

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

INFORMATIONS UTILES

Date : Le jeudi 17 décembre 2020

Heure : 9 h 45 à 12 h 15. **Par la suite, vous aurez 15 minutes pour numériser vos copies. Elles doivent donc être remises avant 12 h 30.**

Documentation : Toute documentation personnelle permise (incluant le site Moodle du cours, mais aucun autre site Web)

Calculatrice : Toute calculatrice autorisée

Vous devez répondre aux questions ci-dessous de façon manuscrite et remettre votre travail en un seul fichier PDF dans la boîte de remise des travaux disponible sur Moodle. La qualité visuelle du fichier remis doit être bonne. Le non-respect de cette consigne entraînera automatiquement la note de 0 pour votre examen final.

Sur la première page de votre solution, indiquez votre nom, votre prénom et votre matricule. De plus, veuillez copier-coller **le titre de la déclaration** ci-dessous, répondre par OUI ou NON et la signer.

Titre : Déclaration sur l'honneur

En remettant ce travail à l'enseignant, je déclare sur mon honneur que :

- *ce travail est un travail original de ma part.*
- *je répondrai aux différentes questions par moi-même, sans l'aide d'une autre personne par tout moyen de communication que ce soit.*
- *je respecterai toutes les conditions énoncées dans les consignes.*
- *personne n'effectuera ni ne rédigera ce travail ou une partie de ce travail à ma place, gratuitement ou contre rémunération.*

- ☐ Oui
- ☐ Non

Cet examen est composé de trois questions :

Question 1 : Questions en rafale (6 points)

Question 2 : Étude d'un condenseur partiel (5 points)

Question 3 : Production de formaldéhyde (9 points)

Si vous jugez qu'une erreur est présente dans l'examen, posez une hypothèse plausible et poursuivez votre travail.

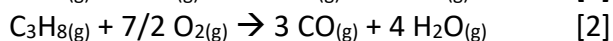
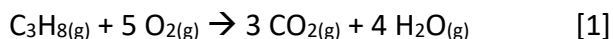
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

1. Questions en rafale

(6 points)

Temps suggéré : 40 minutes

- A) Un mélange formé de n_1 mol/s de propane (C_3H_8) et de n_2 mol/s de n-butane ($n-C_4H_{10}$) est alimenté à une fournaise avec un excès d'air et les 3 réactions suivantes se produisent : **(1 point)**



La réaction 2 est une réaction indésirable et le système opère à pression atmosphérique à 800°C.

- I. Écrivez l'expression du débit molaire de O_2 stœchiométrique à inclure dans la formule de l'excès d'oxygène en fonction de n_1 et n_2 .
 - II. Écrivez la référence à poser pour réaliser le bilan d'énergie sur cette fournaise si la méthode des **chaleurs de réaction** est utilisée.
- B) Dans un réacteur, du $O_{2(g)}$, du $C_4H_{10(g)}$ et du $N_{2(g)}$ réagissent. Cependant, les réactions chimiques sont inconnues et vous désirez réaliser un bilan d'énergie sur ce réacteur. **(1,5 point)**
- I. Énoncez la méthode à utiliser ainsi que la référence à poser afin de réaliser ce bilan d'énergie.
 - II. Écrivez l'équation permettant de calculer l'enthalpie spécifique du $C_4H_{10(g)}$ alimenté au réacteur en supposant que la température d'alimentation est de 50°C. Il n'est pas nécessaire de réaliser les calculs.
- C) En fonction de ce qui a été vu dans les capsules vidéo du cours, la voiture électrique est-elle meilleure que la voiture à essence du point de vue de l'ACV ? Justifiez votre réponse à l'aide de deux arguments. **(1 point)**
- D) « L'ozone dans l'atmosphère ne cause aucun problème de santé chez l'humain et est à 100% d'origine naturelle. » Cet énoncé est faux. Expliquez pourquoi en distinguant clairement les deux types d'ozone, en précisant leur origine et en expliquant un impact (positif ou négatif) pour chacun. **(1 point)**

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

E) Vous venez tout juste d'arriver chez NuageTriplePlus incorporé, une nouvelle compagnie qui offre du stockage dans le nuage aux habitants de Sainte-Polytechnique. En tant qu'ingénieur consultant, on vous informe qu'on prévoit investir dans une salle de serveurs traditionnelle avec refroidissement à l'air. Cette salle de serveur serait située, contre toute attente, en Chine, là où la majorité de l'électricité n'est pas de source renouvelable. Votre employeur, avant de donner le contrat, aimerait connaître votre avis sur la question. Fort de votre cours sur le développement durable... **(1,5 point)**

- I. expliquez-lui un aspect de son projet qui pourrait être amélioré en regard du développement durable ;
- II. expliquez pourquoi votre suggestion est meilleure/plus bénéfique que le projet initial.

2. Étude d'un condenseur partiel

(5 points)

Temps suggéré : 40 minutes

Un mélange équiolaire gazeux (courant 1) contenant du A et du B à 90°C et 5 atm est alimenté à un condenseur partiel à un débit de 300 mol/s. La température d'opération du condenseur partiel est de 65°C. À la sortie du condenseur partiel, un courant liquide (courant 2) et un courant gazeux (courant 3) sont obtenus. Votre collègue qui apprécie beaucoup le cours a déjà résolu les bilans de matière sur le condenseur et il a obtenu les résultats suivants :

Tableau 1 – Débits partiels des courants sortant du condenseur partiel

Courant	Substance	Valeur obtenue
2	A	50 mol/s
	B	25 mol/s
3	A	100 mol/s
	B	125 mol/s

Tableau 2 – Données utiles

Substance	Tension de vapeur P^o à 90°C (mm Hg)	Tension de vapeur P^o à 65°C (mm Hg)	$\Delta \hat{H}_{vap}$ (kJ/mol)	Cp du liquide (kJ/mol · °C)	Cp de la vapeur (kJ/mol · °C)
A	3512	1851	25,77 ($T_{eb} = 36^\circ\text{C}$)	0,155	$0,115 + 0,00034 T$
B	1416	675	28,85 ($T_{eb} = 69^\circ\text{C}$)	0,216	$0,137 + 0,00041 T$

- A) Déterminez si le condenseur partiel fonctionne adéquatement selon les lois vues pendant le cours. **(2 points)**
- B) À partir des débits du tableau 1, déterminez l'énergie à soutirer au condenseur (kW). **(3 points)**

3. Production de formaldéhyde

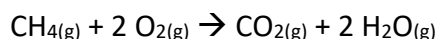
(9 points)

Temps suggéré : 70 minutes

Un réacteur est alimenté par un mélange d'oxygène (O₂) et de méthane (CH₄) afin de produire du formaldéhyde (HCHO) selon la réaction suivante :



Malheureusement, une **réaction secondaire** se produit et entraîne la combustion d'une partie du méthane selon la réaction suivante :



Du méthane frais est alimenté au procédé à 25°C. Ce courant se combine à un courant d'oxygène frais également à 25°C. Par la suite, le courant se mélange avec un courant de méthane recirculé (courant 4) et le tout est acheminé à un réacteur opérant à 400°C. Le débit de méthane alimenté au réacteur (n_{1_CH4}) est de 500 mol/s. Le rendement en HCHO est de 30%, l'excès en oxygène alimenté au réacteur est de 10% et la sélectivité du HCHO par rapport au CO₂ est de 4.5 moles de HCHO/mole CO₂. Le réacteur doit être refroidi avec de l'eau qui circule dans des serpentins (non représentés sur le diagramme). L'eau liquide est acheminée à une température de 15°C et ressort du réacteur à 40°C.

À la sortie du réacteur, les produits sont acheminés à un séparateur afin de récupérer tout le méthane qui n'a pas réagi et de le faire recirculer à l'entrée du procédé. Le méthane est refroidi à 25°C dans un échangeur de chaleur.

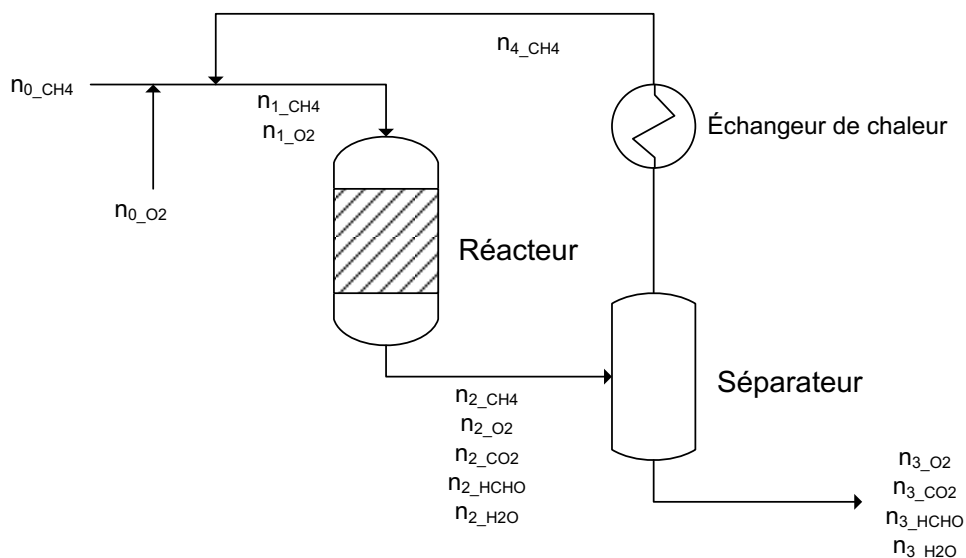


Figure 1 – Procédé de production de formaldéhyde

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté (DDL) sur le réacteur en utilisant la méthode des avancements de réaction. **(0,5 point)**
- B) Quels sont les débits de méthane et d'oxygène frais à alimenter au procédé (mol/s) ? **(3,5 points)**
- C) Calculez le débit d'eau de refroidissement (mol/s) requis au réacteur en utilisant la méthode des chaleurs de réaction. **(5 points)**

Tableau 3 – Données utiles

Substance	Phase	Cp (kJ/mol • °C)	Chaleur de formation $\Delta \hat{H}_f^o$ (kJ/mol)
Formaldéhyde (HCHO)	Gazeuse	0.034	-115.9
Méthane (CH ₄)	Gazeuse	0.034	-74.85
Eau (H ₂ O)	Liquide	0.075	-285.84
Eau (H ₂ O)	Gazeuse	Non-disponible dans cette table	-241.83
Dioxyde de carbone (CO ₂)	Gazeuse	Non-disponible dans cette table	-393.5
Oxygène (O ₂)	Gazeuse	Non-disponible dans cette table	0

Je vous souhaite de Joyeuses fêtes !

Patrice

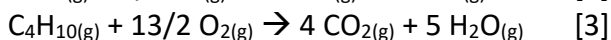
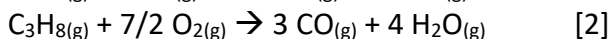
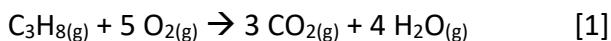
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

1. Questions en rafale

(6 points)

Temps suggéré : 40 minutes

- A) Un mélange formé de n_1 mol/s de propane (C_3H_8) et de n_2 mol/s de n-butane ($n-C_4H_{10}$) est alimenté à une fournaise avec un excès d'air et les 3 réactions suivantes se produisent :
(1 point)



La réaction 2 est une réaction indésirable et le système opère à pression atmosphérique à 800°C.

- I. Écrivez l'expression du débit molaire de O_2 stoechiométrique à inclure dans la formule de l'excès d'oxygène en fonction de n_1 et n_2 .
- II. Écrivez la référence à poser pour réaliser le bilan d'énergie sur cette fournaise si la méthode des **chaleurs de réaction** est utilisée.

I. $n_{O_2_stoe} = 5 n_1 + 13/2 n_2$

II. $C_3H_{8(g)}, O_{2(g)}, CO_{2(g)}, H_2O_{(g)}, C_4H_{10(g)}$ à 1 atm et 25°C

- B) Dans un réacteur, du $O_{2(g)}$, du $C_4H_{10(g)}$ et du $N_{2(g)}$ réagissent. Cependant, les réactions chimiques sont inconnues et vous désirez réaliser un bilan d'énergie sur ce réacteur.
(1,5 point)

- I. Énoncez la méthode à utiliser ainsi que la référence à poser afin de réaliser ce bilan d'énergie.
- II. Écrivez l'équation permettant de calculer l'enthalpie spécifique du $C_4H_{10(g)}$ alimenté au réacteur en supposant que la température d'alimentation est de 50°C. Il n'est pas nécessaire de réaliser les calculs.

I. Méthode des chaleurs de formation, $O_{2(g)}$, $C_{(s)}$, $H_{2(g)}$ et $N_{2(g)}$ à 25°C et 1 atm.

II. $\widehat{H}_{C_4H_{10}} = H_{f_C_4H_{10}}^o + \int_{25^\circ C}^{50^\circ C} c_{p_{C_4H_{10}}} dT$

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

- C) En fonction de ce qui a été vu dans les capsules vidéo du cours, la voiture électrique est-elle meilleure que la voiture à essence du point de vue de l'ACV ? Justifiez votre réponse à l'aide de deux arguments. **(1 point)**
- D) L'ozone dans l'atmosphère ne cause aucun problème de santé chez l'humain et est à 100% d'origine naturelle. Cet énoncé est faux. Expliquez pourquoi en distinguant clairement les deux types d'ozone, en précisant leur origine et en expliquant un impact (positif ou négatif) pour chacun. **(1 point)**

Ozone troposphérique : origine humaine

Ozone stratosphérique : origine naturelle

- E) Vous venez tout juste d'arriver chez NuageTriplePlus incorporé, une nouvelle compagnie qui offre du stockage dans le nuage aux habitants de Sainte-Polytechnique. En tant qu'ingénieur consultant, on vous informe qu'on prévoit investir dans une salle de serveurs traditionnelle avec refroidissement à l'air. Cette salle de serveur serait située, contre toute attente, en Chine, là où la majorité de l'électricité n'est pas de source renouvelable. Votre employeur, avant de donner le contrat, aimerait connaître votre avis sur la question. Fort de votre cours sur le développement durable... **(1,5 point)**
- I. expliquez-lui un aspect de son projet qui pourrait être amélioré en regard du développement durable ;
 - II. expliquez pourquoi votre suggestion est meilleure/bénéfique que le projet initial.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

2. Étude d'un condenseur partiel

(5 points)

Temps suggéré : 40 minutes

Un mélange équiolaire gazeux (courant 1) contenant du A et du B à 90°C et 5 atm est alimenté à un condenseur partiel à un débit de 300 mol/s. La température d'opération du condenseur partiel est de 65°C. À la sortie du condenseur partiel, un courant liquide (courant 2) et un courant gazeux (courant 3) sont obtenus.

Votre collègue qui apprécie beaucoup le cours a déjà résolu les bilans de matière sur le condenseur et il a obtenu les résultats suivants :

Tableau 1 – Débits partiels des courants sortant du condenseur partiel

Courant	Substance	Valeur obtenue
2	A	50 mol /s
	B	25 mol/s
3	A	100 mol/s
	B	125 mol/s

Tableau 2 – Données utiles

Substance	Tension de vapeur P^o à 90°C (mm Hg)	Tension de vapeur P^o à 65°C (mm Hg)	$\Delta \hat{H}_{vap}$ (kJ/mol)	Cp du liquide (kJ/mol · °C)	Cp de la vapeur (kJ/mol · °C)
A	3512	1851	25,77 ($T_{eb} = 36^\circ\text{C}$)	0,155	$0,115 + 0,00034 T$
B	1416	675	28,85 ($T_{eb} = 69^\circ\text{C}$)	0,216	$0,137 + 0,00041 T$

- A) Déterminez si le condenseur partiel fonctionne adéquatement selon les lois vues pendant le cours. **(2 points)**
- B) À partir des débits du tableau 1, déterminez l'énergie à soutirer au condenseur (kW). **(3 points)**

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

A) Vérification du respect de l'équilibre Liquide-vapeur :

Calcul de x_A et y_A : $x_A = 50/75 = 0,67$
 $y_A = 100/225 = 0,44$

$$\begin{array}{ll} P_A^0 x_A = P_{\text{tot}} y_A & \rightarrow P_{\text{tot}} = 1851 \times 0,67 / 0,44 = 2818 \text{ mm Hg} \\ P_B^0 x_B = P_{\text{tot}} y_B & \rightarrow P_{\text{tot}} = 675 \times 0,33 / 0,56 = 397 \text{ mm Hg} \end{array}$$

Puisque les deux P_{tot} ne sont pas égales, la loi de Raoult n'est pas respectée. Le condenseur n'est donc pas en équilibre L/V.

D'autres méthodes de preuve sont possibles.

B) À partir des débits du tableau 1, déterminez l'énergie à soutirer au condenseur (kW).
(3 points)

$$BE : Q - W_s = \Delta E_K + \Delta E_P + \Delta H \rightarrow Q = \Delta H$$

$W_s = 0$, car pas de pièces mobiles

$\Delta E_K \approx 0$, car $\Delta v \approx 0$

$\Delta E_P \approx 0$, car $\Delta z \approx 0$

Référence : C_5H_{12} (g), C_6H_{14} (g), 90°C , 1 atm

Tableau :

Substances	n_{in} (mol/s)	H_{in} (kJ/mol)	n_{out} (mol/s)	H_{out} (kJ/mol)
C_5H_{12} (g)	150	0	100	H_1
C_6H_{14} (g)	150	0	125	H_2
C_5H_{12} (l)	---	---	50	H_3
C_6H_{14} (l)	---	---	25	H_4

Calcul des H_i :

$$\begin{aligned} \hat{H}_1 &= \int_{90}^{65} C_{p_{C_5H_{12}(g)}} dT = 0,115 (65 - 90) + \frac{0,00034}{2} (65^2 - 90^2) = -3,534 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \\ \hat{H}_2 &= \int_{90}^{65} C_{p_{C_6H_{14}(g)}} dT = 0,137 (65 - 90) + \frac{0,00041}{2} (65^2 - 90^2) = -4,219 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \\ \hat{H}_3 &= \int_{90}^{36} C_{p_{C_5H_{12}(g)}} dT - \Delta H_{\text{vap}} + \int_{36}^{65} C_{p_{C_5H_{12}(l)}} \end{aligned}$$

$$\hat{H}_3 = 0,115 (36 - 90) + \frac{0,00034}{2} (36^2 - 90^2) - 25,77 + 0,155(65 - 36) = -28,64 \frac{kJ}{mol}$$

$$\hat{H}_4 = \int_{90}^{69} C_{p_{C_5H_{12}(g)}} dT - \Delta H_{vap} + \int_{69}^{65} C_{p_{C_5H_{12}(l)}}$$

$$\hat{H}_4 = 0,137 (69 - 90) + \frac{0,00041}{2} (69^2 - 90^2) - 28,55 + 0,216(65 - 69) = -32,98 \frac{kJ}{mol}$$

Calcul de ΔH :

$$\Delta H = \sum_{out} n \cdot H - \sum_{in} n \cdot H \quad (0,25 \text{ point})$$

$$Q = \Delta H = -3138 \frac{kJ}{s} \quad (0,5 \text{ point})$$

3. Production de formaldéhyde

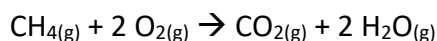
(9 points)

Temps suggéré : 70 minutes

Un réacteur est alimenté par un mélange d'oxygène (O₂) et de méthane (CH₄) afin de produire du formaldéhyde (HCHO) selon la réaction suivante :



Malheureusement, une **réaction secondaire** se produit et entraîne la combustion d'une partie du méthane selon la réaction suivante :



Du méthane frais est alimenté au procédé à 25°C. Ce courant se combine à un courant d'oxygène frais également à 25°C. Par la suite, le courant se mélange avec un courant de méthane recirculé (courant 4) et le tout est acheminé à un réacteur opérant à 400°C. Le débit de méthane alimenté au réacteur ($n_{1_CH_4}$) est de 500 moles/s. Le rendement en HCHO est de 30%, l'excès en oxygène alimenté au réacteur est de 10% et la sélectivité du HCHO par rapport au CO₂ est de 4.5 moles de HCHO/mole CO₂. Le réacteur doit être refroidi avec de l'eau qui circule dans des serpentins (non représentés sur le diagramme). L'eau liquide est acheminée à une température de 15°C et ressort du réacteur à 40°C.

À la sortie du réacteur, les produits sont acheminés à un séparateur afin de récupérer tout le méthane qui n'a pas réagi et de le faire recirculer à l'entrée du procédé. Le méthane est refroidi à 25°C dans un échangeur de chaleur.

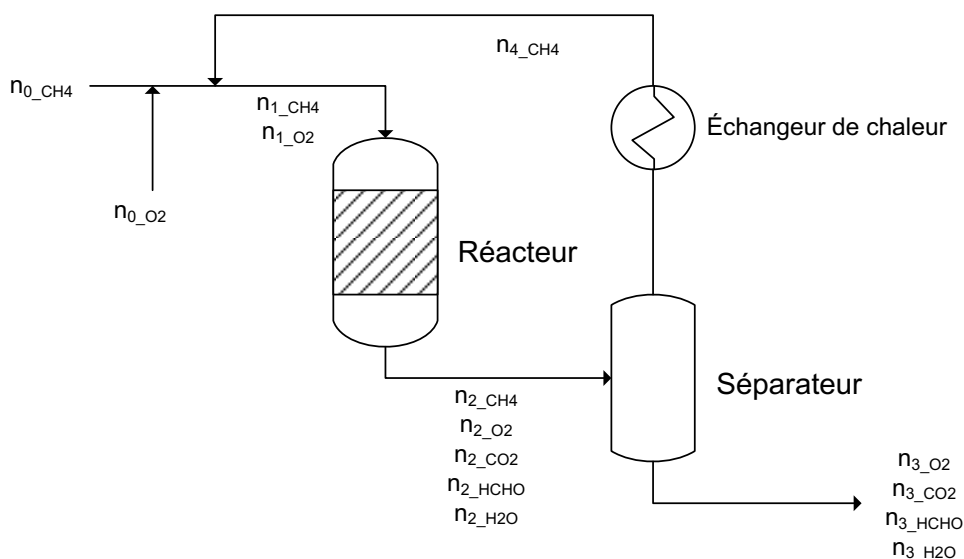


Figure 1 – Procédé de production de formaldéhyde

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté (DDL) sur le réacteur en utilisant la méthode des avancements de réaction. **(0,5 point)**
- B) Quels sont les débits de méthane et d'oxygène frais à alimenter au procédé (mol/s) ? **(3,5 points)**
- C) Calculez le débit d'eau de refroidissement (mol/s) requis au réacteur en utilisant la méthode des chaleurs de réaction. **(5 points)**

Tableau 3 – Données utiles

Substance	Phase	Cp (kJ/mol • °C)	Chaleur de formation $\Delta \hat{H}_f^\circ$ (kJ/mol)
Formaldéhyde (HCHO)	Gazeuse	0.034	-115.9
Méthane (CH ₄)	Gazeuse	0.034	-74.85
Eau (H ₂ O)	Liquide	0.075	-285.84
Eau (H ₂ O)	Gazeuse	Non-disponible dans cette table	-241.83
Dioxyde de carbone (CO ₂)	Gazeuse	Non-disponible dans cette table	-393.5
Oxygène (O ₂)	Gazeuse	Non-disponible dans cette table	0

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté (DDL) sur le réacteur en utilisant la méthode des avancements de réaction. **(0,5 point)**

$$\begin{aligned}
 & 6 \text{ inconnues } (n_{1_O_2}, n_{2_CH_4}, n_{2_O_2}, n_{2_CO_2}, n_{2_HCHO}, n_{2_H_2O}) \\
 & + 2 \text{ réactions } (\xi_1 \text{ et } \xi_2) \\
 & - 5 \text{ bilans sur espèces réactives ind. (CH}_4, \text{O}_2, \text{HCHO, CO}_2 \text{ et H}_2\text{O)} \\
 & - 3 \text{ équations supplémentaires (Rendement, excès et sélectivité)} \\
 \hline
 & = 0
 \end{aligned}$$

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

B) Quels sont les débits de méthane et d'oxygène frais à alimenter au procédé (mol/s) ?
(3,5 points)

Bilans au réacteur avec avancements de réactions :

$$(\text{CH}_4) : \quad n_{2_CH4} = 500 - \xi_1 - \xi_2 \quad (1)$$

$$(\text{O}_2) : \quad n_{2_O2} = n_{1_O2} - \xi_1 - 2\xi_2 \quad (2)$$

$$(\text{HCHO}) : \quad n_{2_HCHO} = \xi_1 \quad (3)$$

$$(\text{CO}_2) : \quad n_{2_CO2} = \xi_2 \quad (4)$$

$$(\text{H}_2\text{O}) : \quad n_{2_H2O} = \xi_1 + 2\xi_2 \quad (5)$$

$$\text{Sélectivité :} \quad n_{2_HCHO} / n_{2_CO2} = 4.5 \quad (6)$$

$$\text{Rendement :} \quad n_{2_HCHO} / 500 = 0.3 \quad \rightarrow n_{2_HCHO} = 150 \text{ mol/s} \quad (7)$$

$$\rightarrow \xi_1 = 150 \text{ mol/s} \quad (8)$$

$$\text{Excès:} \quad (n_{1_O2} - 500) / 500 = 0.1 \quad \rightarrow n_{1_O2} = 550 \text{ mol/s} \quad (9)$$

$$(7 \text{ dans } 6) : \quad n_{2_CO2} = \xi_2 = 33.33 \text{ mol/s} \quad (10)$$

$$(8, 9 \text{ et } 10 \text{ dans } 2) : \quad n_{2_O2} = 333 \text{ mol/s} \quad (11)$$

$$(8 \text{ et } 10 \text{ dans } 1) : \quad n_{2_CH4} = 316.67 \text{ mol/s} \quad (12)$$

$$(8 \text{ et } 10 \text{ dans } 5) : \quad n_{2_H2O} = 216.66 \text{ mol/s} \quad (13)$$

Bilans sur le point de mélange :

$$(\text{CH}_4) : \quad 500 = n_{0_CH4} + n_{4_CH4} \\ n_{4_CH4} = n_{2_CH4} = 316.67 \text{ moles/s}$$

$$\rightarrow n_{0_CH4} = 183.33 \text{ moles/s}$$

$$(\text{O}_2) : \quad n_{1_O2} = n_{0_O2} = 550 \text{ moles/s}$$

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

C) Calculez le débit d'eau de refroidissement (mol/s) requis au réacteur en utilisant la méthode des chaleurs de réaction. **(5 points)**

Bilan d'énergie

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_p + \Delta \dot{E}_k = \dot{Q} - \dot{W}$$

- $\Delta E_p = 0$ (pas de différence de hauteur)
- $\Delta E_k = 0$ (pas de variation de vitesse)
- $W = 0$ (pas de pièces mobiles)

Références: $\text{CH}_4(\text{g})$, $\text{O}_2(\text{g})$, $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$, $\text{CO}_2(\text{g})$ et $\text{HCHO}(\text{g})$ à 25°C et 1 atm

Tableau:

Espèce	n_{in} (moles/s)	H_{in} (kJ/mole)	n_{out}	H_{out}
$\text{CH}_4(\text{g})$	500	0	316.67	$H_1 = \mathbf{12.75}$
$\text{O}_2(\text{g})$	550	0	333.33	$H_2 = \mathbf{11.72}$
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-	-	216.66	$H_3 = \mathbf{13.23}$
$\text{CO}_2(\text{g})$	-	-	33.33	$H_4 = \mathbf{16.35}$
HCHO	-	-	150	$H_5 = \mathbf{12.75}$

Calcul des enthalpies spécifiques :

$$H_1 = \int_{25}^{400} C_{p,\text{CH}_4}(T) dT = 0.034(400-25) = \mathbf{12.75 \text{ kJ/mol}}$$

$$H_2 = \int_{25}^{400} C_{p,\text{O}_2}(T) dT = \mathbf{11.72 \text{ kJ/mol}} \quad (\text{Table B8})$$

$$H_3 = \int_{25}^{400} C_{p,\text{H}_2\text{O}}(T) dT = \mathbf{13.23 \text{ kJ/mol}} \quad (\text{Table B8})$$

$$H_4 = \int_{25}^{400} C_{p,\text{CO}_2}(T) dT = \mathbf{16.35 \text{ kJ/mol}} \quad (\text{Table B8})$$

$$H_5 = \int_{25}^{400} C_{p,\text{HCHO}}(T) dT = 0.034(400-25) = \mathbf{12.75 \text{ kJ/mole}}$$

Calcul des enthalpies de réactions :

$$\begin{aligned} \text{R1: } \Delta \hat{H}_{r,1}^0 &= \hat{H}_{f,\text{HCHO}}^0 + \hat{H}_{f,\text{H}_2\text{O}}^0 - \hat{H}_{f,\text{CH}_4}^0 - \hat{H}_{f,\text{O}_2}^0 \\ &= -115.9 - 241.83 + 74.85 - 0 \\ &= \mathbf{-282.88 \text{ kJ/mole}} \end{aligned}$$

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2020

$$\begin{aligned}\text{R2: } \Delta \hat{H}_{r,2}^0 &= \hat{H}_{f,\text{CO}_2}^0 + 2\hat{H}_{f,\text{H}_2\text{O}}^0 - \hat{H}_{f,\text{CH}_4}^0 - \hat{H}_{f,\text{O}_2}^0 \\ &= -393.5 + 2(-241.83) + 74.85 - 0 \\ &= \underline{\underline{-802.31 \text{ kJ/mole}}}\end{aligned}$$

Calcul de la chaleur requise au réacteur :

$$\begin{aligned}\dot{Q} = \dot{\Delta H} &= \sum_{\text{Réactions}} \xi_i \Delta H_i^0 + \sum_{\text{OUT}} n_j H_j - \sum_{\text{IN}} n_k H_k \\ \dot{Q} = \dot{\Delta H} &= 316.67(12.75) + 333.33(11.72) + 216.66(13.23) + 33.33(16.35) \\ &\quad + 150(12.75) - 500(0) - 550(0) + 150(-282.88) + 33.33(-802.31) \\ &= \underline{\underline{-55\,908 \text{ kJ/s}}}\end{aligned}$$

Bilan d'énergie sur le serpentin :

Bilan d'énergie

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_p + \Delta \dot{E}_k = \dot{Q} - \dot{W}$$

- $\Delta E_p = 0$ (pas de différence de hauteur)
- $\Delta E_k = 0$ (pas de variation de vitesse)
- $W = 0$ (pas de pièces mobiles)

Références: $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ à 15°C et 1 atm

Calcul des enthalpies : $H_1 = 0$
 $H_2 = 0,075 \times (40 - 15) = 1,875 \text{ kJ/mol}$

Débit d'eau $Q = 55\,908 = n_{\text{eau}} \times 1,875$ $n_{\text{eau}} = 29818 \text{ mol/s}$