

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

INFORMATIONS UTILES

Date : Le jeudi 16 décembre 2021

Heure : 13 h 30 à 16 h

Documentation : Une feuille manuscrite recto verso 8.5" x 11"

Calculatrice : Calculatrice autorisée seulement

RÉPONDEZ DIRECTEMENT SUR LE QUESTIONNAIRE DANS L'ESPACE PRÉVU À CETTE FIN. NE DÉTACHEZ AUCUNE PAGE DE CE QUESTIONNAIRE.

CE QUESTIONNAIRE COMPREND 21 PAGES.

NOM : _____

MATRICULE : _____

PRÉNOM : _____

SIGNATURE : _____

Total : /20

Cet examen est composé de quatre questions :

Question 1 : Questions en rafale	
Total	/4

Question 2 : Place au développement durable	
A)	/0,75
B)	/2,25
Total	/3

Question 3 : La condensation d'acétone	
A)	/2,5
B)	/3
Total	/5,5

Question 4 : Production d'huile chaude	
A)	/1
B)	/1,5
C)	/2
D)	/3
Total	/7,5

Si vous n'avez pas suffisamment d'espace pour inscrire vos démarches dans une question, de l'espace supplémentaire est disponible à la page 17.

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

1. Questions en rafale

(4 points)

Temps suggéré : 20 minutes

Pour chacun des énoncés présentés dans le tableau ci-dessous, répondez à la question dans la colonne **Réponse**. Détaillez vos démarches dans la colonne **Calculs ou Justifications** lorsque les cases sont blanches.

Énoncé	Réponse	Calculs ou Justifications
A) Un gaz est refroidi à pression constante. Est-ce que sa masse volumique augmente, diminue ou reste constante ? (0,25 point)		
B) Quelle serait la valeur de la température T_1 (en K) sachant que $T_2 = 111\text{K}$ et que $\Delta T = T_2 - T_1 = 129^\circ\text{F}$? (0,5 point)		<i>Calculs :</i>
C) Qui suis-je ? Pression à laquelle, pour une température donnée, il y a un équilibre liquide-vapeur. (0,25 point)		
D) La sélectivité est un rapport adimensionnel. Vrai ou Faux ? (0,25 point)		<i>Si vous répondez Faux, justifiez votre réponse.</i>
E) D'où provient la constante 3,76 dans la relation suivante : $\dot{n}_{N_2} = 3,76 \cdot \dot{n}_{O_2}$? (0,5 point)	<i>Réponse et justification :</i>	

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

Énoncé	Réponse	Calculs ou Justifications
F) Un réservoir contient uniquement de l'ammoniac pur (NH_3) dont une fraction est en phase vapeur et l'autre en phase liquide. Sachant que la pression est de 5 atm, quelle est la température dans le réservoir ($^{\circ}\text{C}$) ? (0,5 point)		<i>Calculs :</i>
G) Un courant d'air humide à 20°C passe dans un séchoir afin de sécher des grains de maïs. Est-ce que l'humidité absolue du courant d'air entre l'entrée et la sortie augmente, diminue ou reste constante ? (0,25 point)		
H) À la sortie d'un réacteur, les produits et les réactifs n'ayant pas réagi sont séparés, puis les réactifs sont entièrement recyclés à l'entrée du réacteur. La conversion simple-passe de chacun de ces réactifs est donc de 100 %. Vrai ou Faux ? (0,25 point)		<i>Justifiez votre réponse.</i>
I) Dans un procédé réactif, la température de référence doit toujours être posée à 25°C . Vrai ou Faux ? Pourquoi ? (0,25 point)		<i>Justifiez votre réponse.</i>

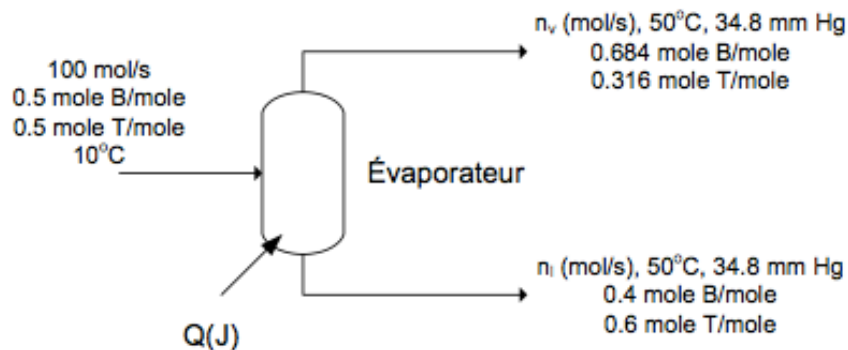
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2021

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

Énoncé	Réponse	Calculs ou Justifications
J) Si vous doublez le débit alimenté à un procédé réactif, alors l'enthalpie spécifique de chaque substance entrante au réacteur doublera aussi. Vrai ou Faux ? (0,25 point)		<i>Justifiez votre réponse.</i>

K) Un mélange équimolaire de benzène (B, $T_{eb} = 80^\circ\text{C}$) et de toluène (T, $T_{eb} = 110^\circ\text{C}$) est alimenté de façon continue à 10°C à un évaporateur. Ce mélange est chauffé à 50°C et une partie du mélange se vaporise. Le produit liquide obtenu contient 40 % molaire de B et la vapeur contient 68,4 % molaire de B.

- Quelle formule permet de calculer l'enthalpie spécifique du toluène dans la phase vapeur en fonction de la référence posée ? Référence : $T_{(l)}$, 50°C , 1 atm. *Aucun calcul n'est requis pour cette question.* **(0,5 point)**
- Quel sera le signe de la chaleur à fournir Q pour cet évaporateur ? Pourquoi ? **(0,25 point)**



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

MATRICULE ÉTUDIANT :

2. Place au développement durable

(3 points)

Temps suggéré : 20 minutes

- A) Dans le contexte de la responsabilité sociale d'entreprise (RSE), identifiez deux éléments parmi les incitatifs et les exigences *vues dans les capsules vidéo du cours* qui motivent les entreprises à adopter des actions qui prônent une approche plus durable dans leurs activités.
(0,75 point)
-
-
-

- B) Le projet Mozilla Firefox est un projet logiciel Open Source qui fournit entre autres le navigateur web du même nom, gratuitement. Un projet Open Source collaboratif comme Mozilla Firefox implique que des développeurs logiciels de partout dans le monde peuvent contribuer au code source en soumettant des suggestions d'améliorations et de nouvelles fonctionnalités (*merge request*). Toutes ces suggestions sont agglomérées dans un service web centralisé payant (*par exemple Gitlab*) qui performe automatiquement sur chacune d'elle des tests de qualité de code et d'intégration dans le cadre d'un processus préprogrammé de validation et d'intégration appelé *pipeline*. Dans le cas de ce projet spécifiquement, c'est plus de 100 000 *builds* (compilations de code) qui sont produits chaque jour. En effet, le navigateur web doit fonctionner sur plusieurs systèmes d'exploitation (Windows, MacOS, Linux...) et doit donc offrir des *builds* compatibles avec chacun d'eux. Évidemment, ces opérations automatiques sauvent énormément de temps de correction de qualité de code et de découverte de bogues.

- i) Donnez un impact positif de cette situation en regard du **pilier social** du développement durable. Vous devez expliquer clairement votre impact et faire un lien avec le pilier.
(0,75 point)
-
-
-
-
-

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- ii) Donnez un impact positif ou négatif de cette situation en regard du **pilier environnemental** du développement durable. Vous devez expliquer clairement votre impact et faire un lien avec le pilier. **(0,75 point)**

- iii) Tel que précisé en i), ce projet a des impacts positifs sur le pilier social du développement durable. Pourquoi alors ne peut-on pas qualifier ce projet de durable ? Répondez en deux phrases au maximum. **(0,75 point)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

3. La condensation d'acétone

(5,5 points)

Temps suggéré : 40 minutes

Un courant gazeux contenant de l'acétone (CH_3COCH_3 , noté A sur le schéma) et de l'air sort d'une unité de récupération de solvant à un débit de 142 L/s, une température de 150 °C et une pression de 1,3 atm. Ce courant est acheminé à un condenseur partiel où la majorité de l'acétone est liquéfiée. Le condenseur partiel opère à -18°C et 5 atm.

Afin d'augmenter la pression de 1,3 atm à 5 atm, **un compresseur est intégré au condenseur et fournit un travail de 25,2 kW**. Un échantillon du courant gazeux à l'entrée du condenseur a été prélevé et analysé. On a alors déterminé que ce courant contient 15 % molaire d'acétone. Le diagramme annoté est présenté à la figure suivante.

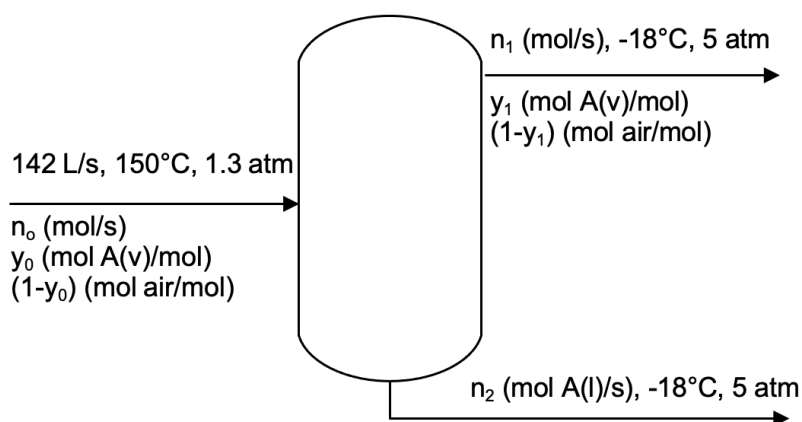


Figure 1 – Condenseur partiel d'acétone

Tableau 1 – Données utiles

Substance	$\Delta \hat{H}_{\text{vap}}$ (kJ/mol)	Cp du liquide (kJ/mol · °C)	Cp de la vapeur ou du gaz (kJ/mol · °C)
Acétone	30,2 ($T_{\text{eb}} = 56^\circ\text{C} @ P_{\text{atm}}$)	0,123	$0,072 + 0,0002 T$
Air	---	---	0,029

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- A) Calculez les débits molaires n_1 et n_2 à la sortie du condenseur ainsi que la fraction molaire y_1 .
(2,5 points)

Votre ami.e a résolu la lettre A), mais a fait des erreurs. Il a obtenu les débits partiels indiqués dans le tableau 2 suivant.

Tableau 2 – Débits partiels erronés obtenus en A) par votre ami.e

Substance	\dot{n}_{in} (mol/s)	\dot{n}_{out} (mol/s)
Acétone (l)	-	1,46
Acétone (g)	2,02	0,56
Air (g)	8,67	8,67

- B) **En utilisant les débits partiels du tableau 2**, quelle quantité de chaleur (kW) doit être soustraite du condenseur afin de permettre le refroidissement de 150 °C à -18 °C ? **(3 points)**
- A) Calculez les débits molaires n_1 et n_2 à la sortie du condenseur ainsi que la fraction molaire y_1 .
(2,5 points)

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- B) En utilisant les débits partiels du tableau 2, quelle quantité de chaleur (kW) doit être soustraite du condenseur afin de permettre le refroidissement de 150°C à -18°C ? **(3 points)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

4. Production d'huile chaude

(7,5 points)

Temps suggéré : 60 minutes

Le diagramme d'écoulement partiellement annoté présenté ci-dessous illustre une fournaise permettant de chauffer une huile froide à 30°C circulant dans les tubes grâce à la combustion d'un courant d'hydrocarbures gazeux de 100 mol/s. Ce courant contient 40 % molaire de n-butane (C_4H_{10}) et 60 % molaire de n-pentane (C_5H_{12}).

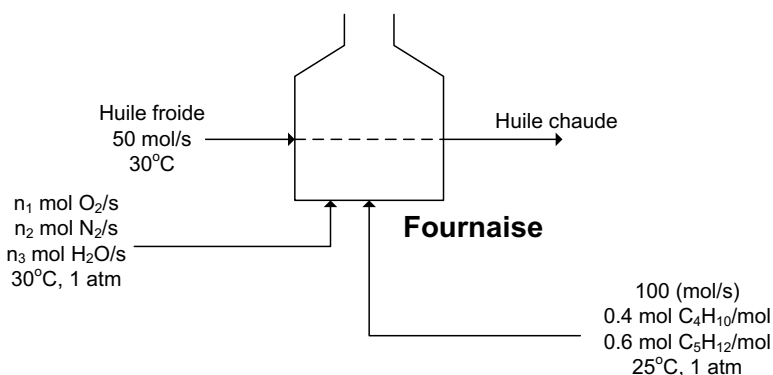
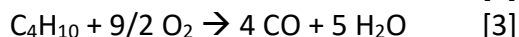
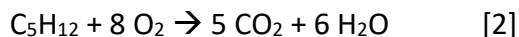


Figure 2 – Diagramme d'écoulement du procédé (à annoter adéquatement)

Le débit d'huile à chauffer est de 50 mol/s. Les hydrocarbures sont alimentés à 25°C et brûlés en présence d'air humide alimenté à 30°C et 1 atm. L'humidité relative de l'air est de 30 %. Les gaz de combustion sortent à 600°C. Une analyse des gaz de combustion a permis de déterminer que les conversions du n-butane et du n-pentane sont de 90 %. Les réactions de combustion sont représentées ci-dessous par les réactions 1 et 2.

De plus, cette analyse a révélé la présence de monoxyde de carbone (CO). Ce CO provient de la combustion incomplète uniquement du C_4H_{10} représenté par la réaction indésirable 3.



Finalement, l'excès d'air est de 50 % et le rendement en CO_2 est de 84 %.

Note : Vous pouvez annoter directement le diagramme précédent afin de déclarer les différentes variables que vous utiliserez.

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté sur la fournaise (sans considérer le courant d'huile) qui visera à calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion des hydrocarbures. **(1 point)**
- B) Déterminez les débits partiels du courant d'air humide alimenté à la fournaise. **(1,5 point)**
- C) Déterminez les débits partiels de la conduite des gaz de combustion. **(2 points)**
- D) En utilisant la méthode des chaleurs de réaction, calculez la quantité d'énergie transférée aux tubes de la fournaise (kW). **(3 points)**

Tableau 2 – Données utiles

Substances	$\Delta \hat{H}_f^\circ$ (kJ/mol)	Cp (kJ/mol • °C)	\hat{H}_i (kJ/mol) à 30°C (à partir d'une référence à 25°C)	\hat{H}_i (kJ/mol) à 600°C (à partir d'une référence à 25°C)
Huile	---	0,08	---	---
C ₄ H _{10(g)}	-124,7	0,092	---	53,0
C ₅ H _{12(g)}	-146,4	0,115	---	89,0
O _{2(g)}	0	---	0,15	---
N _{2(g)}	0	---	0,15	---
H _{2(g)}	0	---	---	---
CO _{2(g)}	-393,5	---	---	---
H ₂ O _(g)	-241,83	---	0,17	---
CO _(g)	-110,52	---	---	---

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté sur la fournaise (sans considérer le courant d'huile) qui visera à calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion des hydrocarbures. **(1 point)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

B) Déterminez les débits partiels du courant d'air humide alimenté à la fournaise. **(1,5 point)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

C) Déterminez les débits partiels de la conduite des gaz de combustion. *(2 points)*

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- D) En utilisant la méthode des chaleurs de réaction, calculez la quantité d'énergie transférée aux tubes de la fournaise (kW). **(3 points)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

**Bonne chance !
Patrice Farand**

MATRICULE ÉTUDIANT :

**Page supplémentaire pour inscrire vos démarches
(Inscrivez clairement le numéro de la question)**

MATRICULE ÉTUDIANT :

Annexes

Tableau de conversion d'unités

Quantité	Équivalences
Masse	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 0,001 \text{ t} = 2,204\,62 \text{ lb}_m = 35,273\,92 \text{ oz}$ $1 \text{ lb}_m = 16 \text{ oz} = 453,593 \text{ g}$
Longueur	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m} = 10^{10} \text{ Å}$ $= 39,37 \text{ po} = 3,280\,8 \text{ pi} = 1,093\,6 \text{ vg} = 0,000\,621\,4 \text{ mi}$ $1 \text{ pi} = 12 \text{ po} = 1/3 \text{ vg} = 0,304\,8 \text{ m} = 30,38 \text{ cm}$
Volume	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^6 \text{ mL}$ $= 35,3145 \text{ pi}^3 = 264,17 \text{ gal}$ $1 \text{ pi}^3 = 1728 \text{ po}^3 = 7,480\,5 \text{ gal} = 0,028\,317 \text{ m}^3 = 28,317 \text{ L} = 28\,317 \text{ cm}^3$
Force	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 10^5 \text{ dyn} = 10^5 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2 = 0,22481 \text{ lb}_f$ $1 \text{ lb}_f = 32,174 \text{ lb}_m\cdot\text{ft}/\text{s}^2 = 4,448\,2 \text{ N} = 4,448\,2 \times 10^5 \text{ dyn}$
Pression	$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 \text{ (Pa)} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$ $= 1,01325 \times 10^6 \text{ dyn}/\text{cm}^2 =$ $= 760 \text{ mm Hg à } 0^\circ\text{C} = 10,333 \text{ m H}_2\text{O à } 4^\circ\text{C}$ $= 14,696 \text{ lb}_f/\text{po}^2 \text{ (psi)} = 33,9 \text{ pi H}_2\text{O à } 4^\circ\text{C}$ $= 29,921 \text{ po Hg à } 0^\circ\text{C}$
Énergie	$1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m} = 10^7 \text{ dyn}\cdot\text{cm}$ $= 2,778 \times 10^{-7} \text{ kW}\cdot\text{h} = 0,239\,01 \text{ cal}$ $= 9,486 \times 10^{-4} \text{ Btu}$
Puissance	$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s} = 0,239\,01 \text{ cal}/\text{s} = 9,486 \times 10^{-4} \text{ Btu}/\text{s} = 1,341 \times 10^{-3} \text{ hp}$

MATRICULE ÉTUDIANT :

Tableau périodique des éléments

1 I A	2 II A	13 III A	14 IV A	15 V A	16 VI A	17 VII A	18 VIII A
1 H hydrogène 1,008	2 He hélium 4,003	5 B bore 10,81	6 C carbone 12,01	7 N azote 14,01	8 O oxygène 16,00	9 F fluor 19,00	10 Ne néon 20,18
3 Li lithium 6,941	4 Be béryllium 9,012	11 Na sodium 22,99	12 Mg magnésium 24,31	13 Al aluminium 26,98	14 Si silicium 28,09	15 P phosphore 30,97	16 S soufre 32,07
19 K potassium 39,10	20 Ca calcium 40,08	21 Sc scandium 44,96	22 Ti titane 47,88	23 V vanadium 50,94	24 Cr chrome 52,00	25 Mn manganèse 54,94	26 Fe fer 55,85
37 Rb rubidium 85,47	38 Sr strontium 87,62	39 Y yttrium 88,91	40 Zr zirconium 91,22	41 Nb niobium 92,91	42 Mo molybdène 95,94	43 Tc technétium (98)	44 Ru ruthénium 101,1
55 Cs césium 132,9	56 Ba baryum 137,3	57 La lanthane 138,9	58 Ce cérium 140,1	59 Pr praseodyme 140,9	60 Nd néodyme 144,2	61 Pm prométhium (147)	62 Sm samarium 150,4
87 Fr francium (223)	88 Ra radium (226)	89 Ac actinium (227)	90 Th thorium 232,0	91 Pa protactinium (231)	92 U uranium 238,0	93 Np néputium (237)	94 Pu plutonium (242)
72 Hf hafnium 178,5	73 Ta tantale 180,9	74 W tungstène 183,9	75 Re rhenium 186,2	76 Os osmium 190,2	77 Ir iridium 192,2	78 Pt platine 195,1	79 Au or 197,0
103 Bi bismuth 208,98	104 Po polonium (209)	105 At astate (210)	106 Lr lutécium 175,0	107 Yb ytterbium 173,0	108 No nobélium (259)	109 Lr lawrencium (260)	110 Uu unnilium (261)
121 Ag argent 107,9	122 Cd cadmium 112,4	123 In indium 114,8	124 Sn étain 118,7	125 Sb antimoine 121,8	126 Te tellure 127,6	127 I iode 126,9	128 Xe xénon 131,3
29 Cu cuivre 63,55	30 Zn zinc 65,39	31 Ga gallium 69,72	32 Ge germanium 72,59	33 As arsenic 74,92	34 Se sélénium 78,96	35 Br brome 79,90	36 Kr krypton 83,80
45 Rh rhodium 102,9	46 Pd palladium 106,4	47 Ag argent 107,9	48 Cd cadmium 112,4	49 In indium 114,8	50 Sn étain 118,7	51 Sb antimoine 121,8	52 Te tellure 127,6
63 Eu europium 152,0	64 Gd gadolinium 157,3	65 Tb terbium 158,9	66 Dy dysprosium 162,5	67 Ho holmium 164,9	68 Er erbium 167,3	69 Tm thulium 168,9	70 Yb ytterbium 173,0
101 Bi bismuth 208,98	102 Po polonium (209)	103 At astate (210)	104 Lr lutécium 175,0	105 Yb ytterbium 173,0	106 No nobélium (259)	107 Lr lawrencium (260)	108 Uu unnilium (261)

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE

GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES

EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2021

MATRICULE ÉTUDIANT :

Table B.4 Antoine Equation Constants^a

Compound	Formula	Range (°C)	A	B	C
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	-0.2 to 34.4	8.00552	1600.017	291.809
Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	29.8 to 126.5	7.38782	1533.313	222.309
Acetic acid*	C ₂ H ₄ O ₂	0 to 36	7.18807	1416.7	225
Acetic anhydride	C ₄ H ₆ O ₃	62.8 to 139.4	7.14948	1444.718	199.817
Acetone	C ₃ H ₆ O	-12.9 to 55.3	7.11714	1210.595	229.664
Acrylic acid	C ₃ H ₄ O ₂	20.0 to 70.0	5.65204	648.629	154.683
Ammonia*	NH ₃	-83 to 60	7.55466	1002.711	247.885
Aniline	C ₆ H ₇ N	102.6 to 185.2	7.32010	1731.515	206.049
Benzene	C ₆ H ₆	14.5 to 80.9	6.89272	1203.531	219.888
<i>n</i> -Butane	<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	-78.0 to -0.3	6.82485	943.453	239.711
<i>i</i> -Butane	<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	-85.1 to -11.6	6.78866	899.617	241.942
1-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	89.2 to 125.7	7.36366	1305.198	173.427
2-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	72.4 to 107.1	7.20131	1157.000	168.279
1-Butene	C ₄ H ₈	-77.5 to -3.7	6.53101	810.261	228.066
Butyric acid	C ₄ H ₈ O ₂	20.0 to 150.0	8.71019	2433.014	255.189
Carbon disulfide	CS ₂	3.6 to 79.9	6.94279	1169.110	241.593
Carbon tetrachloride	CCl ₄	14.1 to 76.0	6.87926	1212.021	226.409
Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	62.0 to 131.7	6.97808	1431.053	217.550
Chlorobenzene*	C ₆ H ₅ Cl	0 to 42	7.10690	1500.0	224.0
Chlorobenzene*	C ₆ H ₅ Cl	42 to 230	6.94504	1413.12	216.0
Chloroform	CHCl ₃	-10.4 to 60.3	6.95465	1170.966	226.232
Chloroform*	CHCl ₃	-30 to 150	6.90328	1163.03	227.4
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	19.9 to 81.6	6.84941	1206.001	223.148
Cyclohexanol	C ₆ H ₁₂ O	93.7 to 160.7	6.25530	912.866	109.126
<i>n</i> -Decane	<i>n</i> -C ₁₀ H ₂₂	94.5 to 175.1	6.95707	1503.568	194.738
1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	86.8 to 171.6	6.95433	1497.527	197.056
1,1-Dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	-38.8 to 17.6	6.97702	1174.022	229.060
1,2-Dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	-30.8 to 99.4	7.02530	1271.254	222.927
Dichloromethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	-40.0 to 40	7.40916	1325.938	252.616
Diethyl ether	C ₄ H ₁₀ O	-60.8 to 19.9	6.92032	1064.066	228.799
Diethyl ketone	C ₅ H ₁₀ O	56.5 to 111.3	7.02529	1310.281	214.192
Diethylene glycol	C ₄ H ₁₀ O ₂	130.0 to 243.0	7.63666	1939.359	162.714
Dimethyl ether	C ₂ H ₆ O	-78.2 to -24.9	6.97603	889.264	241.957
Dimethylamine	C ₂ H ₇ N	-71.8 to 6.9	7.08212	960.242	221.667
<i>N,N</i> -Dimethylformamide	C ₃ H ₇ NO	30.0 to 90.0	6.92796	1400.869	196.434
1,4-Dioxane	C ₄ H ₈ O ₂	20.0 to 105.0	7.43155	1554.679	240.337
Ethanol	C ₂ H ₆ O	19.6 to 93.4	8.11220	1592.864	226.184
Ethanolamine	C ₂ H ₇ NO	65.4 to 170.9	7.45680	1577.670	173.368
Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	15.6 to 75.8	7.10179	1244.951	217.881
Ethyl acetate*	C ₄ H ₈ O ₂	-20 to 150	7.09808	1238.710	217.0
Ethyl chloride	C ₂ H ₅ Cl	-55.9 to 12.5	6.98647	1030.007	238.612
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	56.5 to 137.1	6.95650	1423.543	213.091

Table B.4 (Continued)

Compound	Formula	Range (°C)	A	B	C
Ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	50.0 to 200.0	8.09083	2088.936	203.454
Ethylene oxide	C ₂ H ₄ O	0.3 to 31.8	8.69016	2005.779	334.765
1,2-Ethylenediamine	C ₂ H ₈ N ₂	26.5 to 117.4	7.16871	1336.235	194.366
Formaldehyde	HCHO	-109.4 to -22.3	7.19578	970.595	244.124
Formic acid	CH ₂ O ₂	37.4 to 100.7	7.58178	1699.173	260.714
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	183.3 to 260.4	6.16501	1036.056	28.097
<i>n</i> -Heptane	<i>n</i> -C ₇ H ₁₆	25.9 to 99.3	6.90253	1267.828	216.823
<i>i</i> -Heptane	<i>i</i> -C ₇ H ₁₆	18.5 to 90.9	6.87689	1238.122	219.783
1-Heptene	C ₇ H ₁₄	21.6 to 94.5	6.91381	1265.120	220.051
<i>n</i> -Hexane	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄	13.0 to 69.5	6.88555	1175.817	224.867
<i>i</i> -Hexane	<i>i</i> -C ₆ H ₁₄	12.8 to 61.1	6.86839	1151.401	228.477
1-Hexene	C ₆ H ₁₂	15.9 to 64.3	6.86880	1154.646	226.046
Hydrogen Cyanide	HCN	-16.4 to 46.2	7.52823	1329.49	260.418
Methanol	CH ₃ OH	14.9 to 83.7	8.08097	1582.271	239.726
Methanol*	CH ₃ OH	-20 to 140	7.87863	1473.11	230.0
Methyl acetate	C ₃ H ₆ O ₂	1.8 to 55.8	7.06524	1157.630	219.726
Methyl bromide	CH ₃ Br	-70.0 to 3.6	7.09084	1046.066	244.914
Methyl chloride	CH ₃ Cl	-75.0 to 5.0	7.09349	948.582	249.336
Methyl ethyl ketone	C ₅ H ₁₀ O	42.8 to 88.4	7.06356	1261.339	221.969
Methyl isobutyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	21.7 to 116.2	6.67272	1168.408	191.944
Methyl methacrylate	C ₅ H ₈ O ₂	39.2 to 89.2	8.40919	2050.467	274.369
Methylamine	CH ₃ N	-83.1 to -6.2	7.33690	1011.532	233.286
Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	25.6 to 101.8	6.82827	1273.673	221.723
Naphthalene	C ₁₀ H ₈	80.3 to 179.5	7.03358	1756.328	204.842
Nitrobenzene	C ₆ H ₅ NO ₂	134.1 to 210.6	7.11562	1746.586	201.783
Nitromethane	CH ₃ NO ₂	55.7 to 136.4	7.28166	1446.937	227.600
<i>n</i> -Nonane	<i>n</i> -C ₉ H ₂₀	70.3 to 151.8	6.93764	1430.459	201.808
1-Nonane	C ₉ H ₁₈	66.6 to 147.9	6.95777	1437.862	205.814
<i>n</i> -Octane	<i>n</i> -C ₈ H ₁₈	52.9 to 126.6	6.91874	1351.756	209.100
<i>i</i> -Octane	<i>i</i> -C ₈ H ₁₈	41.7 to 118.5	6.88814	1319.529	211.625
1-Octene	C ₈ H ₁₆	44.9 to 122.2	6.93637	1355.779	213.022
<i>n</i> -Pentane	<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	13.3 to 36.8	6.84471	1060.793	231.541
<i>i</i> -Pentane	<i>i</i> -C ₅ H ₁₂	16.3 to 28.6	6.73457	992.019	229.564
1-Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	74.7 to 156.0	7.18246	1287.625	161.330
1-Pentene	C ₅ H ₁₀	12.8 to 30.7	6.84268	1043.206	233.344
Phenol	C ₆ H ₆ O	107.2 to 181.8	7.13301	1516.790	174.954
1-Propanol	C ₃ H ₈ O	60.2 to 104.6	7.74416	1437.686	198.463
2-Propanol	C ₃ H ₈ O	52.3 to 89.3	7.74021	1359.517	197.527
Propionic acid	C ₃ H ₆ O ₂	72.4 to 128.3	7.71423	1733.418	217.724
Propylene oxide	C ₃ H ₆ O	-24.2 to 34.8	7.01443	1086.369	228.594
Pyridine	C ₅ H ₅ N	67.3 to 152.9	7.04115	1373.799	214.979
Styrene	C ₈ H ₈	29.9 to 144.8	7.06623	1507.434	214.985
Toluene	C ₇ H ₈	35.3 to 111.5	6.95805	1346.773	219.693
1,1,1-Trichloroethane	C ₂ H ₃ Cl ₃	-5.4 to 16.9	8.64344	2136.621	302.769
1,1,2-Trichloroethane	C ₂ H ₃ Cl ₃	50.0 to 113.7	6.95185	1314.410	209.197
Trichloroethylene	C ₂ HCl ₃	17.8 to 86.5	6.51827	1018.603	192.731
Vinyl acetate	C ₄ H ₆ O ₂	21.8 to 72.0	7.21010	1296.130	226.655
Water*	H ₂ O	0 to 60	8.10765	1750.286	235.000
Water*	H ₂ O	60 to 150	7.96681	1668.210	228.000
<i>m</i> -Xylene	<i>m</i> -C ₈ H ₁₀	59.2 to 140.0	7.00646	1460.183	214.827
<i>o</i> -Xylene	<i>o</i> -C ₈ H ₁₀	63.5 to 145.4	7.00154	1476.393	213.872
<i>p</i> -Xylene	<i>p</i> -C ₈ H ₁₀	58.3 to 139.3	6.98820	1451.792	215.111

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

Table B.8 Specific Enthalpies of Selected Gases: SI Units

\hat{H} (kJ/mol)							
Reference state: Gas, $P_{\text{ref}} = 1 \text{ atm}$, $T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$							
T	Air	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
0	-0.72	-0.73	-0.73	-0.72	-0.73	-0.92	-0.84
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	2.19	2.24	2.19	2.16	2.19	2.90	2.54
200	5.15	5.31	5.13	5.06	5.16	7.08	6.01
300	8.17	8.47	8.12	7.96	8.17	11.58	9.57
400	11.24	11.72	11.15	10.89	11.25	16.35	13.23
500	14.37	15.03	14.24	13.83	14.38	21.34	17.01
600	17.55	18.41	17.39	16.81	17.57	26.53	20.91
700	20.80	21.86	20.59	19.81	20.82	31.88	24.92
800	24.10	25.35	23.86	22.85	24.13	37.36	29.05
900	27.46	28.89	27.19	25.93	27.49	42.94	33.32
1000	30.86	32.47	30.56	29.04	30.91	48.60	37.69
1100	34.31	36.07	33.99	32.19	34.37	54.33	42.18
1200	37.81	39.70	37.46	35.39	37.87	60.14	46.78
1300	41.34	43.38	40.97	38.62	41.40	65.98	51.47
1400	44.89	47.07	44.51	41.90	44.95	71.89	56.25
1500	48.45	50.77	48.06	45.22	48.51	77.84	61.09

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

INFORMATIONS UTILES

Date : Le jeudi 16 décembre 2021

Heure : 13 h 30 à 16 h 00

Documentation : Une feuille manuscrite recto verso 8.5" x 11"

Calculatrice : Calculatrice autorisée seulement

RÉPONDEZ DIRECTEMENT SUR LE QUESTIONNAIRE DANS L'ESPACE PRÉVU À CETTE FIN. NE DÉTACHEZ AUCUNE PAGE DE CE QUESTIONNAIRE.

CE QUESTIONNAIRE COMPREND 22 PAGES.

NOM : _____

MATRICULE : _____

PRÉNOM : _____

SIGNATURE : _____

Total : /20

Cet examen est composé de quatre questions :

Question 1 : Questions en rafale

Total	/4
--------------	-----------

Question 2 : Place au développement durable

A)	/0,75
B)	/2,25
Total	/3

Question 3 : La condensation d'acétone

A)	/2,5
B)	/3
Total	/5,5

Question 4 : Production d'huile chaude

A)	/1
B)	/1,5
C)	/2
D)	/3
Total	/7,5

Si vous n'avez pas suffisamment d'espace pour inscrire vos démarches dans une question, de l'espace supplémentaire est disponible à la page 18.

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

1. Questions en rafale

(4 points)

Temps suggéré : 20 minutes

Pour chacun des énoncés présentés dans le tableau ci-dessous, répondez à la question dans la colonne **Réponse**. Détaillez vos démarches dans la colonne **Calculs ou Justifications** lorsque les cases sont blanches.

Énoncé	Réponse	Calculs ou Justifications
A) Un gaz est refroidi à pression constante. Est-ce que sa masse volumique augmente, diminue ou reste constante? (0,25 point)	Augmente (0.25 point)	
B) Quelle serait la valeur de la température T_1 (en K) sachant que $T_2 = 111\text{K}$ et que $\Delta T = T_2 - T_1 = 129^\circ\text{F}$? (0,5 point)	39.3 K (0.25 point)	Calculs : $\Delta T(K) = \Delta T(^{\circ}\text{C}) = \Delta T(^{\circ}\text{F})/1.8 = 71.7\text{K}$ (0.25 point) $T_1 = 111 - 71.7 = 39.3\text{K}$
C) Qui suis-je? Pression à laquelle, pour une température donnée, il y a un équilibre liquide-vapeur. (0,25 point)	Tension de vapeur (0.25 point)	
D) La sélectivité est un rapport adimensionnel. Vrai ou Faux? (0,25 point)	FAUX	Si vous répondez Faux, justifiez votre réponse. La sélectivité possède des unités de mol X/mol Y. (0.25 point)
E) D'où provient la constante 3,76 dans la relation suivante : $\dot{n}_{N_2} = 3,76 \cdot \dot{n}_{O_2} ?$ (0,5 point)	Réponse et justification : $\frac{y_{N_2}}{y_{O_2}} = \frac{0.79}{0.21}$ (0,5 point)	

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

Énoncé	Réponse	Calculs ou Justifications
F) Un réservoir contient uniquement de l'ammoniac pur (NH_3) dont une fraction est en phase vapeur et l'autre en phase liquide. Sachant que la pression est de 5 atm, quelle est la température dans le réservoir ($^{\circ}\text{C}$)? (0,5 point)	$T = 4.4^{\circ}\text{C}$ (0.25 point)	<p><i>Calculs :</i></p> $P_{TOT} = P_{\text{NH}_3}^0 = 5 \text{ atm}$ <p>(0.25 point)</p> $\log(5 \cdot 760) = 7.55466 - \frac{1002.711}{T + 4.4}$ $T = 4.4^{\circ}\text{C}$
G) Un courant d'air humide à 20°C passe dans un séchoir afin de sécher des grains de maïs. Est-ce que l'humidité absolue du courant d'air entre l'entrée et la sortie augmente, diminue ou reste constante? (0,25 point)	Augmente (0.25 point)	
H) À la sortie d'un réacteur, les produits et les réactifs n'ayant pas réagi sont séparés, puis les réactifs sont entièrement recyclés à l'entrée du réacteur. La conversion simple-passe de chacun de ces réactifs est donc de 100%. Vrai ou Faux? (0,25 point)	FAUX (0.25 point)	<p><i>Justifiez votre réponse.</i></p> <p>C'est la conversion globale qui est de 100%.</p>
I) Dans un procédé réactif, la température de référence doit toujours être posée à 25°C . Vrai ou Faux ? Pourquoi ? (0,25 point)	VRAI (0.25 point)	<p><i>Justifiez votre réponse.</i></p> <p>Cela est obligatoire, car les chaleurs de formation sont tabulées à cette température.</p>

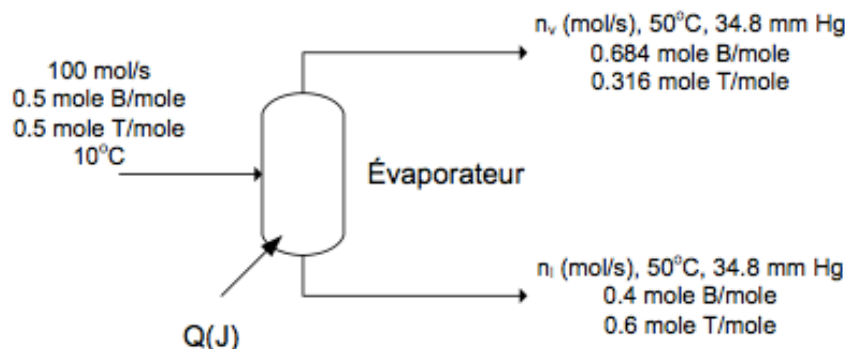
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2021

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

Énoncé	Réponse	Calculs ou Justifications
J) Si vous doublez le débit alimenté à un procédé réactif, alors l'enthalpie spécifique de chaque substance entrante au réacteur doublera aussi. Vrai ou Faux ? (0,25 point)	FAUX (0.25 point)	<i>Justifiez votre réponse.</i> L'enthalpie spécifique (kJ/mol) est indépendante de la quantité de matière.

K) Un mélange équimolaire de benzène (B, $T_{eb} = 80^{\circ}\text{C}$) et de toluène (T, $T_{eb} = 110^{\circ}\text{C}$) est alimenté de façon continue à 10°C à un évaporateur. Ce mélange est chauffé à 50°C et une partie du mélange se vaporise. Le produit liquide obtenu contient 40% molaire de B et la vapeur contient 68.4% molaire de B.

- i) Quelle formule permet de calculer l'enthalpie spécifique du toluène dans la phase vapeur en fonction de la référence posée ? Référence : $T_{(l)}$, 50°C , 1 atm. *Aucun calcul n'est requis pour cette question. (0,5 point)*
- ii) Quel sera le signe de la chaleur à fournir Q pour cet évaporateur ? Pourquoi ? **(0,25 point)**



$$\widehat{H}_T = \int_{50^{\circ}\text{C}}^{110^{\circ}\text{C}} C_{p_l} dT + \Delta H_{vap} + \int_{110^{\circ}\text{C}}^{50^{\circ}\text{C}} C_{p_g} dT \quad \text{(0,5 point)}$$

Q sera positif car on ajoute de l'énergie au système. (0,25 point)

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

2. Place au développement durable

(3 points)

Temps suggéré : 20 minutes

- A) Dans le contexte de la responsabilité sociale d'entreprise (RSE), identifiez deux éléments parmi les incitatifs et les exigences *vues dans les capsules vidéo du cours* qui motivent les entreprises à adopter des actions qui prônent une approche plus durable dans leurs activités.
(0,75 point)
-

→ Crédits carbone, normes resserrées, subventions pour projets à faibles émissions,

accréditations internationales, image de marque, valeurs d'entreprises, etc.

- B) Le projet Mozilla Firefox est un projet logiciel Open Source qui fournit entre autres le navigateur web du même nom, gratuitement. Un projet Open Source collaboratif comme Mozilla Firefox implique que des développeurs logiciels de partout dans le monde peuvent contribuer au code source en soumettant des suggestions d'améliorations et de nouvelles fonctionnalités (*merge request*). Toutes ces suggestions sont agglomérées dans un service web centralisé payant (*par exemple Gitlab*) qui performe automatiquement sur chacune d'elle des tests de qualité de code et d'intégration dans le cadre d'un processus préprogrammé de validation et d'intégration appelé *pipeline*. Dans le cas de ce projet spécifiquement, c'est plus de 100 000 *builds* (compilations de code) qui sont produits chaque jour. En effet, le navigateur web doit fonctionner sur plusieurs systèmes d'exploitation (Windows, MacOS, Linux...) et doit donc offrir des *builds* compatibles avec chacun d'eux. Évidemment, ces opérations automatiques sauvent énormément de temps de correction de qualité de code et de découverte de bogues.

- i) Donnez un impact positif de cette situation en regard du **pilier social** du développement durable. Vous devez expliquer clairement votre impact et faire un lien avec le pilier.
(0,75 point)
-

→ Le processus est beaucoup plus simple que si toutes ces intégrations étaient faites

manuellement. Il permet de sauver énormément de temps et d'améliorer la qualité du

travail produit en allégeant la tâche des responsables pour qu'ils se concentrent sur

d'autres aspects importants de leur travail.

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- ii) Donnez un impact positif ou négatif de cette situation en regard du **pilier environnemental** du développement durable. Vous devez expliquer clairement votre impact et faire un lien avec le pilier. **(0,75 point)**

→ La quantité d'énergie et d'infrastructure nécessaire pour supporter toutes ces

compilations est énorme. De plus, autant de suggestions proposées nécessitent un

espace de stockage non négligeable et une consommation électrique conséquente.

→ Cela évite les émissions de gaz à effet de serre qui serait engendrées si toutes ces

personnes devaient se rassembler dans un lieu physique (transport) pour partager ces suggestions. Cela évite aussi les émissions reliées à la communication de ces suggestions de code par courriel par exemple, car les pièces jointes qui voyagent sont toujours chargées au complet et restent dans les chaînes de message.

- iii) Tel que précisé en i), ce projet a des impacts positifs sur le pilier social du développement durable. Pourquoi alors ne peut-on pas qualifier ce projet de durable? Répondez en deux phrases au maximum. **(0,75 point)**

→ Simplement car un projet durable doit respecter équitablement l'ensemble des

sphères du développement durable, on ne peut pas qualifier un projet de durable s'il

n'en respecte qu'une des trois.

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

3. La condensation d'acétone

(5,5 points)

Temps suggéré : 40 minutes

Un courant gazeux contenant de l'acétone (CH_3COCH_3 , noté A sur le schéma) et de l'air sort d'une unité de récupération de solvant à un débit de 142 L/s, une température de 150°C et une pression de 1.3 atm. Ce courant est acheminé à un condenseur partiel où la majorité de l'acétone est liquéfié. Le condenseur partiel opère à -18°C et 5 atm.

Afin d'augmenter la pression de 1,3 atm à 5 atm, **un compresseur est intégré au condenseur et fourni un travail de 25.2 kW**. Un échantillon du courant gazeux à l'entrée du condenseur a été prélevé et analysé. On a alors déterminé que ce courant contient 15% molaire d'acétone. Le diagramme annoté est présenté à la figure suivante.

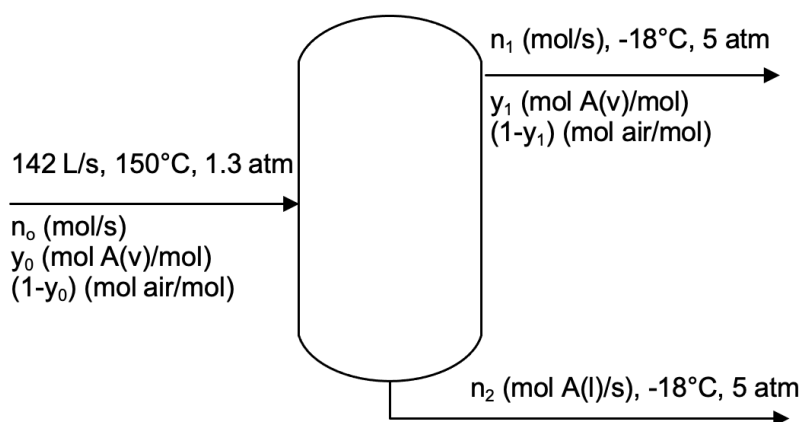


Figure 1 – Condenseur partiel d'acétone

Tableau 1 – Données utiles

Substance	$\Delta \hat{H}_{\text{vap}}$ (kJ/mol)	Cp du liquide (kJ/mol · °C)	Cp de la vapeur ou du gaz (kJ/mol · °C)
Acétone	30,2 ($T_{\text{eb}} = 56^\circ\text{C} @ P_{\text{atm}}$)	0,123	$0,072 + 0,0002 T$
Air	---	---	0,029

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

A) Calculez les débits molaires n_1 et n_2 à la sortie du condenseur ainsi que la fraction molaire y_1 .
(2,5 points)

Votre ami.e a résolu la lettre A), mais a fait des erreurs. Il a obtenu les débits partiels indiqués dans le tableau 2 suivant.

Tableau 2 – Débits partiels erronés obtenus en A) par votre ami.e

Substance	\dot{n}_{in} (mol/s)	\dot{n}_{out} (mol/s)
Acétone (l)	-	1,46
Acétone (g)	2,02	0,56
Air (g)	8,67	8,67

B) **En utilisant les débits partiels du tableau 2**, quelle quantité de chaleur (kW) doit être soustraite du condenseur afin de permettre le refroidissement de 150°C à -18°C ? **(3 points)**

A) Calculez les débits molaires n_1 et n_2 à la sortie du condenseur ainsi que la fraction molaire y_1 .
(2,5 points)

Conversion du débit d'entrée : $n = PV/RT = 1,3 \times 142 / (0,082 \times 423) = 5,32 \text{ mol/s}$ **(0,5 point)**

On a un équilibre L/V : $P^o_{AC}(-18^\circ\text{C}) = 10^{(7,11714 - 1210,592 / (-18 + 229,664))} = 21 \text{ mm Hg}$ **(0,25 point)**

Hypothèse : Les coefficients A, B et C sont valides même si nous sommes hors de l'intervalle de température.
(0,25 point)

Loi de Raoult : $P^o_{AC} x_{AC} = P_{tot} y_{AC}$ Ici, $x_{AC} = 1$ **(0,25 point)**

$y_{AC} = 21/760 / 5 = 0,0055 = y_1$ **(0,25 point)**

$y_{Air} = 1 - 0,0055 = 0,9944$

Bilan global : $5,32 = n_1 + n_2$ **(0,25 point)**

Bilan sur Ac : $0,15 \times 5,32 = 0,0055 n_1 + n_2$ **(0,25 point)**

On obtient : $0,798 = 0,0055 (5,32 - n_2) + n_2$

$n_2 = 0,773 \text{ mol}$ **(0,25 point)**

$n_1 = 5,32 - 0,773 = 4,547 \text{ mol}$ **(0,25 point)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

B) En utilisant les débits partiels du tableau 2, quelle quantité de chaleur (kW) doit être soustraite du condenseur afin de permettre le refroidissement de 150°C à -18°C ? **(3 points)**

Bilan d'énergie : $\dot{Q} - \dot{W}_S = \Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_K + \Delta \dot{E}_P$

Simplifications :

- Pas d'accélération importante : $\Delta \dot{E}_K = 0$
 - Pas de changement d'altitude : $\Delta \dot{E}_P = 0$
- $\dot{Q} = \dot{W}_S + \Delta \dot{H}$ **(0.5 point pour le bilan et les simplifications)**

États de référence: Acétone_(l) -18°C 1 atm et Air_(g) à -18°C et 1 atm. **(0.5 point)**

Substance	\dot{n}_i (mol/s)	\hat{H}_i (kJ/mol)	\dot{n}_j (mol/s)	\hat{H}_j (kJ/mol)
Acétone (l)	-	-	1,46	\hat{H}_3
Acétone (g)	2,02	\hat{H}_1	0,56	\hat{H}_4
Air (g)	8,67	\hat{H}_2	8,67	\hat{H}_5

$$\hat{H}_1 = \int_{-18^\circ\text{C}}^{56^\circ\text{C}} (C_p)_{\text{Ac(l)}} dT + (\Delta \hat{H}_v)_{\text{Ac}} + \int_{56^\circ\text{C}}^{150^\circ\text{C}} (C_p)_{\text{Ac(v)}} dT$$

$= 9.10 + 30.2 + 8.70 = 48 \text{ kJ/mol}$ **(0.5 point)**

$$\hat{H}_2 = \int_{-18^\circ\text{C}}^{150^\circ\text{C}} (C_p)_{\text{Air(g)}} dT = 4.87 \text{ kJ/mol}$$
 (0.25 point)

$\hat{H}_3 = 0$ **(0.25 point)**

$$\hat{H}_4 = \int_{-18^\circ\text{C}}^{56^\circ\text{C}} (C_p)_{\text{Ac(l)}} dT + (\Delta \hat{H}_v)_{\text{Ac}} + \int_{56^\circ\text{C}}^{-18^\circ\text{C}} (C_p)_{\text{Ac(v)}} dT$$

$= 9.10 + 30.2 + (-5.61) = 33.7 \text{ kJ/mol}$ **(0.5 point)**

$\hat{H}_5 = 0$ **(0.25 point)**

$$\dot{Q} = \dot{W}_S + \Delta \dot{H} = \dot{W}_S + \sum_{\text{sortie}} \dot{n}_j \hat{H}_j - \sum_{\text{entrée}} \dot{n}_i \hat{H}_i$$

$= -25.2 + [(0.56 \times 33.7)] - [(2.02 \times 48) + (8.67 \times 4.87)]$

$\dot{Q} = -154 \text{ kW}$ **(0.25 point)**

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

4. Production d'huile chaude

(7,5 points)

Temps suggéré : 60 minutes

Le diagramme d'écoulement partiellement annoté présenté ci-dessous illustre une fournaise permettant de chauffer une huile froide à 30°C circulant dans les tubes grâce à la combustion d'un courant d'hydrocarbures gazeux de 100 mol/s. Ce courant contient 40% molaire de n-butane (C_4H_{10}) et 60% molaire de n-pentane (C_5H_{12}).

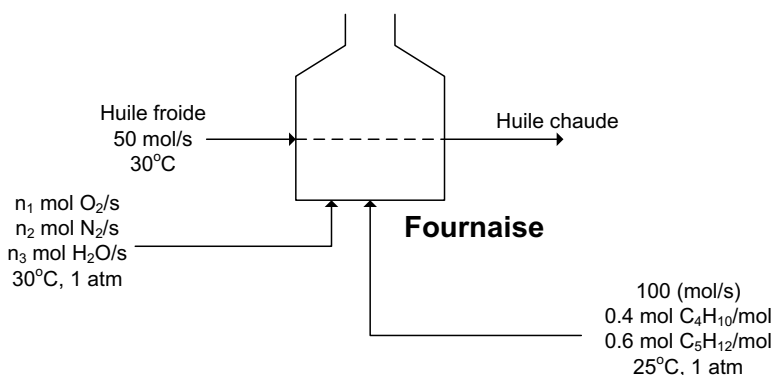
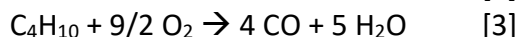
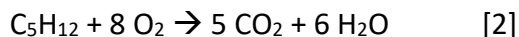


Figure 2 – Diagramme d'écoulement du procédé (à annoter adéquatement)

Le débit d'huile à chauffer est de 50 mol/s. Les hydrocarbures sont alimentés à 25°C et brûlés en présence d'air humide alimenté à 30°C et 1 atm. L'humidité relative de l'air est de 30%. Les gaz de combustion sortent à 600°C. Une analyse des gaz de combustion a permis de déterminer que les conversions du n-butane et du n-pentane sont de 90%. Les réactions de combustion sont représentées ci-dessous par les réactions 1 et 2.

De plus, cette analyse a révélé la présence de monoxyde de carbone (CO). Ce CO provient de la combustion incomplète uniquement du C_4H_{10} représenté par la réaction indésirable 3.



Finalement, l'excès d'air est de 50% et le rendement en CO_2 est de 84%.

Note : Vous pouvez annoter directement le diagramme précédent afin de déclarer les différentes variables que vous utiliserez.

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté sur la fournaise (sans considérer le courant d'huile) qui visera à calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion des hydrocarbures. **(1 point)**
- B) Déterminez les débits partiels du courant d'air humide alimenté à la fournaise. **(1,5 points)**
- C) Déterminez les débits partiels de la conduite des gaz de combustion. **(2 points)**
- D) En utilisant la méthode des chaleurs de réaction, calculez la quantité d'énergie transférée aux tubes de la fournaise (kW). **(3 points)**

Tableau 2 – Données utiles

Substances	$\Delta \hat{H}_f^\circ$ (kJ/mol)	Cp (kJ/mol • °C)	\hat{H}_i (kJ/mol) à 30°C (à partir d'une référence à 25°C)	\hat{H}_i (kJ/mol) à 600°C (à partir d'une référence à 25°C)
Huile	---	0.08	---	---
C ₄ H _{10(g)}	-124.7	0.092	---	53.0
C ₅ H _{12(g)}	-146.4	0.115	---	89.0
O _{2(g)}	0	---	0.15	---
N _{2(g)}	0	---	0.15	---
H _{2(g)}	0	---	---	---
CO _{2(g)}	-393.5	---	---	---
H ₂ O _(g)	-241.83	---	0.17	---
CO _(g)	-110.52	---	---	---

- A) Effectuez une analyse des degrés de liberté sur la fournaise (sans considérer le courant d'huile) qui visera à calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion des hydrocarbures. **(1 point)**

Inconnus : $n_1, n_2, n_3, n_4_{C_4H_{10}}, n_5_{C_5H_{12}}, n_6_{O_2}, n_7_{N_2}, n_8_{CO_2}, n_9_{H_2O}, n_{10_{CO}}, \xi_1, \xi_2, \xi_3, Q$ (14)

Équations : 6 bilans moléculaires réactifs (C₄H₁₀, C₅H₁₂, O₂, CO₂, CO, H₂O)

1 bilan moléculaire non-réactif (N₂)

4 spécifications (2 conversions, 1 excès, rendement)

1 spécification (HR)

1 bilan d'énergie

1 relation (ratio O₂/N₂ alimenté)

1 point (-0.5 par erreur)

0

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

B) Déterminez les débits partiels du courant d'air humide alimenté à la fournaise. **(1,5 points)**

$$\text{Excès} : 0.5 = (n_1 - n_{\text{O}_2\text{st}}) / n_{\text{O}_2\text{st}} \quad n_{\text{O}_2\text{st}} = 40 \times 13/2 + 60 \times 8 = 740 \text{ mol/s} \quad \textbf{(0.25 point)}$$

$$n_1 = \mathbf{1110 \text{ mol/s} \textbf{(0.25 point)}}$$

$$\text{Ratio} : n_1/n_2 = 0.21/0.79 \quad n_2 = \mathbf{4175.7 \text{ mol/s} \textbf{(0.25 point)}}$$

$$\text{Humidité relative} : 0.3 = P_{\text{H}_2\text{O}}/P_{\text{H}_2\text{O}}^0 \quad \text{Avec la loi d'Antoine} : P_{\text{H}_2\text{O}}^0(30^\circ\text{C}) = 31.83 \text{ mm Hg} \quad \textbf{(0.25 point)}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 9.55 \text{ mm Hg} \quad y_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}/P_{\text{tot}} = 0.0126 \quad \textbf{(0.25 point)}$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = n_3 / (n_1 + n_2 + n_3) \quad n_3 = \mathbf{67.45 \text{ mol/s} \textbf{(0.25 point)}}$$

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

C) Déterminez les débits partiels de la conduite des gaz de combustion. **(2 points)**

Bilans de matière sur la fournaise :

Bilans :

$$\text{C}_4\text{H}_{10} : n_{4_C4H10} = 40 - \xi_1 - \xi_3$$

$$\text{C}_5\text{H}_{12} : n_{5_C5H12} = 60 - \xi_2$$

$$\text{O}_2 : n_{6_O2} = 1110 - 13/2 \xi_1 - 8 \xi_2 - 9/2 \xi_3$$

$$\text{N}_2 : n_{7_N2} = n_2$$

$$\text{CO}_2 : n_{8_CO2} = 4\xi_1 + 5\xi_2$$

$$\text{H}_2\text{O} : n_{9_H2O} = n_3 + 5\xi_1 + 6\xi_2 + 5\xi_3$$

$$\text{CO} : n_{10_CO} = 4\xi_3 \quad \text{(0.5 point pour tous les bilans, -0.25 point par erreur)}$$

$$\text{Conversions : } 0.9 = (40 - n_{4_C4H10})/40 \quad n_{4_C4H10} = 4 \text{ mol/s}$$

$$0.9 = (60 - n_{5_C5H12})/60 \quad n_{5_C5H12} = 6 \text{ mol/s} \quad \text{(0.25 point)}$$

$$\text{On trouve alors : } \xi_2 = 54 \text{ mol/s} \quad \text{(0.25 point)}$$

$$\text{Rendement : } 0,84 = n_{8_CO2}/n_{8_CO2_Idéal} \quad n_{8_CO2_Idéal} = 4*40 + 5*60 = 460 \text{ mol/s} \quad \text{(0.25 point)}$$

$$0,84 = 4\xi_1 + 5\xi_2 / 460 = 4\xi_1 + 5*54 / 460 \quad \xi_1 = 29,1 \text{ mol/s} \quad \text{(0.25 point)}$$

$$\text{Avec le bilan sur C}_4\text{H}_{10} : \xi_3 = 40 - 29,1 - 4 = 6,9 \text{ mol/s} \quad \text{(0.25 point)}$$

$$\text{On obtient alors : } n_{6_O2} = 457.8 \text{ mol/s}$$

$$n_{7_N2} = 4175.7 \text{ mol/s}$$

$$n_{8_CO2} = 386.4 \text{ mol/s}$$

$$n_{9_H2O} = 571.45 \text{ mol/s}$$

$$n_{10_CO} = 27.6 \text{ mol/s} \quad \text{(0.25 point pour les valeurs finales)}$$

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

- D) En utilisant la méthode des chaleurs de réaction, calculez la quantité d'énergie transférée aux tubes de la fournaise (kW). **(3 points)**

Bilan d'énergie : $Q - W_s = \Delta E_K + \Delta E_P + \Delta H$

$W_s = 0$ (pas de pièces mobiles)

$\Delta E_K = 0$ (diamètres des conduites inconnus)

$\Delta E_P = 0$ (Δz considéré négligeable) **(0.5 point)**

$Q = \Delta H$

Références : $C_4H_{10(g)}$, $C_5H_{12(g)}$, $O_{2(g)}$, $N_{2(g)}$, $CO_{2(g)}$, $H_2O_{(g)}$, $CO_{(g)}$ à 25°C et 1 atm **(0.5 point)**

Tableau des enthalpies :

Substance	n_{in} (mol/s)	\hat{H}_{in} (kJ/mol)	n_{out} (mol/s)	\hat{H}_{out} (kJ/mol)
$C_4H_{10(g)}$	40	\hat{H}_1	4	\hat{H}_6
$C_5H_{12(g)}$	60	\hat{H}_2	6	\hat{H}_7
$O_{2(g)}$	1110	\hat{H}_3	457.8	\hat{H}_8
$N_{2(g)}$	4175.7	\hat{H}_4	4175.7	\hat{H}_9
$CO_{2(g)}$	---	---	386.4	\hat{H}_{10}
$H_2O_{(g)}$	67.45	\hat{H}_5	571.45	\hat{H}_{11}
$CO_{(g)}$	---	---	27.6	\hat{H}_{12}

Calcul des enthalpies :

$\hat{H}_1 = 0$

$\hat{H}_2 = 0$

$\hat{H}_3 = 0.15$ kJ/mol

$\hat{H}_4 = 0.15$ kJ/mol

$\hat{H}_5 = 0.17$ kJ/mol

$\hat{H}_6 = 53$ kJ/mol

$\hat{H}_7 = 89$ kJ/mol

$\hat{H}_8 = 18.41$ kJ/mol

$\hat{H}_9 = 17.39$ kJ/mol **(0.5 point, - 0.25 point par erreur)**

$\hat{H}_{10} = 26.53$ kJ/mol

$\hat{H}_{11} = 20.91$ kJ/mol

$\hat{H}_{12} = 17.57$ kJ/mol

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

MATRICULE ÉTUDIANT : _____

Calcul des chaleurs de réactions : **(0.75 point)**

$$\widehat{H}_{R1}^o = -2658.5 \text{ kJ/mole}$$

$$\widehat{H}_{R2}^o = -3272.1 \text{ kJ/mole}$$

$$\widehat{H}_{R3}^o = -1526.5 \text{ kJ/mole}$$

Calcul de la chaleur fournie :

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = \xi_1 H_{R1}^o + \xi_2 H_{R2}^o + \xi_3 H_{R3}^o + \sum n_{out} H_{out} - \sum n_{in} H_{in} \quad \textbf{(0.25 point)}$$

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = 29.1 * (-2658.5) + 54 * (-3272.1) + 6.9 * (-1526.5) + 104475 - 804$$

$$\dot{Q} = \Delta \dot{H} = -160918 \text{ kW}$$

(0.5 point)

Bonne chance !
Patrice Farand

MATRICULE ÉTUDIANT :

**Page supplémentaire pour inscrire vos démarches
(Inscrivez clairement le numéro de la question)**

MATRICULE ÉTUDIANT :

Annexes

Tableau de conversion d'unités

Quantité	Équivalences
Masse	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 0,001 \text{ t} = 2,20462 \text{ lb}_m = 35,27392 \text{ oz}$ $1 \text{ lb}_m = 16 \text{ oz} = 453,593 \text{ g}$
Longueur	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m} = 10^{10} \text{ Å}$ $= 39,37 \text{ po} = 3,2808 \text{ pi} = 1,0936 \text{ vg} = 0,0006214 \text{ mi}$ $1 \text{ pi} = 12 \text{ po} = 1/3 \text{ vg} = 0,3048 \text{ m} = 30,38 \text{ cm}$
Volume	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^6 \text{ mL}$ $= 35,3145 \text{ pi}^3 = 264,17 \text{ gal}$ $1 \text{ pi}^3 = 1728 \text{ po}^3 = 7,4805 \text{ gal} = 0,028317 \text{ m}^3 = 28,317 \text{ L} = 28\,317 \text{ cm}^3$
Force	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 10^5 \text{ dyn} = 10^5 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2 = 0,22481 \text{ lb}_f$ $1 \text{ lb}_f = 32,174 \text{ lb}_m\cdot\text{ft}/\text{s}^2 = 4,4482 \text{ N} = 4,4482 \times 10^5 \text{ dyn}$
Pression	$1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 (\text{Pa}) = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$ $= 1,01325 \times 10^6 \text{ dyn}/\text{cm}^2 =$ $= 760 \text{ mm Hg à } 0^\circ\text{C} = 10,333 \text{ m H}_2\text{O à } 4^\circ\text{C}$ $= 14,696 \text{ lb}_f/\text{po}^2 (\text{psi}) = 33,9 \text{ pi H}_2\text{O à } 4^\circ\text{C}$ $= 29,921 \text{ po Hg à } 0^\circ\text{C}$
Énergie	$1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m} = 10^7 \text{ dyn}\cdot\text{cm}$ $= 2,778 \times 10^{-7} \text{ kW}\cdot\text{h} = 0,23901 \text{ cal}$ $= 9,486 \times 10^{-4} \text{ Btu}$
Puissance	$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s} = 0,23901 \text{ cal}/\text{s} = 9,486 \times 10^{-4} \text{ Btu}/\text{s} = 1,341 \times 10^{-3} \text{ hp}$

GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES
EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2021

Tableau périodique des éléments

[illegible]

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE

GCH2730 — ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LES SYSTÈMES INFORMATIQUES

EXAMEN FINAL — AUTOMNE 2021

MATRICULE ÉTUDIANT :

Table B.4 Antoine Equation Constants*

Compound	Formula	Range (°C)	A	B	C
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	-0.2 to 34.4	8.00552	1600.017	291.809
Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	29.8 to 126.5	7.38782	1533.313	222.309
Acetic acid*	C ₂ H ₄ O ₂	0 to 36	7.18807	1416.7	225
Acetic anhydride	C ₄ H ₆ O ₃	62.8 to 139.4	7.14948	1444.718	199.817
Acetone	C ₃ H ₆ O	-12.9 to 55.3	7.11714	1210.595	229.664
Acrylic acid	C ₃ H ₄ O ₂	20.0 to 70.0	5.65204	648.629	154.683
Ammonia*	NH ₃	-83 to 60	7.55466	1002.711	247.885
Aniline	C ₆ H ₇ N	102.6 to 185.2	7.32010	1731.515	206.049
Benzene	C ₆ H ₆	14.5 to 80.9	6.89272	1203.531	219.888
<i>n</i> -Butane	<i>n</i> -C ₄ H ₁₀	-78.0 to -0.3	6.82485	943.453	239.711
<i>i</i> -Butane	<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	-85.1 to -11.6	6.78866	899.617	241.942
1-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	89.2 to 125.7	7.36366	1305.198	173.427
2-Butanol	C ₄ H ₁₀ O	72.4 to 107.1	7.20131	1157.000	168.279
1-Butene	C ₄ H ₈	-77.5 to -3.7	6.53101	810.261	228.066
Butyric acid	C ₄ H ₈ O ₂	20.0 to 150.0	8.71019	2433.014	255.189
Carbon disulfide	CS ₂	3.6 to 79.9	6.94279	1169.110	241.593
Carbon tetrachloride	CCl ₄	14.1 to 76.0	6.87926	1212.021	226.409
Chlorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	62.0 to 131.7	6.97808	1431.053	217.550
Chlorobenzene*	C ₆ H ₅ Cl	0 to 42	7.10690	1500.0	224.0
Chlorobenzene*	C ₆ H ₅ Cl	42 to 230	6.94504	1413.12	216.0
Chloroform	CHCl ₃	-10.4 to 60.3	6.95465	1170.966	226.232
Chloroform*	CHCl ₃	-30 to 150	6.90328	1163.03	227.4
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	19.9 to 81.6	6.84941	1206.001	223.148
Cyclohexanol	C ₆ H ₁₂ O	93.7 to 160.7	6.25530	912.866	109.126
<i>n</i> -Decane	<i>n</i> -C ₁₀ H ₂₂	94.5 to 175.1	6.95707	1503.568	194.738
1-Decene	C ₁₀ H ₂₀	86.8 to 171.6	6.95433	1497.527	197.056
1,1-Dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	-38.8 to 17.6	6.97702	1174.022	229.060
1,2-Dichloroethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	-30.8 to 99.4	7.02530	1271.254	222.927
Dichloromethane	C ₂ H ₄ Cl ₂	-40.0 to 40	7.40916	1325.938	252.616
Diethyl ether	C ₄ H ₁₀ O	-60.8 to 19.9	6.92032	1064.066	228.799
Diethyl ketone	C ₅ H ₁₀ O	56.5 to 111.3	7.02529	1310.281	214.192
Diethylene glycol	C ₄ H ₁₀ O ₂	130.0 to 243.0	7.63666	1939.359	162.714
Dimethyl ether	C ₂ H ₆ O	-78.2 to -24.9	6.97603	889.264	241.957
Dimethylamine	C ₂ H ₇ N	-71.8 to 6.9	7.08212	960.242	221.667
<i>N,N</i> -Dimethylformamide	C ₃ H ₇ NO	30.0 to 90.0	6.92796	1400.869	196.434
1,4-Dioxane	C ₄ H ₈ O ₂	20.0 to 105.0	7.43155	1554.679	240.337
Ethanol	C ₂ H ₆ O	19.6 to 93.4	8.11220	1592.864	226.184
Ethanolamine	C ₂ H ₇ NO	65.4 to 170.9	7.45680	1577.670	173.368
Ethyl acetate	C ₄ H ₈ O ₂	15.6 to 75.8	7.10179	1244.951	217.881
Ethyl acetate*	C ₄ H ₈ O ₂	-20 to 150	7.09808	1238.710	217.0
Ethyl chloride	C ₂ H ₅ Cl	-55.9 to 12.5	6.98647	1030.007	238.612
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	56.5 to 137.1	6.95650	1423.543	213.091

Table B.4 (Continued)

Compound	Formula	Range (°C)	A	B	C
Ethylene glycol	C ₂ H ₆ O ₂	50.0 to 200.0	8.09083	2088.936	203.454
Ethylene oxide	C ₂ H ₄ O	0.3 to 31.8	8.69016	2005.779	334.765
1,2-Ethylenediamine	C ₂ H ₈ N ₂	26.5 to 117.4	7.16871	1336.235	194.366
Formaldehyde	HCHO	-109.4 to -22.3	7.19578	970.595	244.124
Formic acid	CH ₂ O ₂	37.4 to 100.7	7.58178	1699.173	260.714
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	183.3 to 260.4	6.16501	1036.056	28.097
<i>n</i> -Heptane	<i>n</i> -C ₇ H ₁₆	25.9 to 99.3	6.90253	1267.828	216.823
<i>i</i> -Heptane	<i>i</i> -C ₇ H ₁₆	18.5 to 90.9	6.87689	1238.122	219.783
1-Heptene	C ₇ H ₁₄	21.6 to 94.5	6.91381	1265.120	220.051
<i>n</i> -Hexane	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄	13.0 to 69.5	6.88555	1175.817	224.867
<i>i</i> -Hexane	<i>i</i> -C ₆ H ₁₄	12.8 to 61.1	6.86839	1151.401	228.477
1-Hexene	C ₆ H ₁₂	15.9 to 64.3	6.86880	1154.646	226.046
Hydrogen Cyanide	HCN	-16.4 to 46.2	7.52823	1329.49	260.418
Methanol	CH ₃ OH	14.9 to 83.7	8.08097	1582.271	239.726
Methanol*	CH ₃ OH	-20 to 140	7.87863	1473.11	230.0
Methyl acetate	C ₃ H ₆ O ₂	1.8 to 55.8	7.06524	1157.630	219.726
Methyl bromide	CH ₃ Br	-70.0 to 3.6	7.09084	1046.066	244.914
Methyl chloride	CH ₃ Cl	-75.0 to 5.0	7.09349	948.582	249.336
Methyl ethyl ketone	C ₅ H ₁₀ O	42.8 to 88.4	7.06356	1261.339	221.969
Methyl isobutyl ketone	C ₆ H ₁₂ O	21.7 to 116.2	6.67272	1168.408	191.944
Methyl methacrylate	C ₅ H ₈ O ₂	39.2 to 89.2	8.40919	2050.467	274.369
Methylamine	CH ₃ N	-83.1 to -6.2	7.33690	1011.532	233.286
Methylcyclohexane	C ₇ H ₁₄	25.6 to 101.8	6.82827	1273.673	221.723
Naphthalene	C ₁₀ H ₈	80.3 to 179.5	7.03358	1756.328	204.842
Nitrobenzene	C ₆ H ₅ NO ₂	134.1 to 210.6	7.11562	1746.586	201.783
Nitromethane	CH ₃ NO ₂	55.7 to 136.4	7.28166	1446.937	227.600
<i>n</i> -Nonane	<i>n</i> -C ₉ H ₂₀	70.3 to 151.8	6.93764	1430.459	201.808
1-Nonane	C ₉ H ₁₈	66.6 to 147.9	6.95777	1437.862	205.814
<i>n</i> -Octane	<i>n</i> -C ₈ H ₁₈	52.9 to 126.6	6.91874	1351.756	209.100
<i>i</i> -Octane	<i>i</i> -C ₈ H ₁₈	41.7 to 118.5	6.88814	1319.529	211.625
1-Octene	C ₈ H ₁₆	44.9 to 122.2	6.93637	1355.779	213.022
<i>n</i> -Pentane	<i>n</i> -C ₅ H ₁₂	13.3 to 36.8	6.84471	1060.793	231.541
<i>i</i> -Pentane	<i>i</i> -C ₅ H ₁₂	16.3 to 28.6	6.73457	992.019	229.564
1-Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	74.7 to 156.0	7.18246	1287.625	161.330
1-Pentene	C ₅ H ₁₀	12.8 to 30.7	6.84268	1043.206	233.344
Phenol	C ₆ H ₆ O	107.2 to 181.8	7.13301	1516.790	174.954
1-Propanol	C ₃ H ₈ O	60.2 to 104.6	7.74416	1437.686	198.463
2-Propanol	C ₃ H ₈ O	52.3 to 89.3	7.74021	1359.517	197.527
Propionic acid	C ₃ H ₆ O ₂	72.4 to 128.3	7.71423	1733.418	217.724
Propylene oxide	C ₃ H ₆ O	-24.2 to 34.8	7.01443	1086.369	228.594
Pyridine	C ₅ H ₅ N	67.3 to 152.9	7.04115	1373.799	214.979
Styrene	C ₈ H ₈	29.9 to 144.8	7.06623	1507.434	214.985
Toluene	C ₇ H ₈	35.3 to 111.5	6.95805	1346.773	219.693
1,1,1-Trichloroethane	C ₂ H ₃ Cl ₃	-5.4 to 16.9	8.64344	2136.621	302.769
1,1,2-Trichloroethane	C ₂ H ₃ Cl ₃	50.0 to 113.7	6.95185	1314.410	209.197
Trichloroethylene	C ₂ HCl ₃	17.8 to 86.5	6.51827	1018.603	192.731
Vinyl acetate	C ₄ H ₆ O ₂	21.8 to 72.0	7.21010	1296.130	226.655
Water*	H ₂ O	0 to 60	8.10765	1750.286	235.000
Water*	H ₂ O	60 to 150	7.96681	1668.210	228.000
<i>m</i> -Xylene	<i>m</i> -C ₈ H ₁₀	59.2 to 140.0	7.00646	1460.183	214.827
<i>o</i> -Xylene	<i>o</i> -C ₈ H ₁₀	63.5 to 145.4	7.00154	1476.393	213.872
<i>p</i> -Xylene	<i>p</i> -C ₈ H ₁₀	58.3 to 139.3	6.98820	1451.792	215.111

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

MATRICULE ÉTUDIANT :

Table B.8 Specific Enthalpies of Selected Gases: SI Units

\hat{H} (kJ/mol)							
Reference state: Gas, $P_{\text{ref}} = 1 \text{ atm}$, $T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$							
T	Air	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
0	-0.72	-0.73	-0.73	-0.72	-0.73	-0.92	-0.84
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	2.19	2.24	2.19	2.16	2.19	2.90	2.54
200	5.15	5.31	5.13	5.06	5.16	7.08	6.01
300	8.17	8.47	8.12	7.96	8.17	11.58	9.57
400	11.24	11.72	11.15	10.89	11.25	16.35	13.23
500	14.37	15.03	14.24	13.83	14.38	21.34	17.01
600	17.55	18.41	17.39	16.81	17.57	26.53	20.91
700	20.80	21.86	20.59	19.81	20.82	31.88	24.92
800	24.10	25.35	23.86	22.85	24.13	37.36	29.05
900	27.46	28.89	27.19	25.93	27.49	42.94	33.32
1000	30.86	32.47	30.56	29.04	30.91	48.60	37.69
1100	34.31	36.07	33.99	32.19	34.37	54.33	42.18
1200	37.81	39.70	37.46	35.39	37.87	60.14	46.78
1300	41.34	43.38	40.97	38.62	41.40	65.98	51.47
1400	44.89	47.07	44.51	41.90	44.95	71.89	56.25
1500	48.45	50.77	48.06	45.22	48.51	77.84	61.09