  $r_3$  sont égaux, car ils correspondent à des réflexions internes dans la goutte d'eau, et selon la loi de la réflexion, l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion (les deux angles sont mesurés par rapport à la normale au dioptré au point d'incidence).

**Q6.** Les angles  $r_1$  et  $r_2$  sont égaux, car ils sont les angles à la base du triangle **isocèle**  $IRC$ . De même, les angles  $r_3$  et  $r_4$  sont égaux pour la même raison.

**Q7.** En utilisant la relation de Snell-Descartes au point  $I$  :  $\sin(i) = n_{\text{eau}} \sin(r)$ , car l'indice de l'air vaut 1. De même au point  $S$  :  $n_{\text{eau}} \sin(r) = \sin(s)$ .

**Q8.** En éliminant  $r$  des deux équations précédentes, on obtient  $\sin(i) = \sin(s)$ . Comme  $i$  et  $s$  sont dans  $[0, \pi/2[$  et que la fonction sinus est strictement croissante sur cet intervalle, cela implique que  $i = s$ .

Il est aussi possible de dire que le système possède un axe de symétrie (porté par la tangente en  $K$ ). Ainsi, par retour inverse de la lumière  $r = i$ .

**Q9.** En utilisant les résultats de la question question 7, nous avons :  $\sin(r) = \frac{\sin(i)}{n_{\text{eau}}}$ . Ainsi,  $r = \arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n_{\text{eau}}}\right)$ . En substituant cette expression dans l'équation de  $D$ , nous obtenons :

$$D(i) = 4 \arcsin\left(\frac{\sin(i)}{n_{\text{eau}}}\right) - 2i$$

**Q10.** La fonction peut être rédigée ainsi :

```
import numpy as np

def deviation(i, n_eau):
    r = np.arcsin(np.sin(i) / n_eau)
    D = 4 * r - 2 * i
    return D
```

**Q11.** Il est possible d'utiliser plusieurs approches : usage de `np.array` (si la fonction de la question 10 est vectorisée selon `i`), l'usage de compréhension de liste, ou l'usage de boucle... Nous proposons ici les trois approches.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

N = 100
n = 1.33
# Avec array
i_values = np.linspace(0, np.pi/2, N)
i_values = np.arange(0, N) * np.pi / 2 / (N-1) # Autre possibilité
D_values = deviation(i_values, n)

# Avec des compréhension de liste
i_values = [i * np.pi / 2 / (N-1) for i in range(N)]
D_values = [deviation(i, n) for i in i_values]

# Avec boucle for
i_values = []
D_values = []
for k in range(N):
    i = k * np.pi / 2 / (N-1)
    D = deviation(i, n)
    i_values.append(i)
    D_values.append(D)

plt.plot(i_values, D_values)
plt.xlabel("i (rad)")
plt.ylabel("D (rad)")
plt.show()
```

**Q12.** L'étude du signe de la dérivée d'une fonction permet de déterminer ses variations. Soit  $f$  une fonction dérivable sur un intervalle  $I$ . Si  $f'(x) > 0$  pour tout  $x \in I$ , alors la fonction  $f$  est strictement croissante sur  $I$ . Si  $f'(x) < 0$  pour tout  $x \in I$ , alors la fonction  $f$  est strictement décroissante sur  $I$ . Si  $f'(x) = 0$  en un point et que le signe de  $f'(x)$  change en ce point, alors  $f$  admet un extremum (maximum ou minimum).

**Q13.** Pour obtenir l'extrémum de  $D$ , nous cherchons  $i_m \in [0, \pi/2[$  tel que  $D'(i_m) = 0$ . Nous résolvons l'équation :

$$\frac{4 \cos(i_m)}{\sqrt{n_{\text{eau}}^2 - \sin^2(i_m)}} - 2 = 0$$

En réarrangeant :

$$4 \cos(i_m) = 2\sqrt{n_{\text{eau}}^2 - \sin^2(i_m)}$$

En divisant par 2 des deux côtés pour obtenir

$$2 \cos(i_m) = \sqrt{n_{\text{eau}}^2 - \sin^2(i_m)}$$

En élevant au carré des deux côtés, on obtient

$$4 \cos^2(i_m) = n_{\text{eau}}^2 - \sin^2(i_m)$$

En utilisant l'identité trigonométrique  $\sin^2(\theta) + \cos^2(\theta) = 1$  (pour  $\theta \in \mathbb{R}$ ), afin de remplacer  $\sin^2(i_m)$  par  $1 - \cos^2(i_m)$  dans l'équation précédente, ce qui donne :

$$4 \cos^2(i_m) = n_{\text{eau}}^2 - (1 - \cos^2(i_m))$$

Nous pouvons alors soustraire par un  $\cos^2(i_m)$  des deux côtés pour obtenir :

$$3 \cos^2(i_m) = n_{\text{eau}}^2 - 1$$

Enfin, en divisant par 3 et en prenant la racine carrée, on obtient :

$$\cos(i_m) = \sqrt{\frac{n_{\text{eau}}^2 - 1}{3}}$$

En prenant l'arc cosinus des deux côtés, on obtient finalement :

$$i_m = \arccos\left(\sqrt{\frac{n_{\text{eau}}^2 - 1}{3}}\right)$$

**Q14.** Nous pouvons expliquer la concentration des rayon indiquée sur la **Figure 3b** de la manière suivante : pour des angles d'incidence  $i$  proches de  $i_m$ , l'angle de déviation  $D$  varie très peu. Cela s'observe sur la **Figure 3a** où la pente de la courbe  $D = f(i)$  est très faible autour de  $i_m$ . Ainsi, une large gamme d'angles d'incidence proches de  $i_m$  conduit à des angles de déviation  $D$  très similaires, ce qui entraîne une accumulation de rayons émergents autour de l'angle  $D_m$ .

**Q15.** Il y a deux principales manières de répondre à cette question :

En raisonnant sur les rayons émergents (l'arc-en-ciel en sortie de la goutte) : la **Figure 4b**, nous indique que  $D_m(\lambda_1) < D_m(\lambda_2)$ , ainsi les dans rayons sortant de la goutte, le rayon violet aura un angle de déviation plus aigu que le rayon rouge. Ainsi, cela permet de conclure directement que la **Figure 5b** est correcte.

Nous pouvons également raisonner sur la dispersion des rayons dans la goutte (sous-figures zoomées) : la **Figure 4a** nous indique que  $n(\lambda_1) > n(\lambda_2)$ . Par ailleurs, sur les **Figure 5a** et **Figure 5b**, une différence importante est la déviation des rayons violets ( $\lambda_1$ ) et rouges ( $\lambda_2$ ) (après la première réfraction). Nous considérons un angle d'indice  $i$  fixe, avec la relation de Snell-Descartes, nous avons :  $\sin(i) = n(\lambda) \sin(r)$ . Ainsi, en nommant  $r_{\lambda_1}$  et  $r_{\lambda_2}$  les angles de réfraction associés aux longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  respectivement. Nous avons :

$$\sin(r_{\lambda_1}) = \frac{\sin(i)}{n(\lambda_1)} < \sin(r_{\lambda_2}) = \frac{\sin(i)}{n(\lambda_2)}$$

L'inégalité change de sens car la fonction inverse est décroissante sur  $\mathbb{R}^{+*}$ . Comme la fonction sinus est croissante sur  $[0, \pi/2]$ , nous en déduisons que  $r_{\lambda_1} < r_{\lambda_2}$ . Ainsi, le rayon réfracté violet se rapproche plus de la normale au dioptre que le rayon rouge. C'est donc la **Figure 5b** qui est correcte.

**Q16.** La formation d'un arc est due au fait que les gouttes sont sphériques, ainsi les conditions sur les angles d'incidence sont aussi remplies pour des gouttes d'eau situées dans un plan différent de celui représenté en **Figure 6a**. Géométriquement, l'ensemble des directions faisant un angle constant ( $42^\circ$ ) avec l'axe (Soleil-Observateur) forme un cône. L'intersection de ce cône avec le "rideau" de pluie (ou le ciel) apparaît comme un cercle (ou un arc de cercle si le sol cache la partie inférieure).

**Q17.** L'angle avec lequel le sommet de l'arc-en-ciel sera vu à 19h15 sera de  $\overline{D_m} - \theta = 30^\circ$ . Ainsi la hauteur  $h$  peut être estimée par la relation trigonométrique :

$$h = d \tan(\overline{D_m} - \theta) = 1 \text{ km} \times \tan(30^\circ) \approx 577 \text{ m}$$

**Q18.** Entre 19h15 et le coucher du soleil, l'élévation du soleil diminue, ce qui augmente l'angle avec lequel le sommet de l'arc-en-ciel est vu par la caméra (car l'angle d'élévation  $\theta$  diminue). Ainsi, la hauteur  $h$  du sommet de l'arc-en-ciel augmente entre 19h15 et le coucher du soleil.

**Q19.** L'angle de champ de vue vertical  $\alpha$  peut être calculé en utilisant la relation trigonométrique :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{a/2}{f'}$$

En utilisant l'approximation des petits angles, nous avons :

$$\frac{\alpha}{2} \approx \frac{a/2}{f'}$$

Donc :

$$\alpha \approx \frac{a}{f'} = \frac{15 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} = 0.5 \text{ radians} \approx 30^\circ$$

La valeur de  $30^\circ$  est obtenue en convertissant les radians en degrés via les données de l'annexe.

**Q20.** Pour capter l'arc-en-ciel en entier, l'angle de champ de vue vertical de la caméra doit être au moins égal à l'angle entre l'horizon et le sommet de l'arc-en-ciel. Cet angle est donné par  $\overline{D_m} - \theta < \alpha$ .

De plus, si le soleil est trop haut (élévation  $\theta$  trop grande), l'arc-en-ciel ne sera pas visible. En effet, pour que l'arc-en-ciel soit visible, l'élévation du soleil doit être inférieure à  $\overline{D_m} = 42^\circ$ . Ainsi, nous avons deux conditions à respecter :  $\theta < \overline{D_m} = 42^\circ$  (pour que l'arc-en-ciel soit visible) et  $\theta > \overline{D_m} - \alpha = 12^\circ$  (pour que l'arc-en-ciel soit capté en entier).

En termes de plages horaires, cela donne approximativement : 8h30-12h et 15h30-19h15.

**Q21.** Le poids d'une image est :

$$3 \text{ octets} \times 2000 \times 1000 = 6\,000\,000 \text{ d'octets} \approx 6 \text{ Mo}$$

Ainsi, entre 18h15 et 19h15, il y a 60 minutes, le nombre total d'images est :

$$N = 60 \text{ min} \times 60 \text{ sec/min} \times 1 \text{ images / sec} = 3600 \text{ images}$$

Ainsi le poids de toutes ces images sera :  $6 \text{ Mo} \times 3600 = 21\,600 \text{ Mo} \approx 22 \text{ Go}$