

**I. LE CARBURE DE SILICIUM****I.A Structure de la matière****I.A.1)**

Règles de remplissage :

- règle de Pauli : deux électrons ne peuvent avoir leurs quatre nombres quantiques identiques
- règle de Hund : les électrons se répartissent dans les cases quantiques avant de s'apparier
- règle de Klechkowski : Le remplissage s'effectue selon des valeurs croissantes de  $(n + \ell)$ , en cas d'égalité on remplit d'abord le plus petit  $n$ .

**I.A.2)**

Carbone :  $Z_C = 6 : 1s^2 2s^2 2p^2$

**I.A.3)**

Le silicium est juste en dessous du carbone donc sa configuration électronique finit en  $3p^2$  :

Sa configuration électronique est  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

donc son numéro atomique est  $Z_{Si} = 14$

**I.A.4)**

Les deux atomes ont le même nombre d'électrons de valence (4) : ils auront des propriétés chimiques similaires, le carbone étant plus électronégatif que le silicium.

**I.B Structure cristalline du  $\beta$ -SiC**

Dans la maille, il y a :

- 4 atomes de carbone
- $8 \times (1/8) + 6 \times (1/2) = 4$  atomes de silicium

Il y a donc autant d'atomes de carbone que de silicium dans la maille : on pourra prendre la formule SiC pour le carbure de silicium.

**I.C Formation de SiC par CVD****I.C.1)**

D'après la loi de Hess,  $\Delta_r H^\circ = 3 \Delta_f H^\circ(\text{HCl}) + \Delta_f H^\circ(\text{SiC}) - \Delta_f H^\circ(\text{CH}_3\text{SiCl}_3(\text{g})) = 179 \text{ kJ.mol}^{-1}$

**I.C.2)**

L'enthalpie de la réaction est positive : la réaction dans le sens direct est donc endothermique.

D'après la loi de Van't Hoff,  $d(\ln K^\circ)/dT = \Delta_r H^\circ/RT^2$ .

$\Delta_r H^\circ > 0$  donc  $K^\circ$  est une fonction croissante de la température.

*Fallait-il aussi dire que, la réaction étant endothermique, elle est favorisée par de hautes températures ??*

**I.C.3)**

En intégrant la loi de Van't Hoff ( $\Delta_r H^\circ$  est constante dans l'approximation d'Ellingham) :

$\ln(K_1^\circ/K_0^\circ) = (\Delta_r H^\circ/R) (1/T_0 - 1/T_1)$

$1/T_1 = 1/T_0 - (R/\Delta_r H^\circ) \ln(K_1^\circ/K_0^\circ)$  d'où  $T_1 = 862 \text{ K}$  (qui est bien supérieure à  $T_0$ , la constante étant plus grande).

**I.C.4)**

Quotient de réaction :  $Q_r = \frac{(P_{\text{HCl}}/P^\circ)^3}{(P_{\text{CH}_3\text{SiCl}_3}/P^\circ)} = \frac{P_{\text{HCl}}^3}{P_{\text{CH}_3\text{SiCl}_3} P^{\circ 2}}$

**I.C.5)**

Tableau d'avancement

	CH <sub>3</sub> SiCl <sub>3(g)</sub>	SiC <sub>(s)</sub>	HCl <sub>(g)</sub>	n <sub>tot gaz</sub>
E.I	n	0	0	n
E(t)	n(1-α)	nα	3nα	n(1+2α)

**I.C.6)**

$$A \text{ l'équilibre : } Q_{\text{req}} = K^\circ(T_1) = \frac{P_{\text{HCl eq}}^3}{P_{\text{CH}_3\text{SiCl}_3 \text{ eq}} P^{\circ 2}}$$

$$\text{Loi de Dalton : } P_i = x_i P_T = (n_i / n_{\text{tot gaz}}) P_{\text{tot}} \quad \text{et ici } P_{\text{tot}} = P^\circ$$

$$D'où \frac{27 \alpha_{\text{eq}}^3}{(1+2\alpha_{\text{eq}})^2 (1-\alpha_{\text{eq}})} = K^\circ(T_1) = 10. \quad \text{On en déduit } \alpha_{\text{eq}} = \mathbf{0,80} \text{ (calculatrice)}$$

**I.C.7)**Le degré d'avancement à l'équilibre est  $\xi_{\text{eq}} = n \alpha_{\text{eq}} = 0,80 \text{ mol}$ .

$$Q = \Delta H \text{ (réacteur isobare)} = \xi_{\text{eq}} \Delta_r H^\circ = \mathbf{143 \text{ kJ}}$$

**I.C.8)**

D'après la loi de modération de Le Chatelier, une augmentation isotherme de pression déplace l'équilibre dans le sens d'une diminution de moles gazeuses.

Le sens direct correspond à une augmentation de moles gazeuses ( $\sum_{\text{gaz}} \bar{v}_g = 3 - 1 = 2 > 0$ )Donc une augmentation isotherme de la pression déplace l'équilibre dans le sens indirect :  $\alpha_{\text{eq}}$  diminue.**I.C.9)**

Le temps de 1/2 réaction correspond au temps où le nombre de moles est divisé par 2 par rapport au nombre de moles initial.

n	0,10 mol	0,20 mol	0,30 mol
t <sub>1/2</sub>	21 min	21 min	21 min

Le temps de demi-réaction est indépendant du nombre de moles initiales : la cinétique est **d'ordre 1**.**I.C.10)**La cinétique est d'ordre 1 :  $v(t) = k [\text{MTS}](t)$ 

$$\text{la concentration en MTS à l'instant } t \text{ vérifie l'équation différentielle : } - \frac{d[\text{MTS}]}{dt} = k [\text{MTS}]$$

**I.C.11)**

$$\text{En intégrant entre } t = 0 \text{ et } t : \ln([\text{MTS}]/[\text{MTS}]_0) = -kt \text{ ou } [\text{MTS}](t) = [\text{MTS}]_0 e^{-kt}$$

**I.C.12)**Le temps de 3/4 de réaction s'obtient quand  $[\text{MTS}] = [\text{MTS}]_0/4$ 

$$D'où \mathbf{t_{3/4} = \ln 4 / k = 2 \ln 2 / k} \quad \text{indépendant de la quantité initiale de MTS}$$

**I.C.13)**De même on montre que  $t_{1/2} = \ln 2 / k$  donc  $t_{3/4}/t_{1/2} = 2$ Ceci est vérifié sur les courbes où on trouve que  $t_{3/4}$  est d'environ 40 – 42 min soit bien le double de  $t_{1/2}$ **I.C.14)**

La loi d'Arrhénius donne :

$$A \text{ T}_2 = 1200 \text{ K}, k(T_2) = A \exp(-E_a/RT_2)$$

$$A \text{ T}_3 = 1300 \text{ K}, k(T_3) = A \exp(-E_a/RT_3)$$

$$\text{Or } t_{1/2}(T_3) = \ln 2 / k(T_3) = t_{1/2}(T_2)/20 = \ln 2/20 k(T_2)$$

Donc  $k(T_3) = 20 k(T_2)$  d'où :

$$E_a = \ln(20) R / (1/T_1 - 1/T_2) = \mathbf{388 \text{ kJ.mol}^{-1}}$$

### I.C.15)

Une température élevée favorise la réaction dans le sens direct (réaction endothermique) ainsi que la cinétique de la réaction (voir étude précédente)

Une pression réduite favorise également la réaction (voir question I.C.8)

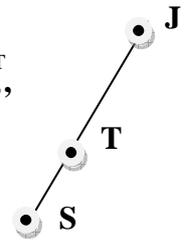
La température doit rester constante pour ne pas faire varier la composition finale et donc l'épaisseur de la couche mince.

## II. ELEMENTS OPTIQUES

### II.A.1)

a) L'angle maximal correspond à la distance Terre – Jupiter la plus petite soit  $d = R_J - R_T$  d'où, en faisant l'approximation des petits angles,  $\alpha_0 = d_J / (R_J - R_T) = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-4} \text{ rad} = 45''}$

b) Le Soleil et Jupiter sont en opposition par rapport à la Terre d'où le terme utilisé.



### II.A.2)

3<sup>ème</sup> loi de Kepler :  $T_J^2 = (T_T^2 / R_T^3) R_J^3$  d'où  $T_J = T_T (R_J/R_T)^{3/2} = \mathbf{4,33 \cdot 10^3 \text{ jours}}$

Soit  $\tau$  la durée entre deux oppositions consécutives :

- à  $t = 0$  on suppose que S, T et J sont alignés (dans cet ordre)
- à  $t = \tau$ , la Terre a fait un tour de plus que Jupiter (sa période est plus petite que celle de Jupiter)

$$\theta_{\text{Terre}} = \theta_{\text{Jupiter}} + 2\pi \quad \text{d'où} \quad \omega_{\text{Terre}} \tau - \omega_{\text{Jupiter}} \tau = 2\pi, \quad \tau/T_T - \tau/T_J = 1$$

Le temps le plus court entre deux oppositions est donc  $\tau = T_J T_T / (T_J - T_T)$  soit environ 400 jours.

### II.B.1)

On a  $S_c = h_c \cdot l_c$  et  $d_c^2 = h_c^2 + l_c^2$  d'où  $(l_c + h_c)^2 = d_c^2 + 2 S_c$  et  $(l_c - h_c)^2 = d_c^2 - 2 S_c$

Avec  $l_c > h_c$ ,  $l_c = \frac{1}{2} ( (d_c^2 + 2S)^{1/2} + (d_c^2 - 2S)^{1/2} ) = \mathbf{3,59 \text{ mm}}$

$$h_c = \frac{1}{2} ( (d_c^2 + 2S)^{1/2} - (d_c^2 - 2S)^{1/2} ) = \mathbf{2,69 \text{ mm}}$$

La surface  $\epsilon_c^2$  d'un capteur est  $S_c/N$  d'où  $\epsilon_c = \mathbf{5,6 \mu\text{m}}$ .

### II.B.2)

La distance Terre – Jupiter la plus petite est  $R_J - R_T = 630 \cdot 10^6 \text{ km} \gg f' = 2,3 \text{ m}$

On pourra bien considérer Jupiter à l'infini.

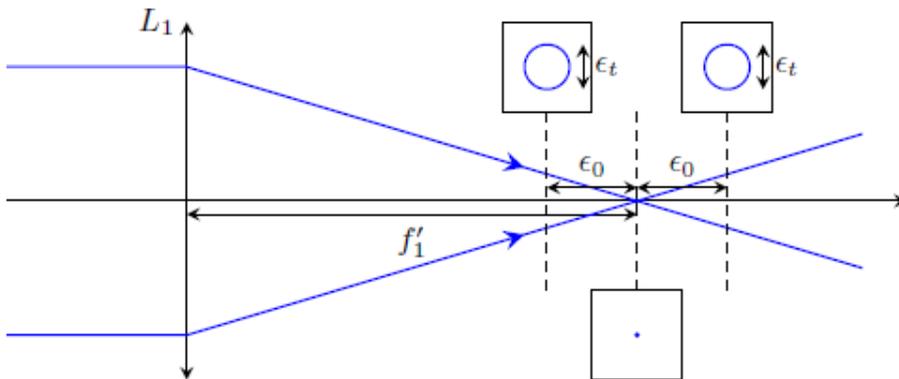
### II.B.3)

L'image d'un objet à l'infini se trouve dans le plan focal image de la lentille soit à la distance focale  $f'_1 = 2350 \text{ mm}$ .

L'angle sous lequel est vu le diamètre de Jupiter est  $\alpha_0 = 50'' = 2,42 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$  (même ordre de grandeur que A1)

L'image a une largeur  $L = \alpha_0 \cdot f'_1$  soit  $L/\epsilon_c = \mathbf{102 \text{ pixels}}$ .

### II.B.4)



Quel que soit le sens de décalage du porte oculaire, l'image d'un point est une tache de largeur  $\epsilon_t = \epsilon_0 d_1/f'_1$  (en admettant que les rayons passés par le bord de la lentille arrivent bien sur le capteur malgré le tube T2).

### II.B.5)

Cette non-punctualité ne se remarquera pas si  $\epsilon_t < \epsilon_c$

Donc si  $\epsilon_0 < \epsilon_c f'_1/d_1 = \epsilon_{0\max} = 56 \mu\text{m} = 10 \text{ pixels}$

### II.C.1)

On a :  $A_\infty \xrightarrow{L_1} F'_1 \xrightarrow{L_2} A_c$

Le grandissement latéral est positif car  $F'_1$  est situé entre  $O_2$  et  $A_c$  d'où

$O_2F'_1 = D_{2c}/3$  d'où  $D_{12} = f'_1 - O_2F'_1 = 2350 - 200/3 = 2283 \text{ mm}$

La relation de Descartes :

$1/D_{2c} - 1/O_2F'_1 = 1/f'_2 = 1/200 - 3/200 = -1/100$  d'où  $f'_2 = -100 \text{ mm}$  ( $f'_2$  négative, lentille dv)

### II.C.2)

Avec une lentille convergente de distance focale équivalente  $f'$ , l'image de Jupiter est de largeur  $L = \alpha_0 f'$  : L'image sera trois fois plus grande si la distance focale est trois fois plus grande d'où le terme de « tripleur de focale ». L'encombrement est moindre avec deux lentilles.

### II.D

La largeur angulaire de la tache centrale de diffraction pour une ouverture circulaire est égale à  $2\theta$  avec  $\sin \theta \approx \theta = 1,22 \lambda/d_1$  (coeff 1,22 non exigible ?) soit une largeur sur le capteur  $\epsilon_d = 2 \cdot 1,22 \lambda f'/d_1$

A.N. Pour  $\lambda$  moyen de 500 nm,  $\epsilon_d = 36,6 \mu\text{m}$  soit environ 7 pixels.

Comme la largeur de l'image est de 100 pixels, la diffraction affectera l'image.

### III DISPOSITIF ANTI -BUEE

#### III.A 1)

Loi de Fourier  $\vec{j} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T)$

Valable si les variations de températures ne sont pas trop importantes et que le milieu est isotrope.

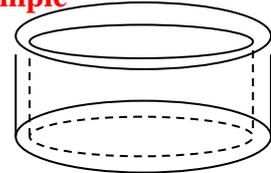
Dans la suite, avec T fonction de r le vecteur  $\vec{j}$  est radial.

j est une puissance par unité de surface

on obtient  $\lambda$  en  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$  (fallait-il revenir aux unités de base du SI ?  $\text{kg m}^3 \text{s}^{-3} \text{K}^{-1}$ )

#### III.A 2)

**Question difficile en TSI, le programme indique que seule l'étude de la propagation unidimensionnelle est au programme : cela signifie-t-il une seule dimension cartésienne ou une seule dimension (x ou r) ? L'énoncé aurait pu guider davantage les étudiants, avec un schéma par exemple**



- a) on considère une tranche cylindrique de hauteur e, comprise entre les cylindres de rayon r et r+dr.

Nous avons deux types d'échanges thermiques :

à travers les surfaces latérales :  $2\pi r e \cdot j(r,t) dt - 2\pi(r+dr) \cdot e \cdot j(r+dr, t) \cdot dt$

à travers les 2 surfaces en contact avec l'air :  $- 2 \cdot 2\pi r \cdot dr \cdot h(T(r) - T_0) dt$

(avec  $T(r) > T_0$  le flux de chaleur est du verre vers l'air d'où le signe -)

Premier principe  $dU = 2\pi r e \cdot j(r,t) dt - 2\pi(r+dr) \cdot e \cdot j(r+dr, t) \cdot dt - 2 \cdot 2\pi r \cdot dr \cdot h(T(r) - T_0) dt$

On se place en régime stationnaire donc  $dU = 0$ ,

d'où  $2 \cdot r \cdot h(T(r) - T_0) = - e \frac{d(rj)}{dr}$

On utilise ensuite la loi de Fourier  $j = -\lambda \frac{dT}{dr} = -\lambda \frac{d\theta}{dr}$  pour obtenir :  $\frac{\lambda e}{2hr} \frac{d}{dr} \left( r \frac{d\theta}{dr} \right) = \theta$

- b) par identification avec l'équation de l'énoncé :  $\delta^2 = \frac{\lambda e}{2h}$

c)  $\delta = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ , cela représente une distance caractéristique sur laquelle la température a fortement varié.

#### III.A 3)

Le rayon de la lentille est  $r_1 = d_1/2 = 117 \text{ mm}$

En  $r = 0$  on veut  $\theta > 0,5$  d'où  $B \cdot 1 > 0,5$

En  $r = r_1$  on veut  $\theta < 0,5$  d'où  $B \cdot 6,5 < 5$

On choisit  $B = 0,6$

#### III.B 1)

Puissance thermique reçue par la lentille sur sa surface latérale  $P_{th} = j(r_1) 2\pi r_1 e = \lambda \frac{d\theta}{dr} \Big|_{r=r_1} \cdot 2\pi r_1 e$

$P_{th} = \lambda B \frac{dJ}{dr} \Big|_{r=r_1} \cdot 2\pi r_1 e$

On calcule la pente  $\frac{dJ}{dr} \Big|_{r=r_1}$  sur le graphe :  $(6,5-1)/(0,117-0,08) \approx 150 \text{ K.m}^{-1}$

$P_{th} = 0,8 \text{ W}$

La résistance ne transmet que 10% de sa puissance chauffante à la lentille :  $P_{elec} = 8 \text{ W}$

#### III.B.2)

L'énergie totale que la batterie peut fournir est donc  $UIt = 240 \text{ W.h}$ .

Elle fonctionne pendant 15h donc la puissance du moteur est  $P_{moteur} = 240/15 = 16 \text{ W}$ .

Si elle doit fournir 24 W avec le dispositif de buée, elle ne fonctionnera donc que sur la durée :

$$t = U \cdot I / (P_{elec} + P_{moteur}) = 10 \text{ h.}$$

## IV. MODELISATION MECANIQUE

### IV.A

#### IV.A.1)

$$\overrightarrow{V_{A \in T}} = \omega a \overrightarrow{e_x}$$

#### IV.A.2)

Le poids de la molette et de la tige sont négligeables donc en appliquant le théorème du centre d'inertie à cet ensemble {T} :  $\vec{F} + \overrightarrow{R_{T_2 \rightarrow T}} = \vec{O}$

$$\text{Or } \vec{N}_A = -\overrightarrow{R_{T_2 \rightarrow T}} \text{ d'où } \vec{N}_A = \vec{F}$$

$$\text{Il y a glissement donc } T_A = f N_A \text{ et on peut écrire } \vec{T}_A = f F \overrightarrow{e_x}$$

#### IV.A.3)

Le bilan des actions mécaniques extérieures sur la tige T<sub>2</sub> est :

- Le poids
- L'action de la tige T :  $\vec{N}_A + \vec{T}_A$
- L'action des supports supposés sans frottement, normale à T<sub>2</sub> :  $\vec{R}$

En appliquant le théorème du centre d'inertie à T<sub>2</sub> en projection sur  $\overrightarrow{e_x}$  :  $M \frac{dV}{dt} = T_A$

1<sup>ère</sup> phase :  $V < \omega a$ , il y a glissement

$$M \frac{dV}{dt} = f F \quad \text{d'où } V = \frac{fFt}{M} \quad \text{ou } \vec{V} = \frac{fFt}{M} \overrightarrow{e_x} \quad (\text{avec } V=0 \text{ à } t=0)$$

Cette phase dure jusqu'à  $t = t_1$  tel que  $V = \omega a = V_1$  c.a.d.  $t_1 = \frac{M\omega a}{fF}$

2<sup>ème</sup> phase :  $V = \omega a$  alors  $T_A = 0$  (hypothèse du texte)

$$V = \text{cte} = V_1 = \omega a \quad \text{d'où } \vec{V}_1 = \omega a \overrightarrow{e_x}$$

#### IV.A.4)

La tige T<sub>2</sub> atteint la vitesse V<sub>0</sub> quand  $t = t_0 = \frac{MV_0}{fF}$

Quand la molette s'arrête, le sens de la force de frottement s'inverse et la vitesse décroît linéairement jusqu'à devenir nulle. Cette phase dure le même temps que précédemment :  $t_{\text{arrêt}} = 2 t_0$

Entre  $t = 0$  et  $t_0$ , la distance parcourue est  $d = \frac{1}{2} \frac{fF}{M} t_0^2 = \frac{1}{2} M V_0^2 / fF$

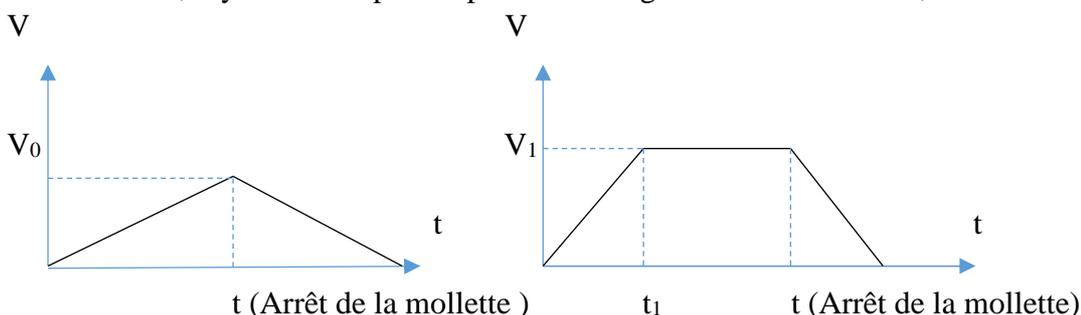
La distance parcourue entre  $t_0$  et l'arrêt est la même donc au total  $d_{\text{parcourue}} = M V_0^2 / fF$ .

#### IV.A.5)

Pour une force F donnée, la vitesse V<sub>0</sub> dépend de la distance à parcourir.

Si elle reste inférieure à V<sub>1</sub>, il n'y aura que les deux phases augmentation de vitesse puis freinage.

Si elle atteint V<sub>1</sub>, il y aura trois phases possibles : augmentation de vitesse, vitesse constante puis freinage.



Rôle de  $F$  :  $F$  élevé revient à augmenter le coefficient de frottement. Les temps de mise en mouvement et arrêt sont alors diminués

#### IV.A.6)

La tige  $T_2$  reste fixe si, inclinée d'un angle  $\alpha$ , elle ne glisse pas.

Le 29 Octobre 2011,  $\alpha$  est proche de  $58^\circ$  :

En projection sur l'axe de  $T_2$

$$Mg \sin \alpha = 10 \text{ N}$$

$$fF = 0,4 \text{ N}$$

La force de frottement n'est pas suffisante pour compenser le poids, il faudra donc un dispositif de blocage dédié.

