

I) Propulsion d'une fusée

Décomposition de l'hydrazine

Aujourd'hui, l'hydrazine 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 :



1. Justifier que l'enthalpie standard de formation du diazote gazeux est nulle.

Solution: Le diazote gazeux est dans son état standard de référence à 298 K.

2. Déterminer l'enthalpie standard de la réaction de décomposition de l'hydrazine liquide en ammoniac et diazote gazeux.

Solution: On applique la loi de Hess :

$$\Delta_r H^\circ = \sum_i \nu_i \Delta_f H_i^\circ = 4 \Delta_f H^\circ(\text{NH}_3) - 3 \Delta_f H^\circ(\text{N}_2\text{H}_4)$$

L'application numérique donne : $\Delta_r H^\circ = -336,6 \text{ kJ/mol}$.

3. La réaction est-elle endothermique ou exothermique ?

Solution: La réaction est 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.

4. Déterminer l'enthalpie ΔH_0 libérée par la décomposition d'un volume V_0 d'hydrazine en fonction de $M_{\text{N}_2\text{H}_4}$, $\rho_{\text{N}_2\text{H}_4}$, V_0 et $\Delta_r H^\circ$. Effectuer l'application numérique pour le volume $V_0 = 1 \text{ L}$.

Solution: L'énergie libérée est :

$$\Delta H_0 = \Delta_r H^\circ \cdot \xi.$$

La quantité initiale d'hydrazine est notée n_0 et peut s'exprimer en fonction de V_0 :

$$n_0 = \frac{m_0}{M_{N_2H_4}} = \frac{\rho_{N_2H_4} \cdot V_0}{M_{N_2H_4}}.$$

La réaction de décomposition étant totale, on a $\xi = \frac{n_0}{3}$.

Finalement, l'avancement s'écrit :

$$\xi = \frac{\rho_{N_2H_4} \cdot V_0}{3 \cdot M_{N_2H_4}}.$$

L'énergie libérée s'écrit donc :

$$\Delta H_0 = \frac{\Delta_r H^\circ \cdot \rho_{N_2H_4} \cdot V_0}{3 \cdot M_{N_2H_4}}.$$

5. En déduire le volume d'hydrazine à embarquer pour assurer le positionnement (nécessitant une énergie $E = 24$ MJ) d'un satellite sur son orbite.

Solution: Le volume s'écrit :

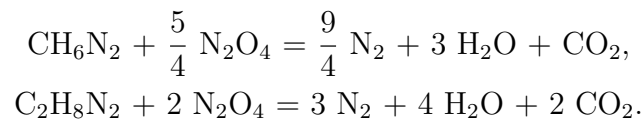
$$V_0 = \frac{\Delta H_0 \cdot 3 \cdot M_{N_2H_4}}{\Delta_r H^\circ \cdot \rho_{N_2H_4}} = \frac{3 \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot 32}{336 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 6,9 \text{ L.}$$

Intérêt de propergols

La monométhylhydrazine CH_6N_2 et la diméthylhydrazine asymétrique $C_2H_8N_2$, molécules dérivées de l'hydrazine, sont des propergols pour fusées utilisés notamment par le programme spatial européen Ariane en association avec le peroxyde d'azote N_2O_4 qui est le comburant. Le pouvoir de propulsion d'un propergol est directement lié à la quantité de produits gazeux émis par sa combustion pour un gramme de mélange stœchiométrique propergol/comburant.

6. Sachant que la réaction de N_2O_4 avec chacune des hydrazines CH_6N_2 et $C_2H_8N_2$ conduit à la formation de diazote, de dioxyde de carbone et d'eau (sous forme gazeuse), écrire les équations bilan des réactions correspondantes (avec un coefficient stœchiométrique unité pour la molécule dérivée de l'hydrazine).

Solution: Les équations-bilan sont :



7. Déterminer littéralement la quantité de matière n_1 de monométhylhydrazine contenue dans $m_0 = 1$ g de mélange stœchiométrique monométhylhydrazine / peroxyde d'azote. Effectuer l'application numérique.

Solution: On détermine la quantité n_1 de monométhylhydrazine dans une masse m_0 du mélange stœchiométrique :

$$n_1 \cdot M(\text{CH}_6\text{N}_2) + \frac{5}{4} \cdot n_1 \cdot M(\text{N}_2\text{O}_4) = m_0$$

On en déduit :

$$n_1 = \frac{m_0}{M(\text{CH}_6\text{N}_2) + \frac{5}{4} \cdot M(\text{N}_2\text{O}_4)}$$

L'application numérique donne $n_1 = 6,21$ mmol.

8. En déduire la quantité de matière $n_{1,\text{gaz}}$ de produits gazeux émise par la combustion d'un gramme de ce mélange.

Solution: On en déduit la quantité de produits gazeux émis par la combustion :

$$n_{1,\text{gaz}} = \left(\frac{9}{4} + 3 + 1\right) \cdot n_1 = 38,8 \text{ mmol.}$$

9. Déterminer de même la quantité de matière $n_{2,\text{gaz}}$ de produits gazeux émise par la combustion d'un gramme du mélange diméthylhydrazine asymétrique / peroxyde d'azote.

Solution: On détermine la quantité n_2 de diméthylhydrazine dans une masse m_0 du mélange stœchiométrique :

$$n_2 \cdot M(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2) + 2 \cdot n_2 \cdot M(\text{N}_2\text{O}_4) = m_0$$

On en déduit :

$$n_2 = \frac{m_0}{M(C_2H_8N_2 + 2.M(N_2O_4))}$$

L'application numérique donne $n_2 = 4,10$ mmol.

On en déduit la quantité de produits gazeux émis par la combustion :

$$n_{2,gaz} = (3 + 4 + 2).n_2 = 36,9 \text{ mmol.}$$

10. Déduire du rapport $\frac{n_{1,gaz}}{n_{2,gaz}}$ le meilleur propergol.

Solution: En considérant le rapport $\frac{n_{1,gaz}}{n_{2,gaz}} = 1,05$, la monométhylhydrazine constitue le meilleur propergol.

Données :

- Enthalpies standard de formation à 298 K : $\Delta_f H^\circ(NH_3(g)) = -46,2$ kJ/mol et $\Delta_f H^\circ(N_2H_4(l)) = 50,6$ kJ/mol.
- Masse volumique : $\rho_{N_2H_4} = 1,0$ kg/L.
- Masses molaires : $M_{N_2H_4} = 32$ g/mol, $M_{CH_6N_2} = 46$ g/mol, $M_{C_2H_8N_2} = 60$ g/mol et $M_{N_2O_4} = 92$ g/mol.