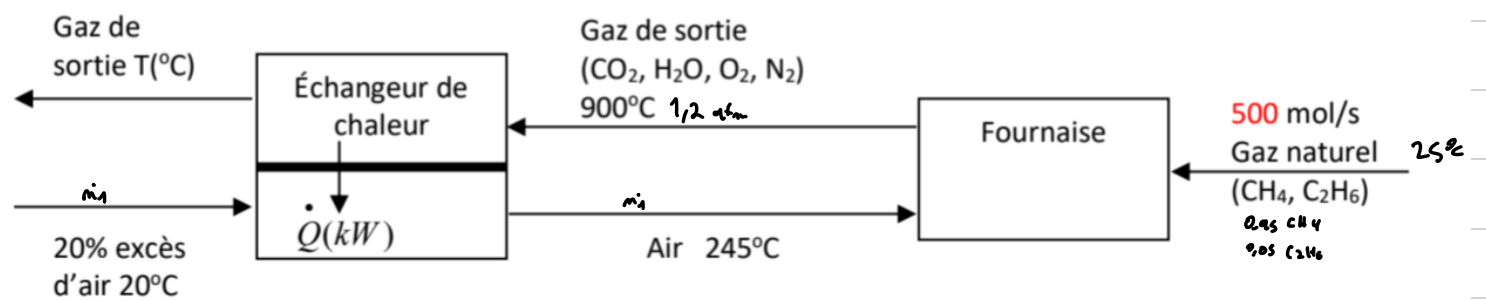


Problème 12,5



Equations de reactions: méthane: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

éthane: $\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

A) ① On a 500 mol/s de gaz naturel donc:

• 475 mol/s CH_4

• 25 mol/s C_2H_6

② • Pour la combustion de méthane nous avons 2 mols de O_2 /mol CH_4 . On a alors 950 mol/s O_2

• Pour la combustion de l'éthane nous avons 3,5 mols de O_2 /mol C_2H_6 , on a alors 87,5 mol/s O_2

• On a un total de 1037,5 mol/s de O_2

• Excès = 0,2 = $\frac{n_1 - 1037,5}{1037,5}$ = 1245 mol/s donc $\frac{1245}{0,21}$ = 5933,3 mol/s air

③ Les débits partiels du gaz de sortie sont:

• CO_2 : 475 + 50 = 525 mol/s

• H_2O : 950 + 75 = 1025 mol/s

• O_2 : 1245 - 1037,5 = 207,5 mol/s

• N_2 : 0,79 · 5933,3 = 4685,3 mol/s

B) On a $\dot{Q} - \dot{W}_s = \dot{\Delta E}_k + \dot{\Delta E}_p + \dot{\Delta H}$ $\dot{W}_s = 0$ car inerte

$\dot{Q} = \dot{\Delta H}$

$\dot{\Delta E}_k \approx 0$ car z est constant

$\dot{\Delta E}_p \approx 0$ car v est constant

Prenons notre référence: Air, 25°C, 1atm

On a avec la table B8: $\text{H}(\text{C}_2\text{H}_6) = 6,51$ donc $\hat{\Delta h} = 6,654 \text{ kJ/mol}$

$\text{H}(\text{O}_2) = -0,144$

$\dot{Q} = \dot{\Delta H} = n \hat{\Delta h} = 5933,3 \cdot 6,654 = 39480,18 \text{ kJ/s}$

c) ① Reference, 25°C, 1 atm, (CH₄(g), C₂H₆(g), N₂(g), O₂(g), H₂O(g), CO₂(g))

② Table:

Substances (g)	\dot{m}_i	\hat{h}_i	\dot{m}_0	\hat{h}_0
CH ₄	475	-	-	-
C ₂ H ₆	25	-	-	-
N ₂	4685,3	\hat{h}_1	4685,3	\hat{h}_3
O ₂	1245	\hat{h}_2	207,5	\hat{h}_4
H ₂ O	-	-	102,5	\hat{h}_5
CO ₂	-	-	52,5	\hat{h}_6

③ Calculs

$$\hat{h}_1 = \int_{25}^{245} c_p(\text{CH}_4) dt, \text{ or interpolate over (a table BB: } h(245) = 6,48 \text{ kJ/mol)}$$

$$\hat{h}_2 = \int_{25}^{245} c_p(\text{O}_2) dt, h(245) = 6,74 \text{ kJ/mol}$$

$$\hat{h}_3 = \int_{245}^{900} c_p(\text{N}_2) dt, h(900) = 27,19 - 6,48 = 20,71$$

$$\hat{h}_4 = \int_{245}^{900} c_p(\text{O}_2) dt, h(900) = 28,89 - 6,74 = 22,15 \text{ kJ/mol}$$

$$\hat{h}_5 = \int_{25}^{900} c_p(\text{H}_2\text{O}) dt, h(900) = 33,32 \text{ kJ/mol}$$

$$\hat{h}_6 = \int_{25}^{900} c_p(\text{CO}_2) dt, h(900) = 42,94 \text{ kJ/mol}$$

④ On a $\dot{e}_1 = 475 \text{ mol/s}$ et $\dot{e}_2 = 25 \text{ mol/s}$

$$\hat{h}_{R1} = \Delta \hat{h}_f^\circ(\text{CO}_2\text{g}) + 2\Delta \hat{h}_f^\circ(\text{H}_2\text{Og}) - \Delta \hat{h}_f^\circ(\text{CH}_4\text{g}) - 2\Delta \hat{h}_f^\circ(\text{O}_2\text{g})$$

$$= -395,51 - 2 \cdot 241,83 - (-74,85) - 2 \cdot 0$$

$$= -804,31 \text{ kJ/mol}$$

$$\hat{h}_{R2} = 2\Delta \hat{h}_f^\circ(\text{CO}_2\text{g}) + 3 \cdot \Delta \hat{h}_f^\circ(\text{H}_2\text{Og}) - \Delta \hat{h}_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_6\text{g}) - 3,5 \cdot \Delta \hat{h}_f^\circ(\text{O}_2\text{g})$$

$$= 2 \cdot -395,51 + 3 \cdot -241,83 - (-84,67) - 3,5 \cdot 0$$

$$= -1431,82 \text{ kJ/mol}$$

$$\textcircled{5} \dot{Q} = \dot{Q}_1 = \sum \dot{e}_i \hat{h}_i + \sum \dot{m}_0 \hat{h}_0 - \sum \dot{m}_i \hat{h}_i$$

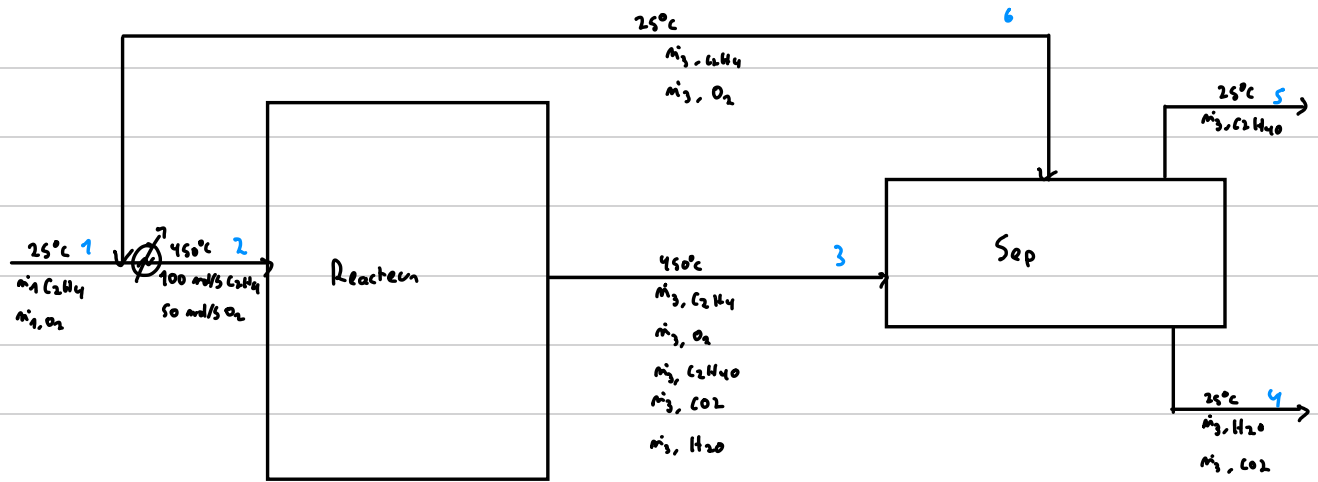
$$= 475 \cdot -804,31 + 25 \cdot -1431,82 + 4685,3 \cdot 20,71 + 207,5 \cdot 22,15 + 102,5 \cdot 33,32 + 52,5 \cdot 42,94$$

$$- (4685,3 \cdot 6,48 + 1245 \cdot 6,74)$$

$$= -299675,2 \text{ kJ/s}$$

Problème 12.6

A)



- ① Equations: $C_2H_4(g) + 1/2 O_2(g) \rightarrow C_2H_4O(g)$
 $C_2H_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O(g)$ (indésirable)

② Specifications

$$F_{C_2H_4} = 0,25 = \frac{100 - \dot{m}_{C_2H_4}}{100} \Rightarrow \dot{m}_{C_2H_4} = 75 \text{ mol/s}$$

Ratio: On a 25 mols de C_2H_4 consommé donc $0,7 \cdot 25 = 17,5 \Rightarrow \dot{m}_{C_2H_4O} = 17,5 \text{ mol/s}$

③ Bilan de Matière autour du Réacteur

$$\cdot \overset{RP}{AP} = \dot{m}_{out} - \dot{m}_{in} - \text{Cons}$$

$$Out = \dot{m}_{in} + \text{Cons}$$

$$\cdot C_2H_4: 75 = 100 - \dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2 \quad \dot{\epsilon}_2 = 75 \text{ mol/s}$$

$$C_2H_4O: 17,5 = 0 + \dot{\epsilon}_1 \quad \dot{\epsilon}_1 = 17,5 \text{ mol/s}$$

$$O_2: \dot{m}_{O_2} = 50 - 17,5 \cdot 1/2 = 7,5 \cdot 3 = 18,75 \text{ mol/s}$$

$$CO_2: \dot{m}_{CO_2} = 0 + 2 \cdot 17,5 = 15 \text{ mol/s}$$

$$H_2O: \dot{m}_{H_2O} = 0 + 2 \cdot 17,5 = 15 \text{ mol/s}$$

④ Calcul alimentation fraîche

$$\cdot \dot{m}_{C_2H_4} = 100 - 75 = 25 \text{ mol/s}$$

$$\cdot \dot{m}_{O_2} = 50 - 18,75 = 31,25 \text{ mol/s}$$

⑤ Fractions Molaires

Carant 3: $C_2H_4: \frac{75}{147,25} = 51\%$ Carant 4: $H_2O = CO_2 = 6\%$ Carant 5: $C_2H_4O: 100\%$ Carant 6: $C_2H_4: \frac{25}{97,75} = 25\%$

$C_2H_4O: \frac{17,5}{147,25} = 12\%$ Carant 1: $C_2H_4: \frac{25}{56,25} = 45\%$ Carant 2: $C_2H_4: \frac{100}{140} = 63\%$ $O_2: \frac{18,75}{97,75} = 19\%$

$O_2: \frac{18,75}{147,25} = 13\%$ $O_2: \frac{31,25}{56,25} = 55\%$ $O_2: \frac{50}{150} = 33\%$

$CO_2 = H_2O = \frac{15}{147,25} = 10\%$

B) Pour le Reacteur

① Bilan energie

$$\dot{Q} - \dot{W}_s = \Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_k + \Delta \dot{E}_p \quad \text{on} \quad \dot{W}_s = 0$$

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H}$$

$\Delta P \approx 0$ car hauteur constant

$\Delta E_p \approx 0$ car vitesse constante

② Références:

• 25°C, 1 atm pour $(C_2H_4(g), (C_2H_4O(g) + O_2(g) + CO_2(g) + H_2O(g))$

③ Tableau des enthalpies

Substances (g)	n_i	\bar{h}_i^1	n_o	\bar{h}_o
C_2H_4	100	\bar{h}_1^1	75	\bar{h}_2^1
O_2	50	\bar{h}_2^1	18,75	\bar{h}_4^1
C_2H_4O	-	-	17,5	\bar{h}_3^1
CO_2	-	-	15	\bar{h}_6^1
H_2O	-	-	15	\bar{h}_7^1
R_{X1}	-	-	17,5	\bar{h}_{a1}^1
R_{X2}	-	-	17,5	\bar{h}_{a2}^1

④ Calcul des enthalpies

$$\bar{h}_1^1 = \int_{25}^{450} C_p(C_2H_4)_g dT = \int_{25}^{450} (40,75 \cdot 10^{-3} + 11,42 \cdot 10^{-5} T - 6,297 \cdot 10^{-8} T^2 + 17,66 \cdot 10^{-12} T^3) dT$$

$$= 26,96 \text{ kJ/mol}$$

$$\bar{h}_2^1 = \int_{25}^{450} C_p(CO_2)_g dT \quad \text{On utilise la table B8: } \bar{h}(450) = 9,71 \text{ kJ/mol}$$

$$\bar{h}_3^1 = \int_{25}^{450} C_p(C_2H_4O)_g dT = \bar{h}_1^1 = 26,96 \text{ kJ/mol}$$

$$\bar{h}_4^1 = \bar{h}_2^1 = 9,71 \text{ kJ/mol}$$

$$\bar{h}_5^1 = \int_{25}^{842} C_p(C_2H_4O)_g dT = \int_{25}^{842} (4,69 + 0,207 T - 9,095 \cdot 10^{-5} T^2) dT = 48,97 \text{ kJ/mol}$$

$$\bar{h}_6^1 = \int_{25}^{450} C_p(CO_2)_g dT, \text{ On utilise la table B8: } \bar{h}(450) = 19,845 \text{ kJ/mol}$$

$$\bar{h}_7^1 = \int_{25}^{450} C_p(H_2O)_g dT, \text{ On utilise la table B8: } \bar{h}(450) = 15,12 \text{ kJ/mol}$$

⑤ Calculs de \bar{h}_i^0

$$\Delta \bar{h}_{R1}^0 = \Delta \bar{h}_f^0(C_2H_4O)_g - \Delta \bar{h}_f^0(C_2H_4)_g - 0,5 \Delta \bar{h}_f^0(O_2)_g$$

$$= -51 - 52,28 - 0,5 \cdot 0$$

$$= -103,28 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta \bar{h}_{R2}^0 = 2 \Delta \bar{h}_f^0(CO_2)_g + 2 \Delta \bar{h}_f^0(H_2O)_g - \Delta \bar{h}_f^0(C_2H_4)_g - 3 \Delta \bar{h}_f^0(O_2)_g$$

$$= 2 \cdot -393,5 + 2 \cdot -241,83 - 52,28$$

$$= -1322,94 \text{ kJ/mol}$$

⑥ Calcul de \dot{S} et \dot{Q}

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = \sum \dot{n}_i \bar{h}_{Ri} + \sum \dot{n}_o \bar{h}_o - \sum \dot{n}_i \bar{h}_i$$

$$= 17,5 \cdot (-103,28) + 7,5 \cdot (-1322,94) + 75 \cdot 26,96 + 18,75 \cdot 9,71 + 17,5 \cdot 48,97 + 15(19,845 + 15,12) - 100 \cdot 26,96 - 50 \cdot 9,71$$

$$= -11330,44 \text{ kJ/s}$$

Pour le procédé global

Pour l'échangeur de chaleur: $\dot{Q} = \Delta \dot{H}$

① Référence: On pose ici: les conditions entrée: 25 °C, 1 atm, $C_2H_4(g)$, $O_2(g)$

② On a $\dot{H}_1 = \int_{25}^{450} C_p(C_2H_4)_g dT = 26,96 \text{ kJ/mol}$

$$\dot{H}_2 = \int_{25}^{450} C_p(CO_2)_g dT = 9,77 \text{ kJ/mol}$$

Donc pour l'échangeur on a: $\dot{Q} = \Delta \dot{H} = 100 \cdot 26,96 + 50 \cdot 9,77$
 $= 3181,5 \text{ kJ/s}$

Pour le procédé global

On a $\dot{Q} = -11330,44 + 3181,5$
 $= -8148,94 \text{ kJ/s}$

④ On a 1500 kg C_2H_4 / s ce qui donne $\frac{1500 \times 1000}{12 \cdot 2 + 4 \cdot 16} \cdot \frac{1}{24 \times 60 \times 60} = 962 \text{ mol/s}$

On a un scale down de $\phi = \frac{962}{19,5} = 0,035$

Donc pour l'alimentation fraîche: $C_2H_4: 25 \cdot 0,035 = 0,875 \text{ mol/s}$

$$O_2: 37,25 \cdot 0,035 = 1,094 \text{ mol/s}$$

Chaleur Pour Reacteur Global

· Si pour chaque débit, on a un facteur de 0,035, on peut factoriser donc

$$\dot{Q} = 0,035 \cdot -11330,44 = -3965,7 \text{ kJ/s}$$

Pour le procédé global:

$$\dot{Q} = 0,035 \cdot 8148,94 = -285,21 \text{ kJ/s}$$