

# Physique-chimie – DS 2

- **Calculatrices interdites.**
- Toute A.N. sans **unité** ne comptera aucun point, et dégradera l'humeur du correcteur.
- Vérifiez l'**homogénéité** de vos relations.

## I Un matériau pour la fabrication de miroirs de télescope : le carbure de silicium \_\_\_\_\_

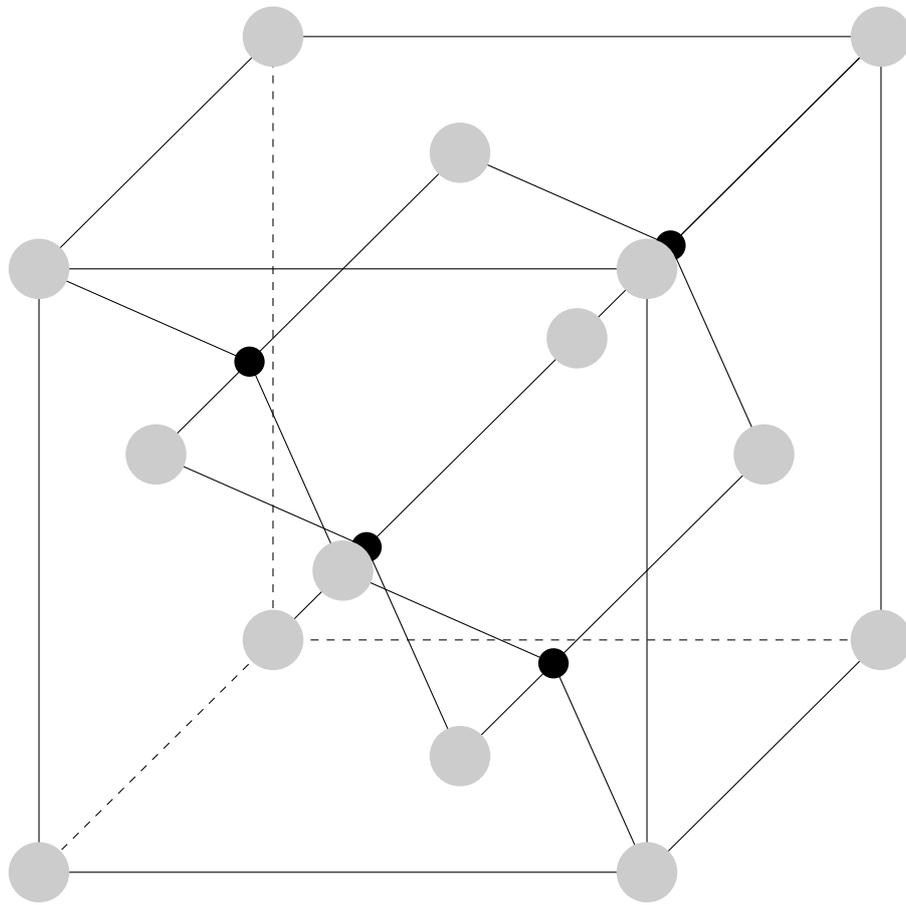
Le carbure de silicium, de formule SiC, a été découvert par Jöns Jacob BERZELIUS en 1824 lors d'une expérience pour synthétiser du diamant. Il est devenu un matériau incontournable pour la fabrication d'instruments optiques nécessitant une stabilité thermomécanique importante. En particulier la face optique des miroirs peut être revêtue de SiC par dépôt chimique en phase vapeur afin de masquer toute porosité résiduelle et obtenir une surface polissable parfaite.

Par exemple, le télescope spatial infrarouge Herschel, opérationnel entre 2009 et 2013, emportait un miroir primaire de 3,5 m de diamètre, le plus grand miroir de l'espace, constitué de 12 segments en carbure de silicium fritté, assemblés par brasage.

- 1 - Rappeler les règles permettant de déterminer la configuration électronique à l'état fondamental d'un atome.
- 2 - Le numéro atomique du carbone est  $Z_C = 6$ . Donner sa configuration électronique à l'état fondamental.
- 3 - Le silicium Si est situé juste en-dessous du carbone dans le tableau périodique. Quel est son numéro atomique ?
- 4 - Donner la composition de l'isotope 28 du silicium (nombre de protons, neutrons, électrons).
- 5 - Que peut-on dire des propriétés chimiques respectives du carbone et du silicium ?

Le carbure de silicium présente de très nombreuses structures cristallines. Celle utilisée dans la fabrication de miroirs est la phase  $\beta$  ou 3C-SiC. La figure ci-dessous représente la maille conventionnelle du  $\beta$ -SiC ainsi que son contenu ; les atomes de silicium, en gris, occupent les positions d'une structure cubique à faces centrées ; les atomes de carbone, en noir, occupent un site tétraédrique sur deux en alternance.

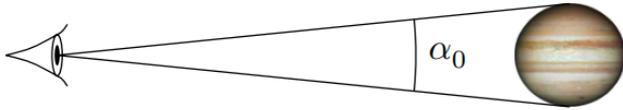
**Données :** masses molaires  $M_{\text{Si}} = 28,085 \text{ g/mol}$ ,  $M_{\text{C}} = 12,011 \text{ g/mol}$ , constante d'Avogadro :  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , masse volumique du  $\beta$ -SiC :  $\rho = 3,2 \text{ g/cm}^3$ .



- 6** - Dénombrer le nombre d'atomes de carbone et de silicium contenus en propre dans la maille et proposer une formule chimique pour ce matériau.
- 7** - Que vaut la coordinence des atomes de carbone par rapport aux atomes de silicium ?
- 8** - Exprimer la masse volumique de SiC en fonction entre autres des masses molaires du silicium et du carbone et du paramètre de maille  $a$ .  
En déduire l'expression de  $a$  en fonction de grandeurs connues.  
On admet que l'application numérique donne  $a = 436$  pm.
- 9** - Il y a contact entre carbone et silicium, le long des liaisons covalentes symbolisées par des traits sur la figure.  
Donner l'expression du rayon  $r_C$  d'un atome de carbone inséré dans un site tétraédrique en fonction du rayon  $r_{Si}$  d'un atome de silicium et du paramètre de maille  $a$ .
- 10** - L'étude du diamant permet, à partir de sa masse volumique, d'en déduire que  $r_C = 77$  pm (cf exercice de TD). En déduire la valeur du rayon d'un atome de silicium. On donne  $436 \times \sqrt{3}/4 \simeq 189$ .

## II Éléments optiques de la chaîne d'acquisition d'images

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



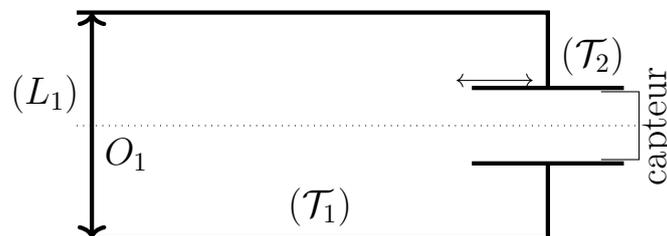
Pour un observateur terrestre, Jupiter est vue sous un angle  $\alpha$  qui varie suivant la distance Terre-Jupiter.

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  $R_T = 150 \times 10^6$  km et  $R_J = 780 \times 10^6$  km et décrits dans le même sens. Jupiter est modélisée par une sphère de diamètre  $d_J = 140\,000$  km.

- 11** - Calculer sous quel angle maximal  $\alpha_0$  on voit Jupiter depuis la Terre (on donnera le résultat avec un chiffre significatif).
- 12** - Cette situation, la plus favorable à l'observation, porte le nom d'opposition de Jupiter. Proposer une explication pour ce nom.

À cause des imperfections du modèle, la valeur de  $\alpha_0$  n'est pas exactement celle trouvée précédemment, mais  $\alpha_0 = 50''$  (note :  $1''$  est une seconde d'arc, et il y a 3600 secondes d'arc dans un degré :  $3600'' = 1^\circ$ ). On adoptera cette valeur dans toute la suite du problème.

L'astronome amateur désire photographier la planète Jupiter vue depuis la Terre à l'opposition. Il utilise une lunette astronomique (voir figure ci-dessous) dont l'objectif est assimilé à une lentille mince convergente  $L_1$  de diamètre  $d_1 = 360$  mm et de distance focale  $f'_1 = 3600$  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 (sauf question sur la diffraction), on se placera dans le cadre de l'optique géométrique et dans les conditions de Gauss.



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  $S_c = 9,63$  mm<sup>2</sup>, comptant  $N = 380\,000$  pixels de forme carrée. Si besoin on prendra  $\pi/180 \simeq 1,7 \times 10^{-2}$ .

- 13** - Donner l'expression de la largeur  $\varepsilon_c$  d'un pixel, en fonction des données du problème. On admet qu'on obtient  $\varepsilon_c = 5,0$   $\mu\text{m}$ .

- 14 - Expliquer pourquoi il est très raisonnable de considérer que Jupiter est située à l'infini, ce qu'on supposera pour toute la suite.
- 15 - 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 le capteur se trouve à une distance  $\varepsilon_0$  de la position assurant une image parfaitement nette.

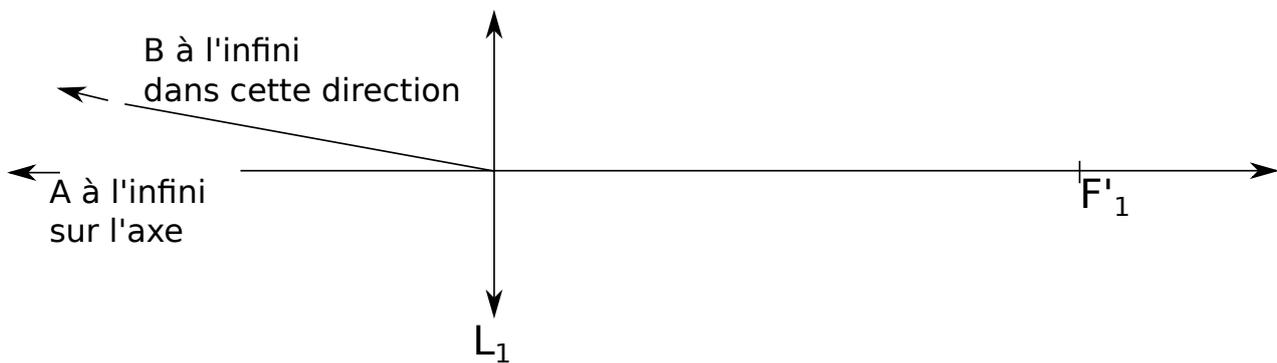
- 16 - En notant  $A$  le point de Jupiter situé à une certaine distance sur l'axe optique de  $L_1$ , et  $A'$  son image (qui donc n'est plus sur le capteur mais à une distance  $\varepsilon_0$  soit devant soit derrière), expliquer physiquement (faire un schéma) que l'image de ce point  $A$  sur le capteur n'est plus ponctuelle et forme une tache. On notera  $\varepsilon_t$  la largeur de cette tache.

On distinguera les deux sens possibles de décalage du capteur (donc deux schémas).

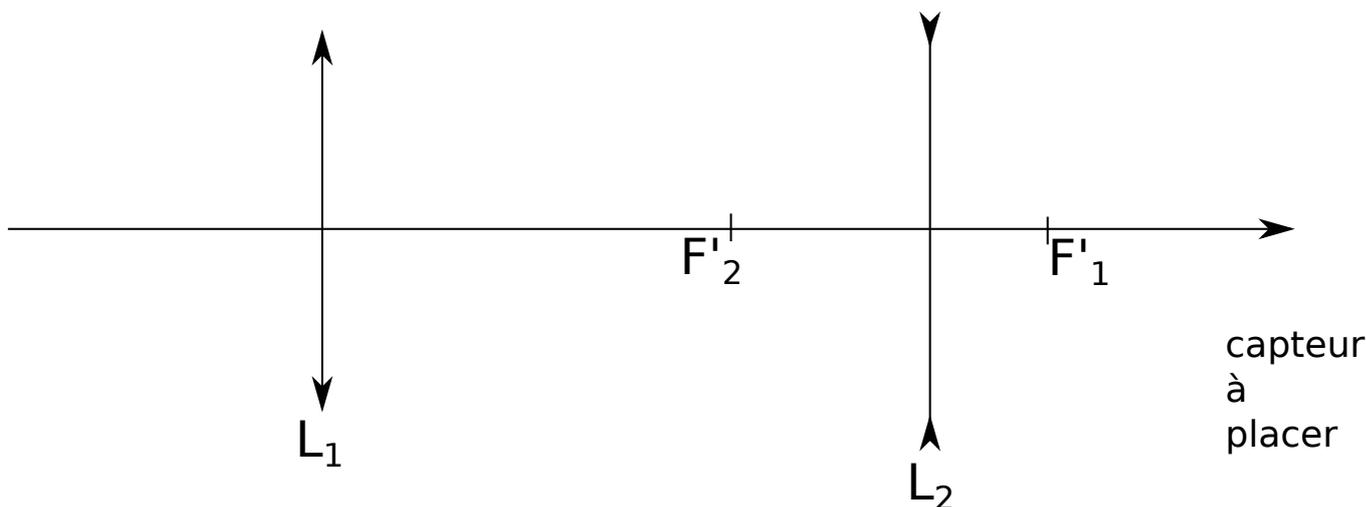
- 17 - À quelle condition sur  $\varepsilon_t$  et  $\varepsilon_c$  cette non ponctualité ne se remarquera pas sur le capteur utilisé? En déduire la valeur maximale autorisée pour  $\varepsilon_0$  sans qu'il y ait d'incidence sur la netteté de l'image formée sur le capteur (tolérance sur la mise au point).

On se place à nouveau dans le cas où l'image est exactement sur le capteur. 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  $f'_2$ .

- 18 - Compléter le schéma ci-dessous en faisant apparaître l'image  $A'B'$  de  $AB$  par la lentille 1.



- 19 - On ajoute ensuite la seconde lentille. Recopier  $A'B'$  (le même qu'à la question précédente) sur le schéma ci-dessous, puis tracer l'image de  $A'B'$  par la seconde lentille. On notera  $A''B''$  cette image. Elle doit être sur le capteur, dessinez donc le capteur là où se situe votre  $A''B''$ .



**20** - La mise au point se fait en tradatant l'ensemble ( $L_2$ -capteur), fixé sur le tube porte oculaire. Ainsi la distance  $D_2 = 210$  mm entre  $L_2$  et le capteur est fixée.

Trouver la valeur de  $\overline{O_2F'_1}$  pour que le dispositif produise sur le capteur de la caméra une image de Jupiter trois fois plus large que lorsqu'il n'y avait pas la lentille  $L_2$ .

On rappelle pour cela la formule du grandissement transversal pour une lentille mince, avec les notations habituelles :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

**21** - Trouver la valeur à prendre pour  $f'_2$ .

On rappelle pour cela la relation de conjugaison de Descartes pour une lentille mince, avec les notations habituelles :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

**22** - Le dispositif de Barlow est alors qualifié de tripleur de focale. Proposer une justification à ce terme.

**23** - Jusqu'à présent, on a négligé les effets de la diffraction, qui produit un étalement des images. En supposant que l'effet dominant est la diffraction à travers l'ouverture délimitant  $L_1$ , estimer (ordre de grandeur) la largeur  $\varepsilon_d$  sur le capteur de l'image d'un objet ponctuel situé à grande distance suivant l'axe optique, dans le cas de la lunette non munie de la lentille de Barlow.

On introduira une longueur d'onde et on en donnera un ordre de grandeur.

Commenter le résultat obtenu.