

DS n°3

de PHYSIQUE-CHIMIE

durée : 2h30

Consignes :

Calculatrice autorisée

- Rédiger votre devoir sur une **copie double**, avec une **marge en en-tête** et une **marge à gauche** de chaque page.
- Toute réponse non justifiée ne sera pas prise en compte.
- Encadrer vos **expressions littérales** (EL) ; souligner les **applications numériques** (AN) avec un stylo de couleur bien visible.
- N'écrivez **rien au crayon de papier** sur votre copie.
- Ne rendez pas l'énoncé (ou une partie de l'énoncé...) avec votre copie.

Conseils :

- Vérifier l'**homogénéité** de vos expressions littérales.
- Une AN sans unité ne vaut en général rien et dégrade l'humeur du correcteur...
- Limiter l'usage du brouillon.

1^{ère} Problème : Étude du dispositif ATH (≈ 1h10)

Le dispositif d’Affichage Tête Haute (ATH) est principalement utilisé dans les avions de chasse et certaines voitures. Il consiste à projeter des informations (valeur de la vitesse instantanée, indication sur la route à suivre...), devant le pare-brise d’un véhicule, dans le bas du champ de vision du conducteur, le conducteur ayant l’illusion que ces dernières se trouvent à l’extérieur du véhicule.



Vue du tableau de bord d'un véhicule muni de l'affichage tête haute

La première partie de ce problème montre l'intérêt de ce dispositif d'affichage du point de vue de la sécurité et la deuxième partie en étudie le principe simplifié. **Ces deux parties sont indépendantes.**

I.A) Intérêt du dispositif ATH

On étudie, au préalable, la lecture de la vitesse affichée au compteur par un conducteur dans un véhicule qui n'est pas équipé du dispositif d'affichage ATH.

Q1 : Rappeler la modélisation optique simple d'un œil humain.

Q2 : Rappeler le principe de l'accommodation pour un œil.

Le conducteur, qui possède un œil emmétrope, voit net un objet AB situé à l'infini.

Q3 : Que signifie la notion d'œil emmétrope ?

Q4 : Tracer sur un schéma l'image A'B', par la lentille du modèle de l'œil, d'un objet AB situé à l'infini, le point A se situant sur l'axe optique, mais pas le point B. Justifier l'intégralité de la construction.

Q5 : Rappeler la relation de conjugaison pour une lentille mince sphérique en précisant la signification de chaque terme.

Pour contrôler sa vitesse, le conducteur regarde maintenant le compteur de vitesse situé à environ un mètre de son œil.

Q6 : La vergence de la lentille qui modélise l'œil doit-elle augmenter ou diminuer par rapport à sa valeur au repos pour voir nettement le compteur de vitesse ? Justifier.

Q7 : Proposer différents intérêts pour l'affichage tête haute.

I.B) Principe de l'affichage tête haute

L'ensemble du dispositif optique installé dans le tableau de bord est constitué :

- d'une source lumineuse à diodes affichant la valeur de la vitesse, considérée dans l'exercice comme l'objet lumineux AB;
- d'une lentille mince sphérique convergente de distance focale f' .

Q8 : Sur l'annexe (à rendre complétée avec la copie), construire l'image A_1B_1 par la lentille du dispositif optique de l'objet AB en traçant notamment la marche de trois rayons issus de B.

Q9 : D'après le schéma, préciser si A_1B_1 est une image réelle ou virtuelle.

Q10 : Retrouver cette caractéristique de l'image à partir de la relation de conjugaison.

Q11 : Définir le grandissement γ de la lentille du dispositif optique étudié. Préciser et commenter le signe de sa valeur algébrique. Préciser et commenter la valeur relative de $|\gamma|$ par rapport à 1.

I.B.2) Réflexion sur le pare-brise

L'image A_1B_1 de la partie précédente est ensuite réfléchi par le pare-brise. Pour simplifier le problème, on peut considérer que le pare-brise se comporte pour A_1B_1 comme un miroir plan, incliné de 45° par rapport à la verticale Oz (cf. annexe).

Q12 : Préciser le rôle joué par A_1B_1 pour le miroir plan : objet/image ? réel(le)/virtuel(le) ?

Q13 : Compléter le schéma sur l'annexe afin de déterminer l'image A'B' de A_1B_1 par le miroir. Détailler la démarche suivie.

Q14 : A'B' est-elle une image réelle ou virtuelle ? Justifier.

Q15 : Retrouver **par le calcul** la position où l'objet AB (repéré par rapport au point O) doit être placé afin que l'image A'B' soit située à 1,00 m derrière le pare-brise.

Données : $f' = 20$ cm et $OP = 40$ cm.

Q16 : Proposer une solution pour que les indications de l'affichage tête haute soient plus grandes.

2^{ème} Problème : Photo souvenir (≈ 20 min)

Lors de l'une des dernières figures d'une montagne russe, un appareil photographique numérique judicieusement placé prend des photos de chacune des voitures du train et de leurs passagers alors que le train est à grande vitesse. Les visiteurs peuvent ainsi acheter une photographie-souvenir de leur expérience.



Figure 1 – Un exemple de photo souvenir prise au cours du trajet

L'objectif de l'appareil utilisé sera modélisé par une simple lentille mince convergente, de distance focale $f' = 5,00$ cm.

Il est situé à $D = 3$ m du sujet à photographier au moment où la photographie est prise. Le capteur de l'appareil photographique, sur lequel se forme l'image, est une matrice rectangulaire de taille $L \times \ell$, avec $L = 36$ mm et $\ell = 24$ mm, constituée de pixels carrés de taille a . Le constructeur indique pour son capteur une résolution de 24 Mpixels (nombre total de pixels).

Pour décrire la situation, on se placera dans la configuration géométrique simplifiée suivante :

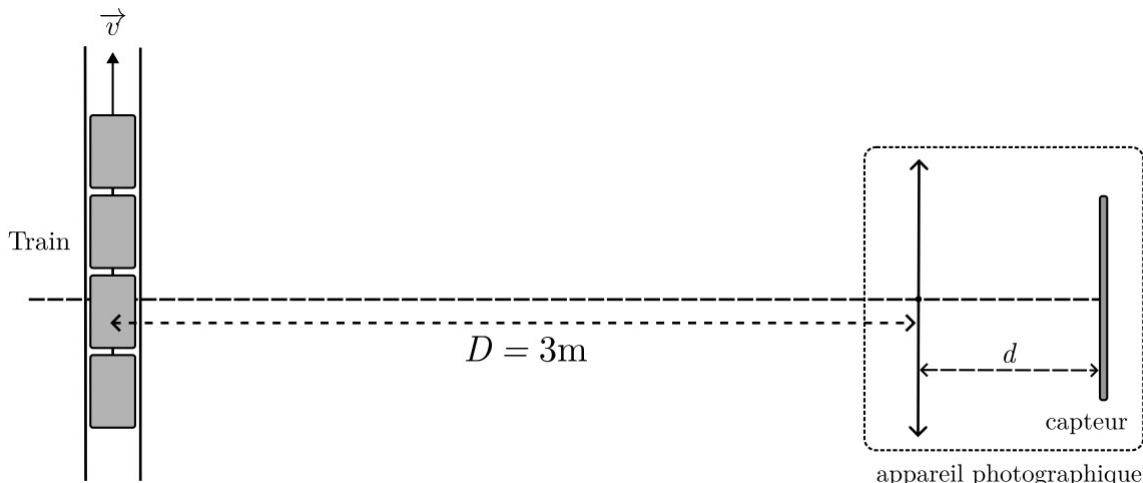


Figure 2 – Modèle simplifié de la prise d’une photographie

On notera en particulier que, même si le déplacement réel du train n’est pas orthogonal à l’axe optique de l’objectif, on fait ici cette hypothèse pour simplifier la description optique de la situation. Lors de la prise de la photographie, la vitesse de train est $v = 15 \text{ m.s}^{-1}$.

Q17 : Quelles sont les conditions optiques permettant un stigmatisme approché ? Énoncer ces conditions.

Q18 : Déterminer avec deux chiffres significatifs la valeur numérique de la distance d entre le capteur et la lentille de l’objectif.

Q19 : Déterminer la valeur numérique de a .

Q20 : Montrer que si la durée d’exposition t_{exp} du capteur pendant la prise de la photographie est trop longue, la photo sera floue. Calculer un ordre de grandeur de cette durée maximale d’exposition pour obtenir une photographie nette en fonction des paramètres pertinents, et proposer une application numérique.

3^{ème} Problème : Observation de Jupiter (≈ 1h)

On s’intéresse à quelques éléments du matériel d’un astronome amateur adepte de l’imagerie numérique et désirent photographier Jupiter lors d’une période favorable à son observation.

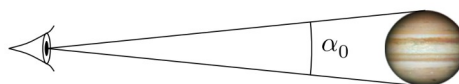


Figure 3

Pour un observateur terrestre, Jupiter est vue sous un angle α qui varie suivant la distance Terre-Jupiter. Les orbites de la Terre et de Jupiter sont assimilées à des cercles dans un même plan, ayant pour centre le Soleil, de rayons respectifs $R_T = 150.10^6 \text{ km}$ et $R_J = 780.10^6 \text{ km}$ et décrits dans le même sens. Jupiter est modélisée par une sphère de diamètre $d_J = 140.10^3 \text{ km}$.

Q21 : Calculer sous quel angle maximal α_0 on voit Jupiter depuis la Terre.

Q22 : Cette situation, la plus favorable à l’observation, porte le nom d’opposition de Jupiter. Proposer une explication pour ce nom.

On admet que chacune des orbites est décrite à vitesse constante (pas la même pour la Terre et Jupiter) et

que les périodes de révolution (temps pour décrire une orbite) T_T et T_J vérifient la troisième loi de Kepler : $T_T^2 = K R_T^3$ et $T_J^2 = K R_J^3$ où K est une constante (la même pour les deux planètes). On précise $T_T = 365,25$ jours.

Q23 : Calculer la valeur de T_J puis le temps qui s'écoule entre deux oppositions successives de Jupiter.

À cause des imperfections du modèle, la valeur de α_0 n'est pas exactement celle calculée dans **Q22**, mais plutôt $\alpha_0 = 55''$ (on rappelle que $3600'' = 1^\circ$). On adoptera cette valeur dans toute la suite du problème.

Q24 : Jupiter est-elle visible à l'œil nu depuis la Terre dans ces conditions ?

L'astronome amateur désire photographier la planète Jupiter vue depuis la Terre à l'opposition. Il utilise une lunette astronomique (voir Figure 4 à gauche) dont l'objectif est assimilé à une lentille mince convergente (L_1) de diamètre $d_1 = 235$ mm et de distance focale $f_1 = 2350$ mm, monté sur un tube (\mathcal{T}_1). Une caméra CCD est fixée sur un tube (\mathcal{T}_2) appelé « porte oculaire ». La mise au point est faite en faisant coulisser (\mathcal{T}_2). Dans toute la suite, on se placera dans le cadre de l'optique géométrique et dans les conditions de Gauss.

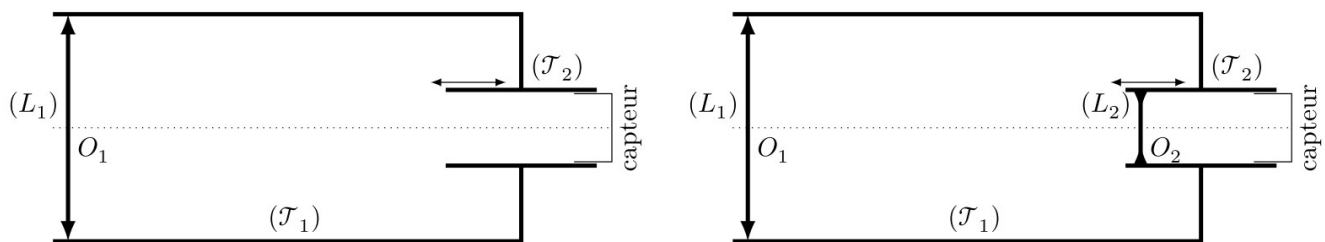


Figure 4

Le fabricant de la caméra donne les caractéristiques techniques suivantes pour le capteur : modèle ICX618, type CCD, noir et blanc, rectangulaire de diagonale $d_c = 4,48$ mm, surface $S = 9,63$ mm², comptant $N = 307200$ pixels de forme carrée.

Q25 : Calculer la largeur ℓ_c et la hauteur h_c du capteur, ainsi que la largeur ε_c d'un pixel.

Q26 : Expliquer pourquoi il est très raisonnable de considérer que Jupiter est située à l'infini, ce qu'on supposera pour toute la suite.

Q27 : À quelle distance de (L_1) faut-il placer le capteur pour y obtenir une image nette de Jupiter ? Quelle est alors la largeur, exprimée en nombre de pixels, de l'image de Jupiter sur le capteur ?

Pour estimer la précision avec laquelle on doit faire la mise au point, on suppose que l'ensemble $\{(\mathcal{T}_2)$ -capteur $\}$ se trouve à une distance ε_0 de la position assurant une image parfaitement nette.

Q28 : En raisonnant sur les rayons issus du point de Jupiter situé sur l'axe optique de (L_1), expliquer physiquement (faire un schéma) que l'image de ce point sur le capteur n'est plus ponctuelle et forme une tache de largeur ε_t .

On distinguera les deux sens possibles de décalage du porte oculaire.

Q29 : À quelle condition sur ε_t et ε_c cette non ponctualité ne se remarquera pas sur le capteur utilisé ? En déduire la valeur maximale autorisée pour ε_0 sans qu'il y ait d'incidence sur la netteté de l'image formée sur le capteur (tolérance sur la mise au point).

Pour obtenir une image plus grande de la planète, on intercale une lentille de Barlow, modélisée ici par une lentille mince (L_2) divergente, de distance focale f_2 , placée à la distance $D_{2c} = 200$ mm du capteur (Figure 4 à droite). La mise au point se fait en translatant l'ensemble $\{(L_2)$ -capteur $\}$, fixé sur le tube porte oculaire. On notera D_{12} la distance entre (L_1) et (L_2) et on admettra que F'_1 est situé entre (L_2) et le capteur.

Q30 : Comment faut-il choisir f_2 , et à quelle valeur doit-on régler D_{12} pour que le dispositif produise sur le capteur de la caméra une image de Jupiter trois fois plus large que précédemment ?

Q31 : Le dispositif de Barlow est alors qualifié de « tripleur de focale ». Proposer une justification.