

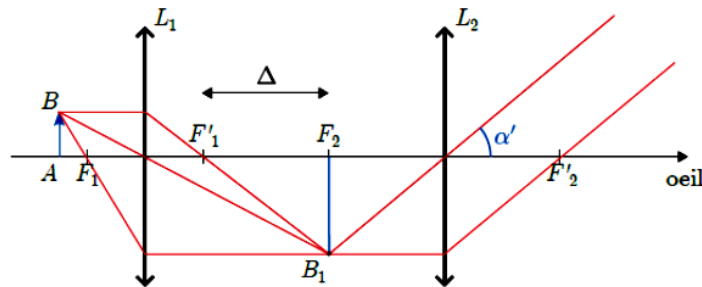
# Problème 1 : Des oiseaux haut en couleur

## 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  $A_1 = F_2$ .

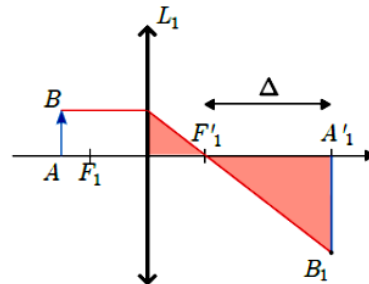
**Q2.** Schéma optique des rayons lumineux :



**Q3.** Grandissement transversal de l'objectif :

$$\gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'_1A_1}}{\overline{F'_1O}} = \frac{\overline{F'_1F'_2}}{-\overline{OF'_1}}$$

$$\gamma_1 = -\frac{\Delta}{f'_1}$$

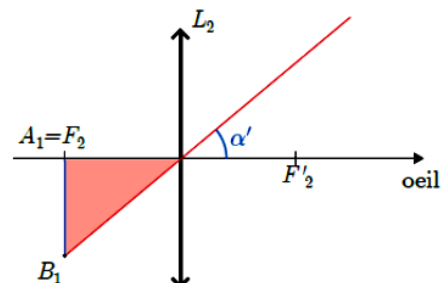


**Q4.** Diamètre angulaire d'observation

$\tan(\alpha') \simeq \alpha'$  dans les conditions de Gauss

$$\alpha' = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{O_2A_1}} = \frac{\gamma_1 \times \overline{AB}}{\overline{O_2F_2}} = \frac{-\Delta \times h}{f'_1 \times (-f'_2)}$$

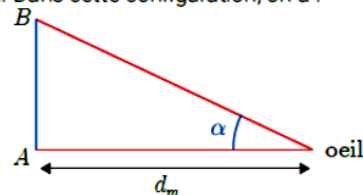
$$\alpha' = \frac{h\Delta}{f'_1 f'_2}$$



**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 peut 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 :

$$G_c \triangleq \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{h\Delta}{f'_1 f'_2} \times \frac{d_m}{h} = \frac{d_m \Delta}{f'_1 f'_2} \quad (1)$$

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 :  $\alpha_m = G_c \times \varepsilon = 167' = 2,8^\circ$ .

**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 :  $\alpha \simeq \frac{30 \mu\text{m}}{25 \text{ cm}} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 0,4'$ . 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 :

$$\langle P \rangle = \alpha \omega^4$$

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

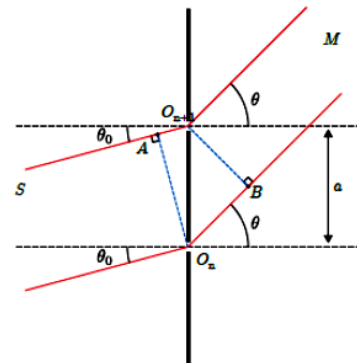
**Q13.** Les documents nous précisent que « chaque microlamelle se comporte comme un petit miroir réfléchissant la lumière ». La structure constitue donc un réseau par réflexion.

**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 interfèrent toutes constructivement si :  $\delta(M) = k \times \lambda_0$  avec  $\lambda_0$  la longueur d'onde et  $k$  un entier relatif.

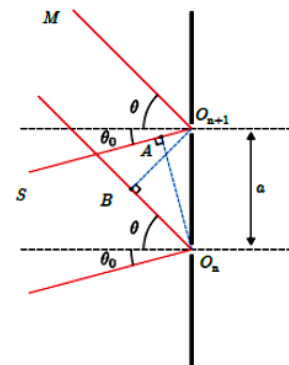
**Q16.** Dans le cas d'un réseau par réflexion, le calcul est modifié par un signe  $\oplus$  dans le calcul de la différence de marche, conformément à ce schéma.

On a alors

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

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

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



**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  $\theta = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$  ; la couleur correspondant à des interférences constructives pour  $k = 1$

est telle que :

$$\sin(90^\circ) = 1 = \frac{\lambda_0}{a}$$

On trouve  $\lambda_0 = a = 560 \text{ nm}$ , qui correspond à du vert.

- Pour l'observateur B placé à  $\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$  ; la couleur correspondant à des interférences constructives pour  $k = 1$  est telle que :

$$\sin(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\lambda_0}{a}$$

On trouve  $\lambda_0 = 396 \text{ nm}$ , qui correspond à du violet.

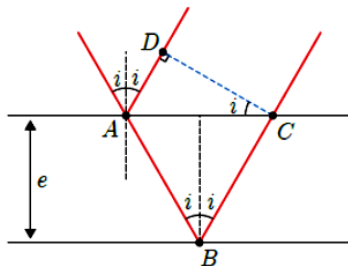
On doit ici faire le lien avec la photo 4 de l'énoncé. Ce n'est pas forcément très explicite car les canards photographiés ne sont pas dans le même sens que sur le schéma de la figure 7, et que l'on ne connaît pas la direction d'éclairage.

En supposant que les canards sont éclairés parallèlement à l'image, depuis la droite, on voit que le canard au centre qui fait face à la droite serait alors observé à  $90^\circ$  et que son plumage de tête est bien vert. En revanche, le canard à droite de l'image qui fait face aux trois quarts à la photographique, correspondrait alors à une observation à  $45^\circ$ , et que son plumage de tête est bien violet sous cet angle.

### 1.3 Le colibri aux milles couleurs

**Q18.** Le calcul de différence de marche est celui de l'interféromètre de Michelson en configuration lame d'air. Il peut se faire de deux façons :

Avec le théorème de Malus en différents points :



Dans le triangle  $ABC$  composé de deux triangles rectangles identiques :

$$AB = BC = \frac{e}{\cos(i)}$$

$$AC = 2e \tan(i)$$

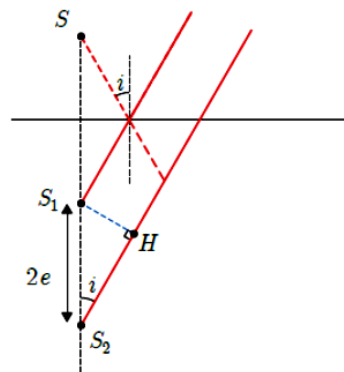
Dans le triangle  $ACD$  rectangle en  $D$

$$AD = AC \sin(i) = 2e \tan(i) \sin(i)$$

Pour la différence de marche :

$$\begin{aligned} \delta &= (SM)_2 - (SM)_1 \\ &= AB + BC - AD \\ &= \frac{2e}{\cos(i)} - 2e \tan(i) \sin(i) \\ &= \frac{2e}{\cos(i)} - \frac{2e \sin(i)^2}{\cos(i)} \\ \delta &= 2e \cos(i) \end{aligned}$$

Avec des sources secondaires  $S_1$  et  $S_2$  séparées d'une distance  $2e$  suite aux réflexions sur les différentes faces de la lame.



$$\delta = (S_2M) - (S_1M)$$

$$\delta = 2e \cos(i)$$

avec le théorème de Malus.

**Q19.** Par mesure sur la photo 7, on estime l'épaisseur d'une microlamelle à  $3 \text{ nm}$  sur le dessin, soit avec un grossissement de  $\times 6000$ ,  $e \simeq 500 \text{ nm}$ .

**Q20.** Résolution de problème.

- Angle dont doit tourner la tête du colibri pour passer du rouge ( $\lambda \sim 700 \text{ nm}$ ) au bleu ( $\lambda \sim 475 \text{ nm}$ ), tous deux correspondant alors à des interférences constructives. Pour l'ordre d'interférence  $p = 1$  :

$$\text{Rouge : } \delta(i_r) = \lambda_{\text{rouge}} = 2e \cos(i_r) \implies i_r \simeq 45^\circ$$

$$\text{Bleu : } \delta(i_b) = \lambda_{\text{bleu}} = 2e \cos(i_b) \implies i_b \simeq 60^\circ$$

On cherche donc le temps nécessaire pour faire une rotation d'environ  $15^\circ$

- Énergie dépensée par le colibri pour la rotation de sa tête (de quel angle ?) : un cent millièmes de son énergie journalière, qui est d'une dizaine de kilocalories.

$$E_{\text{rot}} = \frac{10 \text{ kcal}}{10^5} \simeq 0,418 \text{ J}$$

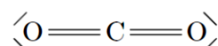
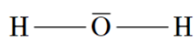
- Couple résultant exercé sur sa tête pour la rotation :  $\Gamma \sim 10^{-5} \text{ N.m}$ .

**Remarque :** À ce stade, le correcteur n'a pas pu déterminer quelle était la réponse attendue. Il lui semble manquer une donnée pour ne pas « tourner en rond ».

## Partie II : Machine à eau pétillante

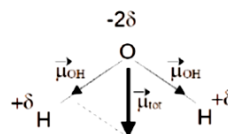
### 1) Étude des molécules d'eau et de dioxyde de carbone

19. formules de Lewis:



20. Les doublets d'électrons se repoussent. Ils se répartissent autour de l'atome en s'éloignant au maximum les uns des autres. Pour la molécule d'eau, il y a 4 doublets à répartir autour de l'oxygène central. Ils vont se placer en formant un tétraèdre, la molécule est donc coudée. Par contre pour la molécule de dioxyde de carbone, il n'y a que deux doublets à répartir autour du C central. Ils vont se placer à  $180^\circ$  l'un de l'autre, la molécule est linéaire.

21. L'oxygène étant plus électronégatif que l'hydrogène, la liaison O-H est polarisée. Son moment dipolaire est dirigée de O vers H. La molécule étant coudée, il en résulte un moment dipolaire total non nul pour la molécule d'eau. La molécule d'eau est dite polaire.



22. Plus les forces intermoléculaires sont grandes plus la température de changement de phase liquide-gaz sera élevée car il faudra rompre ces liaisons lors du passage à l'état gazeux. L'eau étant polaire va posséder des forces intermoléculaires plus énergétiques que le  $\text{CO}_2$  qui est apolaire, **la température de vaporisation de l'eau sera donc plus élevée que celle du  $\text{CO}_2$  à pression égale.**

### 2) Équilibre chimique de gazéification de l'eau

23. D'après la loi de Hess:  $\Delta_r H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{CO}_{2(aq)}) - \Delta_f H^\circ(\text{CO}_{2(g)}) = -20,3 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . Cette valeur est négative, la réaction est **exothermique**.

24. D'après la loi de modération de van't Hoff, une augmentation de température à pression constante déplacera l'équilibre dans le sens endothermique c'est à dire le **sens indirect** ici. L'augmentation de température n'est donc pas favorable à la dissolution du  $\text{CO}_2$ .

25. On observe que plus la température augmente plus la solubilité du dioxyde de carbone diminue cela signifie que l'équilibre (1) est de moins en moins avancé lorsque la température augmente. Ce résultat est conforme avec celui de la question précédente: plus la température augmente moins l'équilibre (1) est avancé dans le sens direct.

26. 
$$Q_r = \frac{a(\text{CO}_{2(aq)})}{a(\text{CO}_{2(g)})} = \frac{[\text{CO}_{2(aq)}]p^\circ}{C^\circ p_{\text{CO}_2}}$$

27. Lorsque  $p_{CO_2}$  augmente à température constante,  $Q_r$  diminue. Comme  $T$  est constante, la constante d'équilibre  $K^\circ$  n'a pas changé et  $Q_r$  devient inférieur à  $K^\circ$ . L'équilibre va donc évoluer dans le sens direct.

28. 
$$\mu_{CO_2,g} = \mu_{CO_2,g}^\circ + RT \ln \frac{p_{CO_2}}{p^\circ}$$

29. 
$$\mu_{CO_2,aq} = \mu_{CO_2,aq}^\circ + RT \ln \frac{[CO_2]}{c^\circ}$$

30. À l'équilibre:  $\mu_{CO_2,g} = \mu_{CO_2,aq}$ . Ce qui donne en utilisant les expressions des questions précédentes:

$$\mu_{CO_2,g}^\circ - \mu_{CO_2,aq}^\circ = RT \left( \ln \frac{[CO_2]}{c^\circ} - \ln \frac{p_{CO_2}}{p^\circ} \right)$$

$$\frac{[CO_2]}{c^\circ} \frac{p^\circ}{p_{CO_2}} = e^{\frac{\mu_{CO_2,g}^\circ - \mu_{CO_2,aq}^\circ}{RT}}$$

$$[CO_2] = \frac{c^\circ}{p^\circ} e^{\frac{\mu_{CO_2,g}^\circ - \mu_{CO_2,aq}^\circ}{RT}} p_{CO_2}$$

On a donc bien  $[CO_2] = k p_{CO_2}$  avec  $k = \frac{c^\circ}{p^\circ} e^{\frac{\mu_{CO_2,g}^\circ - \mu_{CO_2,aq}^\circ}{RT}}$ .

31. 
$$[CO_{2(aq)}] = k p_{CO_2} = 0,025 \times 4,0 = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$$
.

32. 
$$m_{CO_2} = M_{CO_2} [CO_2] V = (12 + 2 \times 16) \times 0,1 \times 1,0 = 4,4 \text{ g}$$

### 3) pH de l'eau gazéifiée

33.  $K_2^\circ = \frac{[HCO_3^-][H_3O^+]}{[CO_2]}$ .  $K_2^\circ \ll 1$ , la réaction (2) est très peu avancée, on a donc

$$[CO_2] = [CO_{2,dissous}] = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$$

On a aussi  $[HCO_3^-] = [H_3O^+]$  étant donnés les coefficients stœchiométriques. Il reste donc

$$K_2^\circ = \frac{[H_3O^+]^2}{[CO_{2,dissous}]}$$

d'où  $[H_3O^+] = \sqrt{K_2^\circ [CO_{2,dissous}]} = \sqrt{10^{-6,4} \times 0,1} = 10^{-3,7} \text{ mol.L}^{-1}$ . Le pH de la solution

vaut donc:  $pH = -\log[H_3O^+] = -\frac{1}{2} \log(K_2^\circ [CO_2]) = 3,7$ .

### 4) Thé glacé pétillant

34. On suppose que le système {thé + glaçons} est isolé. En appliquant le premier principe à ce système, on écrit:

$$\Delta H = \Delta H_{\text{thé}} + \Delta H_{\text{glaçons}} = Q_P = 0$$

Or le thé passe de la température  $T_i = 20^\circ\text{C}$  à la température  $T_f = 10^\circ\text{C}$  donc

$$\Delta H_{\text{thé}} = \rho V c_{liq} (T_f - T_i)$$



La masse  $m_g$  de glaçons passe de la température  $T_g = -15^\circ\text{C}$  à la température de changement de phase  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  puis, ils fondent et enfin l'eau formée passe de la température  $T_0$  à la température  $T_f$ . D'où on peut écrire:

$$\Delta H_{\text{glaçons}} = m_g c_g (T_0 - T_g) + m_g L_{fus} + m_g c_{liq} (T_f - T_0)$$

On a donc:

$$\rho V c_{liq} (T_f - T_t) + m_g c_g (T_0 - T_g) + m_g L_{fus} + m_g c_{liq} (T_f - T_0) = 0$$

$$m_g = \frac{\rho V c_{liq} (T_t - T_f)}{c_g (T_0 - T_g) + L_{fus} + c_{liq} (T_f - T_0)}$$

$$m_g = \frac{1,0 \times 1,0 \times 4,0 \times 10^3 \times (20 - 10)}{2,0 \times 10^3 \times (0 + 15) + 3,3 \times 10^5 + 4,0 \times 10^3 \times (10 - 0)} = \boxed{100 \text{ g}}$$

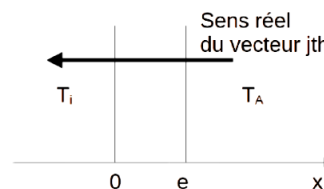
Grâce à la quantité de chaleur importante mise en jeu lors d'un changement de phase, il suffit d'une masse 10 fois plus faible de glace que celle du liquide à refroidir.

## Partie III Plaque à induction

9.  $\Phi = \iint_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = \iint_{(S)} B_0 \cos(\omega t) \vec{u}_z \cdot dS \vec{u}_z$  d'où  $\Phi = B_0 \cos(\omega t) \pi r_2^2$ .
10. Loi de Faraday:  $e = -\frac{d\Phi}{dt}$  d'où  $e = B_0 \pi r_2^2 \sin(\omega t)$ .
11. Le circuit équivalent à (S) comporte la fém  $e$  en série avec une résistance  $R$  (l'inductance propre étant négligée) d'où  $e = Ri$  soit  $i(t) = \frac{B_0 \pi r_2^2 \omega}{R} \sin(\omega t)$ .
12. La puissance instantanée dissipée par effet Joule dans la spire vaut  $P(t) = Ri^2(t)$  soit:
 
$$P(t) = \frac{(B_0 \pi r_2^2 \omega)^2}{R} \sin^2(\omega t)$$
13. La puissance moyenne dissipée par effet Joule dans la spire vaut  $P_{moy} = \langle P(t) \rangle$ . Or, la moyenne temporelle de  $\sin^2(\omega t)$  vaut  $1/2$  d'où  $P_{moy} = \frac{(B_0 \pi r_2^2 \omega)^2}{2R}$ .
14. L'énergie thermique transmise au fond de la casserole par effet Joule sera transmise au contenu de la casserole par conduction thermique. De la convection peut la diffuser ensuite au sein du contenu s'il est liquide.
15. L'intérêt d'une plaque à induction est qu'on chauffe directement la casserole et non pas la plaque qui ensuite par conduction thermique chauffera la casserole. C'est donc plus rapide. Et il y a moins de perte, la plaque classique chauffera la casserole mais aussi l'air au voisinage de la plaque.
16. L'approximation des régimes quasi-stationnaires est valable tant que le temps de propagation de l'information est négligeable devant la période du signal soit lorsque la distance  $d$  sur laquelle l'information se propage vérifie:  $\frac{d}{c} \ll \frac{1}{f}$ . **Les distances  $r_1$ ,  $r_2$  et  $z_0$  doivent donc être très petites devant  $\frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{60 \cdot 10^3} = 5 \text{ km}$ .** L'approximation est largement valable pour les distances mises en jeu dans le cas d'une casserole sur une plaque à induction.
17. L'équation de la diffusion thermique est modifiée lorsque  $t$  est changé en  $-t$ , c'est à dire par renversement du temps, le phénomène de conduction thermique est irréversible.
18. Le paramètre  $D = \frac{\lambda}{\rho c}$  est homogène à une longueur au carré divisé par un temps. Le temps caractéristique de diffusion  $\tau$  sur une distance  $L$  vérifie:  $D = \frac{\lambda}{\rho c} = \frac{L^2}{\tau}$ . On obtient donc  $\tau = L^2 \frac{\rho c}{\lambda} = 2 \cdot 10^4 \text{ s} \simeq 5 \text{ h}$ .  
Ce temps est long, les phénomènes de conduction thermique sont lents.

## IV. Bouteille de vin

47.  $\vec{j}_{th} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \vec{e}_x$ . La température de l'air ambiant étant supérieure à celle de l'intérieur de la bouteille,  $\vec{j}_{th}$  est dans le sens de  $-\vec{e}_x$ .



48. Analogie électrique:
  - La température  $T$  est équivalent au potentiel électrique  $V$ .
  - la résistance thermique  $R_{th}$  est équivalente à la résistance électrique  $R$ .
  - Le flux thermique  $\Phi$  est équivalent à l'intensité du courant électrique  $I$ .

49. Par analogie à  $R = \frac{U}{I}$ , on peut écrire  $R_{th} = \frac{T_S - T_i}{\Phi}$ .

50.  $\Phi = \iint_{(S)} \vec{j}_{th} \cdot d\vec{S} = j_{th} S$

En régime stationnaire, l'équation de la diffusion thermique devient  $\frac{d^2 T}{dx^2} = 0$ , ce qui donne par intégration  $T(x) = Ax + B$  avec  $A$  et  $B$  des constantes. Or,  $T(x=0) = T_i$  et  $T(x=e) = T_s$ , on obtient donc  $T(x) = \frac{T_s - T_i}{e} x + T_i$ . le vecteur densité de flux thermique vaut donc  $\vec{j}_{th} = -\lambda \frac{T_s - T_i}{e} \vec{e}_x$ .

On en déduit l'expression du flux thermique  $\Phi = \frac{T_s - T_i}{e} S$ , puis de la résistance thermique  $R_{th} = \frac{T_s - T_i}{\Phi} = \frac{e}{\lambda S}$

51. Les résistances de chaque face latérale sont en parallèle car soumises à la même différence de température. Ces 4 résistances ont même valeur. La résistance thermique totale des faces latérales de

la bouteille vérifie donc:  $\frac{1}{R_1} = 4 \times \frac{1}{R}$  avec  $R$  résistance d'une face. On obtient donc:  $R_1 = \frac{R}{4} = \frac{e}{4\lambda L}$ .

Application numérique:  $R_1 = \frac{3,0 \cdot 10^{-3}}{4 \times 1,0 \times 20 \cdot 10^{-2} \times 7,5 \cdot 10^{-2}} = 0,05 \text{ K.W}^{-1}$

52.  $[h] = \frac{[\phi]}{[S][T]}$ , l'unité de  $h$  est donc  $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

53.  $R_2 = \frac{T_s - T_A}{\phi} = \frac{1}{hS}$  avec  $S$  la totalité de la surface latérale,  $S = 4lL$ . D'où on obtient  $R_2 = \frac{1}{4hlL}$ .

54. Les résistances  $R_1$  et  $R_2$  sont en série car parcourues par le même flux thermique.  $R_{tot} = R_1 + R_2 = \frac{e}{4\lambda lL} + \frac{1}{4hlL}$ .

Application numérique:  $R_{tot} = 0,05 + \frac{1}{4 \times 20 \cdot 10^{-2} \times 7,5 \cdot 10^{-2} \times 10} = 1,7 \text{ K.W}^{-1}$

La résistance conducto-convective est beaucoup plus élevée que la résistance de conduction. C'est elle qui limite les échanges thermiques.

55. On applique le premier principe au système {vin + bouteille} entre les instants  $t$  et  $t + dt$ :

$$dH = \delta Q_P = \phi dt$$

avec  $\phi$  le flux thermique reçue par la bouteille:  $\phi = hS(T_A - T(t)) > 0$  avec  $S = 4lL$ . Pour le système en phase condensée,  $dH = CdT$ .

$$CdT = hS(T_A - T(t))dt$$

$$\frac{dT}{dt} + \frac{hS}{C}T = \frac{hS}{C}T_A$$

On obtient bien l'équation différentielle demandée avec  $\tau = \frac{C}{AhL}$  et  $K = \frac{h4lL}{C}T_A = \frac{T_A}{\tau}$ .

56. On résout l'équation différentielle:  $T(t) = Ae^{-t/\tau} + K\tau$  avec  $A$  une constante.  
Or  $T(0) = T_i = A + K\tau$  d'où  $A = T_i - K\tau$  et  $T(t) = (T_i - K\tau)e^{-t/\tau} + K\tau$ .  
On cherche l'instant  $t_D$  pour lequel la température du vin vaut  $T_D$ :

$$T(t_D) = (T_i - K\tau)e^{-t_D/\tau} + K\tau = T_D$$

$$e^{-t_D/\tau} = \frac{T_D - K\tau}{T_i - K\tau}$$

$$-\frac{t_D}{\tau} = \ln\left(\frac{T_D - K\tau}{T_i - K\tau}\right)$$

$$t_D = \tau \ln\left(\frac{T_i - K\tau}{T_D - K\tau}\right)$$

Application numérique:  $t_D = 5,4 \cdot 10^3 \ln\left(\frac{8+273-295}{16+273-295}\right) = 5,4 \cdot 10^3 \ln \frac{7}{3} = 4320 \text{ s} \simeq 1 \text{ h } 10 \text{ min}$



Les parties I à III s'intéressaient au fonctionnement de trois appareils électroménagers : une plaque à induction, une machine à eau pétillante et un réfrigérateur.

La partie IV concernait l'étude d'une bouteille de vin.

Enfin, la partie V traitait de l'étude d'une expérience réalisée dans un four micro-ondes, sous forme de question ouverte.

Le sujet était de longueur raisonnable ce qui a permis à un certain nombre de candidats d'aborder l'ensemble des questions.

### **2/ REMARQUES GÉNÉRALES**

Les correcteurs ont corrigé quelques très bonnes copies, mais malheureusement trop rares.

Beaucoup de candidats ne font pas suffisamment d'efforts sur l'orthographe et la présentation des copies. Il est recommandé de soigner l'écriture et la présentation en soulignant ou en encadrant les résultats obtenus à la règle. Pour plus de clarté, il est conseillé de séparer visiblement les différentes questions entre elles en sautant par exemple une ou deux lignes.

Les candidats doivent répondre, autant que possible, aux questions dans l'ordre. En laissant des zones blanches pour les questions non traitées, cela permet de reprendre les questions non traitées initialement sans tout mélanger.

Il est rappelé qu'une partie de la note attribuée prend en compte la rigueur, l'honnêteté scientifique, l'orthographe et la présentation. Cette partie est loin d'être négligeable.

En physique-chimie, il ne s'agit pas que d'utiliser une formule : il faut aussi justifier, rédiger et commenter.

Lorsque les résultats d'une question sont donnés, cela permet aux candidats de vérifier un résultat ou bien de fournir un point d'entrée supplémentaire dans l'exercice. Ces résultats ne sont pas donnés pour que les candidats essaient de tricher dans la démarche pour retrouver à tout prix le résultat attendu. Le manque d'honnêteté est du plus mauvais effet et dessert les candidats.

Certaines copies laissent perplexes lorsqu'on sait qu'elles font suite à au moins deux années de CPGE.

#### **Erreurs les plus fréquentes**

Au-delà des erreurs scientifiques, on lit souvent des réponses contenant un argument mais celles-ci restent évasives sans répondre réellement à la question posée. On se demande alors si le candidat, possédant un morceau seulement de la réponse, a vraiment compris ce qu'on lui demandait.

Les candidats doivent porter une attention particulière à ce que leur argumentation vienne clairement répondre à la question posée, sans laisser de doute au correcteur.

Remarques sur le sujet, le texte et sa compréhension

Le sujet était clair et explicite sur ce qui était demandé. Il ne présentait pas de difficulté particulière et les candidats ont généralement bien répondu aux questions posées.

Toutefois, de nombreuses copies ne répondent que partiellement aux énoncés (ex. Q3, Q17, Q25, Q27, Q35, Q39, Q48) et oublient des schémas demandés ou bien ne justifient pas les résultats bien que cela soit explicitement demandé.

#### **Problèmes ou difficultés rencontrés lors de la correction**

De trop nombreuses copies sont trop peu rédigées. Peu de candidats introduisent le système sur lequel ils appliquent les principes de la thermodynamique, les lois utilisées (loi de Faraday, loi d'Ohm par exemple) ne sont quasiment jamais énoncées et les raisonnements sont rarement développés, ce qui impose au correcteur de faire beaucoup d'effort pour identifier les étapes de raisonnement.

Dans de trop nombreux cas, les méthodes mobilisées par les candidats semblent sues, toutefois, leur application pâtit d'une maîtrise assez superficielle des outils de calcul ou des hypothèses sous-jacentes.

Les correcteurs le répètent tous les ans mais lorsque la question demande de « justifier », la réponse en elle-même doit absolument être complétée par une explication sous peine de ne pas récolter la totalité des points attribués.

Les questions de chimie offrent souvent la possibilité de gagner de nombreux points sans être trop difficiles, il ne faut donc surtout pas négliger ces parties de programme.

De nombreuses questions sont notées sur plusieurs points. Le candidat ne doit pas hésiter à écrire son raisonnement même lorsque celui-ci n'aboutit pas, des éléments de réponse intéressants peuvent être malgré tout valorisés.

### **3/ REMARQUES SPÉCIFIQUES CONCERNANT CERTAINES QUESTIONS**

Q14. Beaucoup de confusions entre conduction et convection. Certains candidats mentionnent même d'induction.

Q15. Question largement abordée (7 copies sur 10) mais ce qui est proposé a rarement un sens : la réponse la plus fréquente est de comparer les pertes par effet Joule alors que l'objet de ce qui précède est justement de montrer que l'induction fonctionne sur un chauffage par effet Joule.

Q16. Question très peu abordée et très peu réussie. Les hypothèses de l'ARQS sont peu connues.

Partie II - Machine à eau pétillante

Q19. Question très classique ; pourtant, certains candidats oublient les doublets non liants sur les atomes d'oxygène.

Q21. Le vecteur moment dipolaire est souvent correctement représenté. Le terme de « molécule polaire » n'est quasiment jamais donné.

Q23. Question généralement bien traitée mais des erreurs sur l'application numérique ou des confusions entre endothermique et exothermique.

Q24. Environ la moitié des candidats seulement donne une réponse utilisant correctement le signe de l'enthalpie standard de réaction.

Q27. L'influence de la pression sur le quotient de réaction est souvent correctement étudiée mais plusieurs candidats oublient de conclure sur le sens d'évolution de la réaction.

Q28. et Q29. Questions de cours très rarement abordées et rarement correctes.

Q33. Question largement abordée mais très peu de bonnes réponses. L'expression littérale de la constante thermodynamique est correcte mais les candidats ne savent pas l'exploiter pour déterminer le pH. Par ailleurs, l'expression  $\text{pH} = -\log([\text{CO}_2]/C^\circ)$ , trouvée dans de nombreuses copies est évidemment fausse, le dioxyde de carbone n'étant pas un acide fort.

Q34. La méthode globale est sue par une partie non négligeable des candidats mais le raisonnement est rarement correctement jusqu'à son terme. Bon nombre d'étudiants oublient que 100 cL d'eau correspond à 1,00 L d'eau.

Partie IV - Bouteille de vin

Q47. La loi de Fourier est souvent sue mais de nombreuses copies mélangent vecteurs et scalaires. Le sens du vecteur densité de flux thermique n'est pas toujours donné avec exactitude.

Q50. Le résultat étant donné, les correcteurs attendaient des candidats une démonstration rigoureuse en utilisant le caractère conservatif du flux thermique.

Q51. Question très peu réussie. La prise en compte des 4 faces donne lieu à beaucoup d'erreurs à cause d'une association erronée de résistances thermiques.

### **4/ CONCLUSION**

Le sujet abordait des parties variées du programme et a permis aux candidats ayant travaillé avec sérieux au cours des deux années de CPGE, de traiter l'ensemble du sujet.

Comme toujours, une maîtrise rigoureuse du cours est nécessaire pour réussir l'épreuve. Certains candidats font en plus preuve de justifications précises et pertinentes qui montrent une réelle compréhension des notions abordées.

Les copies ont été très hétérogènes : certaines sont excellentes et d'autres présentent un niveau très faible.

De nombreux candidats ont bien compris qu'ils pouvaient tout à fait répondre à des questions sans avoir traité les précédentes car de nombreuses parties sont indépendantes.

Les correcteurs invitent les candidats à prendre connaissance de ce rapport et à le prendre en compte pour les sessions à venir.