

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE  
GCH2730 – ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES  
EXAMEN FINAL – HIVER 2021

---

**INFORMATIONS UTILES**

Date : Le dimanche 25 avril 2021

Heure : 13 h 30 à 16 h 00. **Par la suite, vous aurez 15 minutes pour numériser vos copies. Elles doivent donc être remises avant 16 h 15.**

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 MoodleExamen. 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 deux sections :**

**Section 1 : Questions en rafale (6,5 points)**

**Section 2 : Questions à développement (13,5 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 – HIVER 2021**

---

**CONSIGNES À RESPECTER :**

- L'examen final est surveillé à l'aide de la plateforme Zoom. Vous devez utiliser le même lien que lors de votre cours habituel.
- Vous devez avoir un ordinateur équipé d'une caméra pour pouvoir passer l'examen.
- Votre caméra doit être activée pendant toute la durée de l'examen final et votre micro doit être fermé.
- Votre caméra doit permettre de voir votre visage en tout temps.
- **Il est interdit de porter des écouteurs ou un casque d'écoute pendant votre examen.**
- Vous devez réaliser votre examen final seul, dans une pièce isolée.
- Vous n'êtes pas autorisé à communiquer avec qui que ce soit à l'exception du surveillant d'examen.
- En cas de problème technique, vous devrez contacter par courriel rapidement votre professeur.
- Aucune question en lien avec le contenu ne peut être posée pendant l'examen final.
- Vous devrez répondre aux questions dans l'ordre, de façon manuscrite, sur des feuilles blanches ou lignées de format 8,5" x 11".

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE**  
**GCH2730 – ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES**  
**EXAMEN FINAL – HIVER 2021**

---

**SECTION 1 : QUESTIONS EN RAFALE (4 QUESTIONS)**

*Temps suggéré :* 45 minutes

<b>Total : / 6,5</b>
----------------------

**Vous devez répondre aux 4 questions de cette section de façon manuscrite.**

**1. Développement durable (1,5 point)**

*Temps suggéré : 15 minutes*

Martin, le propriétaire d'une centaine d'immeubles locatifs à étages, veut en moderniser les ascenseurs et veut respecter les principes du développement durable dans son projet. Il fait donc appel à un programmeur informatique pour développer un produit facile d'utilisation doté d'un écran tactile. Ce produit sera installé dans tous les ascenseurs et agira comme panneau de contrôle pour sélectionner l'étage de destination de l'utilisateur.

Le programmeur fournit comme solution une application iOS devant être utilisée de pair avec un iPad, une tablette électronique coûteuse, pour fonctionner. Les résidents pourront aussi utiliser l'application, sur leur téléphone de marque Apple seulement, pour avoir un profil personnalisé qui se rappelle l'étage sur lequel ils vivent. L'application sur téléphone servira aussi de carte pour activer l'ascenseur, une fonctionnalité disponible seulement aux résidents de l'immeuble. L'ascenseur ne s'activera qu'avec l'application mobile iOS et Martin ne fournit pas de téléphone à ses résidents.

Martin est très content de l'intuitivité de l'interface de l'application et se vante de tous les iPads neufs qui seront installés dans ses ascenseurs. Il est content de pouvoir dire à tous que son projet d'ascenseur respecte les principes du développement durable.

- A) **En trois phrases maximum**, expliquez pourquoi la vision de Martin d'un projet durable est erronée. **(0,5 point)**
- B) Donnez un impact positif du projet de Martin sur le pilier société du développement durable et expliquez pourquoi il s'agit d'un impact positif en regard de ce pilier. **Limitez votre réponse à deux phrases. (0,5 point)**
- C) Donnez un impact négatif du projet de Martin relié à un pilier de votre choix sur le développement durable et expliquez pourquoi il s'agit d'un impact négatif en regard de ce pilier. **Limitez votre réponse à deux phrases. (0,5 point)**

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE  
GCH2730 – ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES  
EXAMEN FINAL – HIVER 2021

---

**2. Analyse du cycle de vie (1,5 point)**

*Temps suggéré : 5 minutes*

- A) Dans le champ de l'étude d'une analyse du cycle de vie, on retrouve la fonction et l'unité fonctionnelle. **En trois phrases maximum**, expliquez le rôle de chacun. **(0,5 point)**
- B) Expliquez l'utilité d'établir un arbre de processus dans le cadre de l'ACV pour un produit comme la tasse à café vue en cours. Puis, donnez deux informations qu'on peut retrouver dans un arbre de processus. **Limitez votre réponse à trois phrases. (1 point)**

**3. Réservoir d'ammoniac (2 points)**

*Temps suggéré : 20 minutes*

Un réservoir rigide de 2,35 m<sup>3</sup> est rempli de 8581 mol d'ammoniac liquide (NH<sub>3</sub>). Le réservoir étant exposé au soleil, sa température ainsi que celle de son contenu a atteint lors d'une journée d'été 55 °C, ce qui a provoqué la vaporisation d'une partie de l'ammoniac. Sachant que la masse volumique de l'ammoniac liquide à 55 °C est de 560 kg/m<sup>3</sup>, déterminez le volume occupé par les vapeurs d'ammoniac (m<sup>3</sup>).

**4. Quelle est la référence ? (1,5 point)**

*Temps suggéré : 5 minutes*

Pour chacun des calculs d'enthalpie suivant, indiquez la référence qui a été posée pour réaliser le calcul.

A)

$$\Delta \hat{H}_{C_3H_6O(g), 56^\circ C, 1 \text{ atm}} = \int_{10^\circ C}^{56^\circ C} C_{p_{C_3H_6O(l)}} dT + \Delta \hat{H}_{vap}$$

B)

$$\Delta \hat{H}_{H_2O(l), 100^\circ C, 1 \text{ atm}} = -\Delta \hat{H}_{vap}$$

C)

$$\Delta \hat{H}_r^o = 2 \cdot \Delta \hat{H}_{f_{NH_3(g)}}^o - \Delta \hat{H}_{f_{N_2(g)}}^o - 3\Delta \hat{H}_{f_{H_2(g)}}^o$$

D)

$$\Delta \hat{H}_{C_2H_5Cl(l), 5^\circ C, 1 \text{ atm}} = \Delta \hat{H}_{f_{C_2H_5Cl(g)}}^o + \int_{25^\circ C}^{13^\circ C} C_{p_{C_2H_5Cl(g)}} dT - \Delta \hat{H}_{vap} + \int_{13^\circ C}^{5^\circ C} C_{p_{C_2H_5Cl(l)}} dT$$

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE  
GCH2730 – ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES  
EXAMEN FINAL – HIVER 2021

**SECTION 2 : QUESTIONS À DÉVELOPPEMENT (2 QUESTIONS)**

*Temps suggéré :* 100 minutes

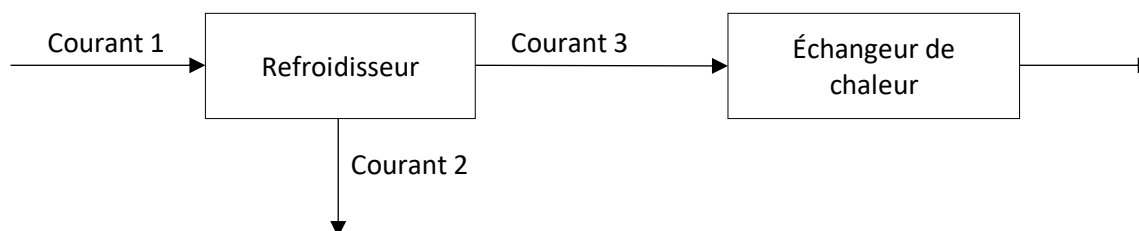
**Total : / 13,5**

**Vous devez répondre aux 2 questions de cette section de façon manuscrite.**

**5. Conditionnement de l'air (4,5 points)**

*Temps suggéré : 30 minutes*

Le procédé ci-dessous illustre une unité servant à conditionner l'air avant de l'acheminer dans une salle de classe. L'air alimenté au refroidisseur (courant 1) se trouve à une température de 25 °C et une humidité absolue de 17,77 g H<sub>2</sub>O/kg d'air sec. Dans le refroidisseur, la température est abaissée jusqu'à ce qu'une partie de l'eau présente dans l'air se condense (courant 2). Le courant d'air sortant du refroidisseur (courant 3) est donc saturé en eau et se trouve à une température de 11 °C. Le débit partiel d'air sec dans le courant 1 est de 0,454 kg/s et tout le procédé opère à pression atmosphérique.



**Figure 1 : Procédé de conditionnement de l'air**

**Tableau 1 : Quelques données thermodynamiques (C<sub>p</sub> et enthalpies)**

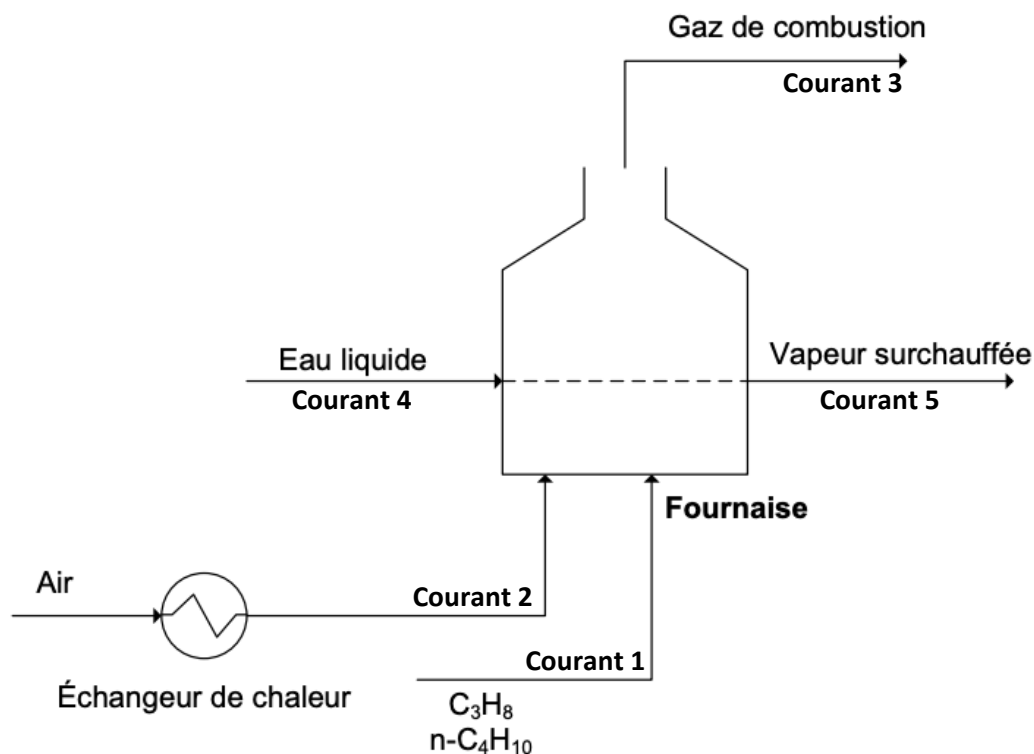
Substance	$\Delta \hat{H}_v^0$ (kJ/mol) à T <sub>éb</sub> (1 atm)	C <sub>p</sub> (kJ/mol·°C)
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	-40,656 à 100°C	Non disponible
H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	-40,656 à 100°C	0,075

- A) Reproduisez le diagramme d'écoulement de la Figure 1 et annotez les courants pertinents à la résolution en utilisant la nomenclature suivante pour les débits partiels :  $n_{\text{conduite, substance}}$ . Par exemple,  $n_{1,AS}$  représente le débit partiel molaire d'air sec dans le courant 1. **(0,5 point)**
- B) Déterminez le débit molaire (mol/s) d'eau ayant condensé dans le courant 2. **(2 points)**
- C) Calculez la chaleur à soutirer au refroidisseur (kW). **(2 points)**

**6. Étude d'une fournaise (9 points)**

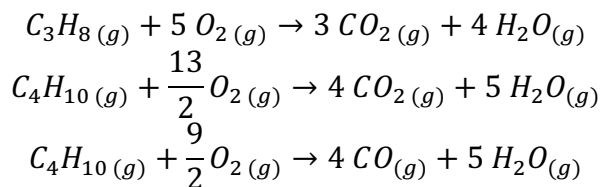
*Temps suggéré : 70 minutes*

Vous vous intéressez à une fournaise servant à produire de la vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau est par la suite acheminée à une turbine afin de produire de l'énergie électrique. Le schéma ci-dessous illustre la fournaise.



**Figure 2 : Fournaise**

Un mélange à 25 °C contenant 70 % molaire de propane ( $C_3H_8$ ) et 30 % molaire de n-butane ( $n-C_4H_{10}$ ) est alimenté à la chambre de combustion de la fournaise via le courant 1 à un débit total de 150 mol/s. De l'air humide est également alimenté à la chambre de combustion via le courant 2, préalablement préchauffé à 100 °C et se trouvant à pression atmosphérique. À cette température, l'humidité relative de l'air est de 25 %. L'air est alimenté à la chambre de combustion avec un excès de 18 %. Dans la chambre de combustion, les trois réactions suivantes ont lieu. Les deux premières réactions sont désirables alors que la dernière est indésirable :



(suite de la question 6 à la page suivante...)

**ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE**  
**GCH2730 – ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES**  
**EXAMEN FINAL – HIVER 2021**

---

Les gaz de combustion sortent de la chambre de combustion dans le courant 3 à 800 °C. Une conversion de 100 % est obtenue pour le propane alors qu'elle est de 80 % pour le n-butane. La sélectivité du CO<sub>2</sub> par rapport au CO dans les gaz de combustion est de 6 mol CO<sub>2</sub>/mol CO.

L'eau liquide alimentée aux tubes de la fournaise (ligne pointillée sur la Figure 2 de la page 6) via le courant 4 est à une température de 90 °C et sort dans le courant 5 sous la forme de vapeur surchauffée à 500 °C et 5 bar. Il est à noter que l'eau alimentée aux tubes de la fournaise (courants 4 et 5) n'échange pas de matière avec le système de la chambre de combustion (courants 1, 2 et 3)

**Tableau 2 : Quelques données thermodynamiques (C<sub>p</sub> et enthalpies)**

Substance	$\Delta \hat{H}_f^0$ (kJ/mol)	C <sub>p</sub> (kJ/mol·°C)
C <sub>3</sub> H <sub>8(g)</sub>	-103,8	---
n-C <sub>4</sub> H <sub>10(g)</sub>	-124,7	0,0923 + 0,00028T
H <sub>2</sub> O <sub>(g)</sub>	-241,83	---
CO <sub>(g)</sub>	-110,52	---
CO <sub>2(g)</sub>	-393,5	---

**Note :** Advenant le cas où des bilans d'énergie réactifs étaient nécessaires afin de répondre à une question, **la méthode des chaleurs de réaction devra être utilisée.**

- A) Reproduisez le diagramme d'écoulement de la Figure 2 de la page 6 et annotez les courants pertinents à la résolution en utilisant la nomenclature suivante pour les débits partiels :  $n_{\text{conduite, substance}}$ . Par exemple,  $n_{1, \text{C}_3\text{H}_8}$  représente le débit partiel molaire de propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dans le courant 1. **(0,5 point)**
- B) Effectuez une analyse des degrés de liberté (DDL) sur la chambre de combustion de la fournaise **en utilisant la méthode des avancements de réactions. (0,5 point)**
- C) Calculez les débits molaires partiels du courant 3 (mol/s) **en utilisant la méthode des avancements de réactions. (3,5 points)**
- D) Calculez le débit massique de vapeur surchauffée (kg/s) obtenu dans le courant 5. **(4,5 points)**

**Je vous souhaite de passer un très bel été !**

**Douaa Hassan**