Devoir maison du chapitre : 4.1 Thermodynamique d'un système siège d'une réaction chimique (Partie 1)

Partie : 4 Transformation chimique de la matière

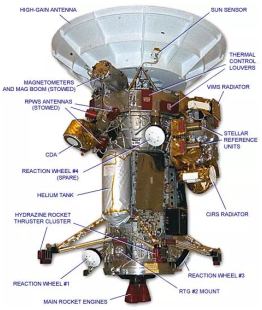
D'ici au 20 novembre 2026
Conseil : faites-le dans la semaine qui suit la fin du chapitre

1 Propulsion d'une sonde spatiale



Sonde Cassini sous les anneaux de Saturne

Dans le domaine de l'astronautique, la combustion destinée à fournir l'énergie nécessaire à la propulsion ne peut pas utiliser le dioxygène de l'air comme comburant.



https://www.youtube.com/watch?v=xrGAQCq9BMU

Les ergols sont les différentes substances embarquées. On parle de monergols lorsqu'un composé est employé seul et de propergol lorsque l'association d'ergols permet la réaction chimique.

Données :

— enthalpie standard de formation (à 298 K) : $\Delta_f H^0_{NH_{3(g)}} = -46,2$ kJ.mol^{-1}

— enthalpie standard de formation (à 298 K) : $\Delta_f H^0_{N_2H_{4(l)}} = 50,6$ kJ.mol^{-1}

— enthalpie standard de formation (à 298 K) : $\Delta_f H^0_{N_{2(g)}} = 0$ kJ.mol^{-1}

— masse volumique $\rho_{N_2H_4} = 1,0$ kg.L^{-1}

— masse molaire $M_{N_2H_4} = 32$ g.mol^{-1}

Décomposition de l'hydrazine

Aujourd'hui, l'hydrazine N_2H_4 est généralement utilisée seule comme monergol dans les moteurs à faible poussée (mais grande précision) permettant le positionnement sur orbite des satellites. La poussée est alors assurée par décomposition catalytique de l'hydrazine et non par combustion.

L'énergie chimique est fournie par les réactions de décomposition de l'hydrazine liquide en ammoniac et diazote gazeux :

$$3N_2H_{4(l)} \rightarrow 4NH_{3(g)} + N_{2(g)}$$

1. Déterminer l'enthalpie standard de la réaction de décomposition de l'hydrazine liquide en ammoniac et diazote gazeux.
   La réaction est-elle endothermique ou exothermique ?

On considère que la variation d'enthalpie ΔH due à la décomposition de l'hydrazine est intégralement utilisée pour la propulsion d'un satellite.

2. Déterminer l'enthalpie ΔH_0 libérée par la décomposition d'un volume V_0 d'hydrazine en fonction de $M_{N_2H_4}$, $\rho_{N_2H_4}$, V_0 et $\Delta_r H^0$. Effectuer l'application numérique pour $V_0 = 1$ L.
3. En déduire le volume d'hydrazine à embarquer pour assurer le positionnement (nécessitant une énergie $E = 24$ MJ) d'un satellite sur son orbite.

2 Production du nitrure de silicium

Dans les conditions extrêmes rencontrées dans l'industrie spatiale, l'utilisation de céramiques est essentielle à différentes étape. L'une d'entre elles est le nitrure de silicium que l'on peut trouver en petite inclusion dans certaines météorites et que l'on sait aujourd'hui synthétiser.



Tuyère en banc de test en nitrure de silicium

Données thermodynamiques :

Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02.10^{23}$ mol^{-1}
Constante universelle des gaz parfaits : $R = 8,31$ J.mol^{-1}.K^{-1}
Pression standard : $P^\circ = 1,00$ bar $= 1,00.10^5$ Pa
Température de fusion du silicium sous 1 bar : $T_{fus}(Si) = 1687$ K
Température de fusion du nitrure de silicium sous 1 bar : $T_{fus}(Si_3N_4) = 2173$ K
Enthalpie standard de fusion du silicium : $\Delta_{fus}H^\circ(Si) = 50,2$ kJ.mol^{-1} considérée indépendante de la température.

Il existe plusieurs méthodes pour fabriquer le nitrure de silicium Si_3N_4. La plus simple est la formation de Si_3N_4 solide par adsorption de diazote gazeux sur le silicium solide. Dans cette partie, il s'agit de déterminer la température atteinte en fin de procédé industriel lorsque la

pression est de 1,00 bar. Les gaz sont assimilables à des gaz parfaits. Les phases solides sont non-miscibles et considérées pures. Les enthalpies standard de formation, entropies molaires standard et capacités calorifiques standard sont données à 298 K.

Espèce chimique	$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol^{-1})	c_p° (J.K^{-1}.mol^{-1})	S° (J.K^{-1}.mol^{-1})
Si (s)		23,9	18,8
N_2 (g)		27,9	191
Si_3N_4 (s)	-744	95,0	107

4. Écrire l'équation bilan de la réaction de synthèse de Si_3N_4, notée (1), avec les nombres stœchiométriques entiers les plus petits possibles, dans le domaine de température T telle que 298 K $\leq$ T $<$ 1687 K.
5. Que vaut l'enthalpie standard de formation de Si(s) et de N_2(g) ? Pourquoi ? En déduire l'enthalpie standard de la réaction (1) à T_0 = 298 K.

   La réaction (1) est totale.
6. On réalise la réaction (1) sous une pression P° de 1,00 bar, en introduisant les réactifs en proportions stœchiométriques. La température initiale des réactifs est de 298 K. Calculer la température finale du système en considérant la réaction (1) totale et adiabatique. Cette température peut-elle être atteinte en pratique dans une enceinte ?
7. Dans l'industrie, les réactifs ne sont pas introduits en proportions stœchiométriques. En fin de réaction, il reste 90 % de la quantité de matière initiale de diazote. Calculer la température finale réellement atteinte lors de la production du nitrure de silicium.