

MPSI

Devoir de Physique - Chimie n°2

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée

Ce sujet comporte 5 exercices totalement indépendants qui peuvent être traités dans l'ordre souhaité.

L'énoncé est constitué de 8 pages.

Consignes générales

Lire la totalité de l'énoncé et commencer par les exercices les plus abordables.

Présentation de la copie :

- Encadrer les expressions littérales et souligner les résultats numériques.
- Numérotter les pages sous la forme x/nombre total de pages.

Rédaction :

- Faire des schémas grands, beaux, complets, lisibles.
- Justifier toutes vos réponses.
- Les relations doivent être homogènes.
- Applications numériques : nombre de chiffres significatifs adapté et avec une unité.

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Tableau de suivi des compétences (donné ici à titre indicatif)

Compétences		Non maîtrisé	A améliorer	En bonne voie	Satisfaisant
Méthodes et compétences générales	Extraire de l'information pertinente de l'énoncé.				
	Connaissance du cours.				
	Mise en forme : rédaction, présentation, orthographe.				
	Notations correctes, complètes et fidèles à l'énoncé.				
	Rigueur du vocabulaire utilisé.				
	Enchaînement logique, justification.				
	Sens physique des grandeurs utilisées.				
	Lecture/compréhension des consignes.				
Calcul et présentation d'un résultat	Calcul littéral.				
	Calcul numérique.				
	Chiffres significatifs				
	Unités.				

Exercice 1 : Sonde de température

La température est après le temps, la deuxième grandeur physique la plus fréquemment mesurée. Le problème étudie différents dispositifs de mesure utilisant les variations de résistance d'une sonde de platine. Lorsque la température varie, la résistance R de la sonde varie et donc également la tension à ses bornes. La résistance R varie selon la loi :

$$R(T) = A.(1 + \alpha.T)$$

où α et A sont considérées comme des constantes dans le domaine de températures envisagé. La température T est exprimée en degrés Celsius.

On donne les valeurs suivantes pour A et α : $A = 100 \text{ USI}$ et $\alpha = 4.10^{-3} \text{ USI}$ où USI signifie, unité du système international.

Les parties 1 et 2 de cet exercice sont indépendantes.

1. Montage potentiométrique simple

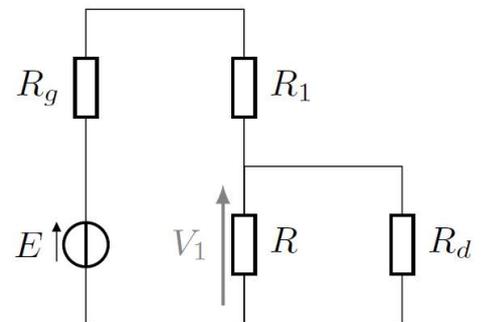
La sonde est insérée dans le circuit ci-contre. R_d est la résistance représentant le comportement d'un voltmètre branché aux bornes de la sonde.

$$E = 10,0 \text{ V et } R_1 + R_g = 700 \Omega$$

Q1. Exprimer V_1 en fonction de R_1 , R , R_g , R_d et E .

Q2. Comment doit-on choisir R_d pour que la tension V_1 mesurée ne dépende pas du voltmètre ?

Q3. Montrer alors que $V_1 = R \cdot \frac{E}{R_1 + R_g + R}$.



On suppose cette condition vérifiée par la suite et on admet que cela signifie que le voltmètre se comporte comme un interrupteur ouvert.

Q4. On mesure $V_1 = 1,47 \text{ V}$, en déduire la valeur de R puis celle de T la température de la sonde.

Q5. Dessiner le circuit en prenant en compte la condition établie en question Q2.

Q6. Établir l'expression de la puissance reçue par la résistance R en fonction de E , R , R_1 et R_g .

Q7. En déduire une expression de la puissance reçue par R en fonction de la température de la sonde.

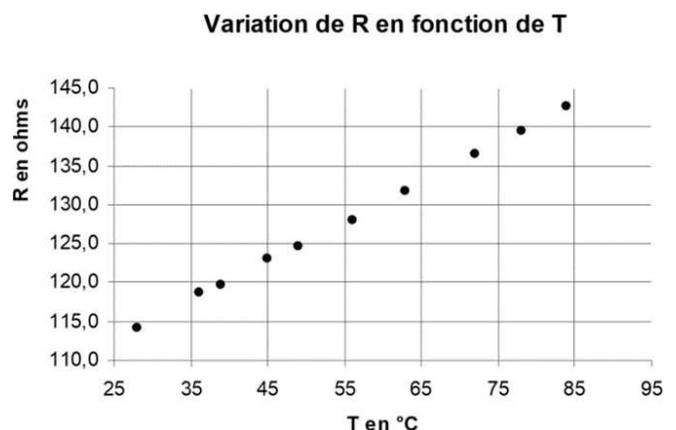
Q8. Pour quelle température cette puissance est alors maximale ?

2. Détermination des paramètres de la sonde

Q9. Préciser les unités de A et α .

Le graphe ci-contre donne l'évolution de R en fonction de sa température.

Q10. Déterminer les valeurs de A et α en vous appuyant sur le graphe donné ci-contre. Expliquer votre démarche.



Exercice 2 : Course au 6^{ème} étage

Aminata et Bérénice sont au rez-de-chaussée et désirent aller au 6^{ème} étage. Aminata prend l'ascenseur dont la loi de vitesse est donnée ci-dessous en figure 1. Bérénice utilise l'escalier hélicoïdal extérieur (ci-dessous également) : elle reste constamment à une distance $R = 0,5$ m de l'axe de symétrie vertical de l'escalier tout au long de l'ascension. Elle monte les escaliers à vitesse constante V_B . Il y a $N = 6$ tours d'escalier pour accéder au 6^{ème} étage.

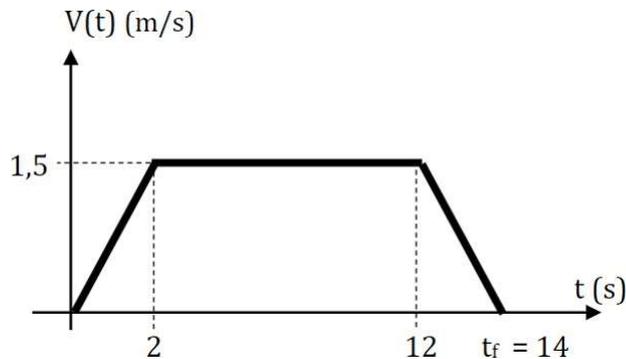


FIGURE 1 : *À gauche* : Profil de vitesse d'Aminata. *À droite* : Escalier hélicoïdal emprunté par Bérénice.

Elles partent toutes deux en même temps et arrivent en même temps.

Q11. Caractériser les différentes phases de mouvement d'Aminata.

Q12. Montrer à partir du graphique $V = f(t)$ que le 6^{ème} étage se situe à une hauteur $H = 18$ m.

Q13. Que vaut alors la vitesse moyenne V_A d'Aminata ?

Q14. Donner l'expression du vecteur vitesse \vec{v}_B de Bérénice dans le repère cylindrique d'axe commun à l'escalier et dont l'origine des altitudes est prise au pied de l'escalier. En déduire l'expression du vecteur accélération \vec{a}_B dans ce repère. Pourquoi ce repère est-il pertinent pour décrire le mouvement de Bérénice ?

Supposons que $\frac{dz}{dt}(t)$ et $\frac{d\theta}{dt}(t)$ sont des constantes, où $z(t)$ est l'altitude de Bérénice dans le repère cylindrique et θ l'angle de repérage de la position de Bérénice dans ce repère.

Q15. Montrer alors que l'accélération de Bérénice est radiale.

Q16. Quel est l'angle entre les vecteurs vitesse et accélération de Bérénice ? Est-ce cohérent dans l'hypothèse d'un mouvement uniforme ?

Q17. Déterminer enfin l'expression de la vitesse V_B de Bérénice en fonction de H , R , N et t_f . On pourra ici chercher à exprimer $\frac{dz}{dt}(t)$ et $\frac{d\theta}{dt}(t)$ en fonction des données.

Q18. Comparer numériquement les deux vitesses V_A et V_B . Le résultat obtenu est-il logique ?

Exercice 3 : Appareil photo

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice peuvent être traitées indépendamment.

1. Objet et image

On modélise un appareil photo (**figure 1**) par l'association d'une lentille mince (L) de focale $f' = \overline{OF'}$ appelée " objectif ", d'un capteur (C) sur lequel on souhaite récupérer l'image et d'un diaphragme (D) placé devant la lentille.

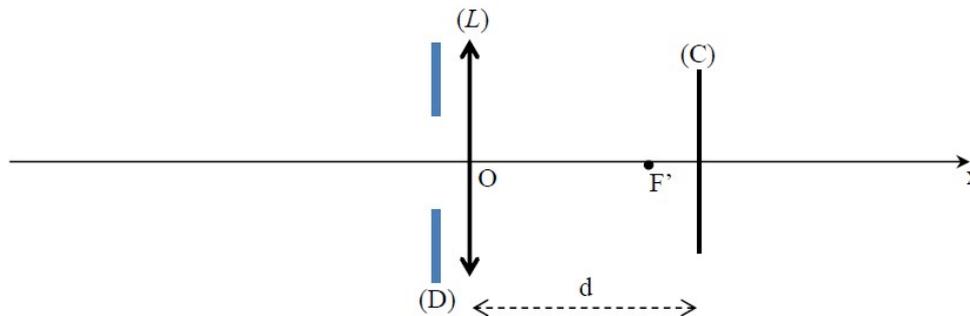


Figure 1 - Modélisation d'un appareil photo

La distance d entre la lentille (L) et le capteur (C) est réglable, grâce à un mécanisme lié à l'objectif ; elle est comprise entre d_{min} et d_{max} .

À l'aide de cet appareil, on souhaite former sur le capteur l'image d'un arbre de hauteur h situé à une distance L devant l'objectif.

Q19. a) La lentille mince est utilisée dans les " conditions de Gauss ". Préciser en quoi elles consistent.

b) Quelle partie de l'appareil permet d'assurer que ces conditions sont remplies ?

Q20. a) Faire un schéma soigné de la situation en notant AB l'objet et $A'B'$ son image sur le capteur (A est sur l'axe et AB appartient à un plan orthogonal à l'axe). Positionner les foyers principaux et tracer au moins deux rayons lumineux issus de B pour justifier la position de l'image $A'B'$.

b) Exprimer la taille $\overline{A'B'}$ de l'image de l'arbre sur le capteur en fonction de h , f' et L . Calculer cette taille avec $f' = 50$ mm, $h = 5$ m et $L = 20$ m.

Rappel : l'objet AB et l'image $A'B'$ donnée par la lentille mince de centre O et de foyers principaux F (objet) et F' (image) dans les conditions de Gauss sont liés par les relations :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} \quad ; \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad ; \quad \overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -(\overline{OF'})^2 \quad ; \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$$

Q21. a) Quelle est la valeur de d lorsque l'objet est à l'infini ?

b) Montrer qu'il existe une distance limite notée L_{min} en dessous de laquelle il ne sera pas possible d'obtenir une image sur le capteur, alors que ce serait toujours possible pour des valeurs supérieures à L_{min} .

c) Exprimer L_{min} en fonction de f' et d_{max} .

d) Calculer L_{min} pour $f' = 50$ mm et $d_{max} = 55$ mm.

2. Influence de la focale

On souhaite obtenir une image de l'arbre sur le capteur plus grande sans changer de place (donc en gardant la même valeur pour L). On change donc l'objectif et on le remplace par un objectif de focale $f_1' = 100$ mm. La distance d est toujours réglable mais les valeurs d_{min} et d_{max} sont différentes des valeurs de **Q21**.

Q22. a) Quelle sera la taille de l'image de l'arbre sur le capteur ?

b) Si on suppose que le capteur a pour dimensions : 24 mm x 36 mm, sera-t-il possible de voir l'arbre en entier sur la photo obtenue ?

Q23. L'objectif utilisé est appelé " téléobjectif " ou " objectif de longue focale ". Sur un site internet dédié à la photographie, on peut lire que ce genre d'objectif " rapproche les objets ". Commenter cette phrase en indiquant la part de vérité ou d'inexactitude qu'elle contient. Un raisonnement et un calcul numérique sont attendus (en utilisant une approximation justifiée).

On souhaite maintenant réaliser un téléobjectif en utilisant deux lentilles : une lentille (L_1) convergente et une lentille (L_2) divergente, séparées par une distance e . La distance L entre (L_1) et l'arbre n'a pas changé et vaut toujours 20 m.

La lentille (L_1), de focale f_1' , donne de l'arbre AB une image intermédiaire A_1B_1 qui joue le rôle d'objet pour la lentille (L_2), de focale f_2' , qui en donne une image finale A'B'.

Q24. a) Exprimer la distance $\overline{O_2A_1}$ en fonction de f_1' , e et L .

b) Justifier que cette distance se mette sous la forme : $\overline{O_2A_1} \approx f_1' - e$

Q25. On prend $f_1' = 10$ cm, $f_2' = -5$ cm et $e = 8$ cm.

a) Calculer la distance d entre (L_1) et le capteur (C),

b) Calculer la taille de l'image $\overline{A'B'}$ de l'arbre sur le capteur.

c) Indiquer si ce téléobjectif est équivalent à l'objectif de **Q22**.

3. Principe de fonctionnement d'un flash

En simplifiant de façon importante, un flash se compose d'une pile (f.e.m. de 9 V) qui charge un condensateur dont la capacité vaut $C = 200$ μ F. Quand celui-ci est chargé, une diode s'allume, indiquant que le flash est prêt à être utilisé. Lors du déclenchement de l'obturateur, le condensateur se décharge dans un tube contenant du xénon sous faible pression, ce qui provoque l'émission d'un éclair de courte durée.

Q26. L'énergie stockée dans le condensateur doit être de l'ordre de 10 J. En déduire la tension U_0 sous laquelle il faut le charger. Commenter cette valeur.

Q27. Le condensateur, initialement chargé et présentant une tension U_0 à ses bornes, se décharge dans le tube à xénon qu'on modélise par une résistance $R = 1$ Ω .

a) Faire un schéma du circuit électrique dans lequel s'insèrent le condensateur et le tube lors de la décharge. Établir l'équation différentielle que vérifie la tension $u(t)$ aux bornes du condensateur au cours de sa décharge.

b) En déduire l'expression de la tension $u(t)$. Tracer l'allure de la courbe $u(t)$.

c) Établir l'expression de la puissance $p(t)$ instantanée reçue par le tube au cours de sa décharge en fonction du temps.

d) Tracer l'allure de la courbe $p(t)$.

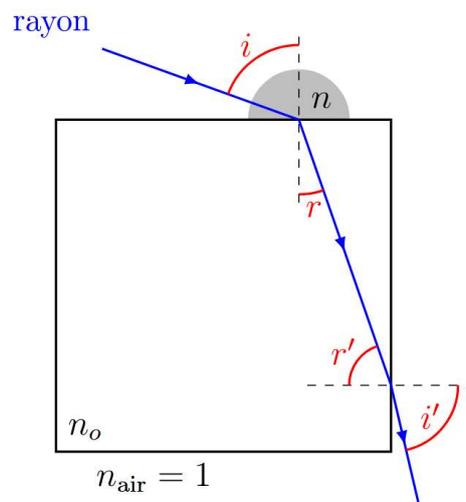
Q28. La durée de l'éclair produit par la décharge du condensateur est de l'ordre de $1/200$ s. Quelle fraction de l'énergie totale est reçue par le tube (modélisé par la résistance R) pendant cette durée ?

Exercice 4 : Réfractomètre de Pulfrich

Le réfractomètre de Pulfrich (voir figure ci-dessous) est un dispositif optique qui permet de mesurer l'indice de réfraction n d'un liquide.

Ce réfractomètre de précision fut conçu en 1888 par Carl Pulfrich, et distribué par Max Wolz à Bonn. Une évolution fut commercialisée en 1895, après que Pulfrich eut rejoint Carl Zeiss. Dans les années 1930, Zeiss en a sorti une version améliorée.

Il est composé d'un cube de verre, d'indice de réfraction n_0 connu, sur lequel on dépose une goutte (supposée hémisphérique) du liquide d'indice à déterminer. Lorsque de la lumière issue de la goutte liquide pénètre dans le bloc par la face horizontale, l'observation des rayons émergeant du cube (sous certaines conditions à étudier) permet d'accéder à l'indice n cherché.



Q29. Rappeler les lois de Snell-Descartes pour la réflexion et pour la réfraction. Les lois seront énoncées totalement et seront accompagnées d'un schéma complet.

Q30. Exprimer l'angle r en fonction de n , n_0 et i , et l'angle r' en fonction de n_0 et i' .

Q31. Quelle relation (simple) existe entre r et r' ?

Q32. Qu'est-ce que le phénomène de réflexion totale ?

Q33. Pourquoi peut-il se produire le phénomène de réflexion totale en sortie du bloc ?
Quelle condition sur les indices n_0 du cube et n de la goutte doit être vérifiée pour être certain que le rayon puisse entrer dans le cube ?

Q34. Déterminer l'angle r'_{lim} limite de réflexion totale en sortie du bloc.

Q35. Donner l'inégalité que doit vérifier r' , en fonction de n_0 , pour qu'un rayon puisse sortir du cube par la face de droite. En déduire l'inégalité que doit vérifier r , pour qu'un rayon puisse sortir du cube par la face de droite.

Q36. En déduire qu'un rayon peut sortir du cube à condition que $\sin(r) > \sqrt{1 - \frac{1}{n_0^2}}$

Q37. En déduire qu'un rayon peut sortir du réfractomètre (cube) à condition que l'angle d'incidence i soit supérieur à une valeur minimale i_m définie par

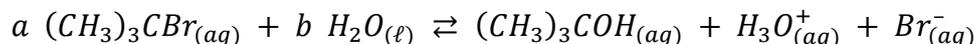
$$\sin(i_m) = \frac{1}{n} \sqrt{n_0^2 - 1}$$

Q38. Comment pourrait-on procéder expérimentalement pour mesurer l'indice n ?

Exercice 5 : Chimie

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice peuvent être traitées indépendamment.

On se propose d'étudier dans cet exercice la réaction d'hydrolyse du 2-bromo-2-méthylpropane qui conduit à la formation de 2-méthylpropan-2-ol, d'ion oxonium et d'ion bromure :



A l'instant initial, aucun des produits n'est présent dans le milieu réactionnel et la concentration de $(CH_3)_3CBr$ vaut $c_0 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$

Données :

Propriétés	2-bromo-2-méthylpropane	2-méthylpropan-2-ol
Formule brute	$(CH_3)_3CBr$	$(CH_3)_3COH$
Solubilité dans l'eau	Assez mauvaise	Très bonne
Température de fusion	-16,2 °C	25 °C

- Constante d'équilibre de la réaction : $K^0(T = 25^\circ C) = 2 \times 10^5$
- Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.
- Electronegativité (échelle de Pauling) : $\chi(H) = 2,2$; $\chi(C) = 2,6$; $\chi(O) = 3,4$; $\chi(Br) = 3,0$.
- Version simplifiée du tableau périodique :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr

1. Structure de la matière

- Q39.** Donner la structure électronique de l'atome d'oxygène et de l'atome de brome. Donner la représentation de Lewis de chacun de ces atomes.
- Q40.** A quelle famille appartient le brome ?
- Q41.** Donner la représentation de Lewis de l'ion oxonium H_3O^+ .
- Q42.** Donner la représentation de Lewis du 2-bromo-2-méthylpropane (l'atome centrale est un carbone qui n'est relié à aucun H) et du 2-méthylpropan-2-ol (l'atome centrale est également un carbone qui n'est relié à aucun H).
- Q43.** Le 2-bromo-2-méthylpropane est-il polaire ? Est-il protique ?
Mêmes questions pour le 2-méthylpropan-2-ol.
- Q44.** Expliquer la différence de solubilité entre ces deux entités chimiques.
- Q45.** A quel changement d'état correspond la fusion ? Expliquer la différence de température de fusion entre ces deux entités.

2. Equilibre

- Q46.** Déterminer la valeur des coefficients stœchiométriques a et b dans l'équation bilan de la réaction.
- Q47.** Déterminer le quotient initial de réaction $Q_{r,0}$.
- Q48.** En déduire le sens d'évolution de la réaction.
- Q49.** Pourquoi peut-on considérer que la réaction est totale ?
- Q50.** Démontrer cette dernière réponse en calculant l'avancement volumique final x_f (résolution de l'équation de degré 3 à la calculatrice) et en le comparant à l'avancement volumique maximal x_{max} .

3. Cinétique chimique

On travaille à 25°C. La réaction est supposée totale. Les résultats sont les suivants, en notant c la concentration de $(CH_3)_3CBr$:

t (heures)	0	2	4	8	12	20	30	40
c (mol/L)	0,100	0,090	0,080	0,065	0,052	0,033	0,019	0,011

- Q51.** Estimer, en justifiant, la valeur du temps de demi-réaction.
- Q52.** Avec quelle technique expérimentale peut-on suivre l'évolution de cette réaction ? Justifier.

On suppose que la loi de vitesse dans ce cas s'écrit sous la forme :

$$v = k. [(CH_3)_3CBr]^p$$

- Q53.** Pourquoi y a-t-il dégénérescence de l'ordre par rapport à l'eau ?
- Q54.** Dans l'hypothèse où $p = 1$, écrire l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle de la concentration $(CH_3)_3CBr$ et donner sa solution.
- Q55.** Dans l'hypothèse où $p = 2$, écrire l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle de la concentration $(CH_3)_3CBr$ et donner sa solution.
- Q56.** Quelle est l'hypothèse vérifiée ? En déduire la valeur de la constante de vitesse k .
- Q57.** Dans les mêmes conditions mais à 50°C, le temps de demi-réaction est de 56 minutes. Déterminer la relation entre k et $t_{1/2}$. Calculer alors k à cette température.
- Q58.** Rappeler la loi d'Arrhenius. En déduire l'énergie d'activation de la réaction.

Bonus : Profondeur d'un puits

A n'envisager que si toutes les autres questions ont été traitées.

Pour mesurer la profondeur d'un puits, on laisse tomber une pierre et on chronomètre la durée qui s'écoule jusqu'à ce que l'on entende le bruit de l'impact au fond. La durée mesurée est $\Delta t = 2,6$ s.

- Q59.** Calculer la profondeur h du puits. Présenter clairement la démarche et les hypothèses qui ont été faites.

Indication : bien réfléchir à la modélisation.