

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

INFORMATIONS UTILES

Date : Le vendredi 22 octobre 2021

Heure : 12 h 45 à 14 h 35

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. SI VOUS UTILISEZ LE VERSO DES PAGES, VEUILLEZ L'INDIQUER CLAIREMENT. NE DÉTACHEZ AUCUNE PAGE DE CE QUESTIONNAIRE.

CE QUESTIONNAIRE COMPREND 14 PAGES.

NOM : _____

MATRICULE : _____

PRÉNOM : _____

SIGNATURE : _____

Total : /20

Cet examen est composé de quatre questions :

Question	Temps suggéré	Pondération
Question 1 : Questions en rafale	15 minutes	2,5 points
Question 2 : Le développement durable et vous...	20 minutes	4 points
Question 3 : Climatisation de votre salle d'examen	15 minutes	3,5 points
Question 4 : Production d'éthanol dénaturé	60 minutes	10 points

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

1. Questions en rafale

(2,5 points)

Temps suggéré : 15 minutes

- A) Un mélange liquide ayant une masse molaire moyenne de 23,7 g/mol s'écoule dans une conduite. Un débitmètre installé sur cette même conduite indique une valeur de 148,3 ft³/h. Sachant que le débit molaire total dans la conduite est de 124 000 mol/h, déterminez la masse volumique du mélange (kg/m³). **(1,5 point)**

Conversion du débit molaire en débit massique :

$$124\,000 \text{ mol/h} \times 23,7 \text{ g/mol} \times 1 \text{ kg}/1000 \text{ g} = 2939 \text{ kg/h} \quad \textbf{(0.5 point)}$$

Conversion du débit volumique :

$$148,3 \text{ ft}^3/\text{h} \times 1 \text{ m}^3/35,3145 \text{ ft}^3 = 4,2 \text{ m}^3/\text{h} \quad \textbf{(0.5 point)}$$

Calcul de la masse volumique :

$$\rho = 2939 \text{ kg/h} / 4,2 \text{ m}^3/\text{h} = \textbf{697 kg/m}^3 \quad \textbf{(0.5 point)}$$

- B) Soit un mélange formé de 20 g de benzène (C₆H₆) et de 40 g de toluène (C₇H₈). Lequel des énoncés suivants est faux ? Encerclez votre réponse. **(0,5 point)**

- a. La fraction massique du benzène dans le mélange est de 0,33.
- b. La fraction molaire du benzène dans le mélange est de 0,37.
- c. Le nombre de molécules de benzène dans le mélange est supérieur au nombre de molécules de toluène.
- d. Le nombre total d'atomes de carbone provenant du benzène est inférieur au nombre total d'atomes de carbone provenant du toluène.

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

C) Déterminez si l'énoncé suivant est vrai ou faux. Justifiez votre réponse. **(0,5 point)**

Dans un courant d'air humide à pression atmosphérique, une augmentation de la température entraîne augmentation de l'humidité absolue.

Faux, car le ratio kg eau/ kg air sec demeure constant. L'air n'est que réchauffé sans ajout

ou retrait de matière. (0,5 point ou 0 point)

2. Le développement durable et vous...

(4 points)

Temps suggéré : 20 minutes

A) Selon les capsules portant sur le développement durable écoutées dans le cadre de notre cours, donnez l'objectif principal du protocole de Kyoto, puis identifiez le seul pays qui s'est retiré de ce protocole en 2011. **(1 point)**

Réduction de l'émission des gaz à effets de serre (0,5 point), Canada (0,5 point)

B) Selon les capsules portant sur le développement durable écoutées dans le cadre de notre cours, identifiez deux initiatives de l'ONU pour la mobilisation mondiale en matière de développement durable. **(1 point)**

Accord de Paris, Rapport du GIEC de 2018, les 17 objectifs du développement durable pour 2030.

(0,5 point par initiative)

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

- C) Les applications de photos des téléphones récents permettent une sauvegarde synchronisée dans le nuage. Depuis peu, ces applications proposent aussi une nouvelle fonctionnalité à leurs utilisateurs : un algorithme analyse les images et propose de supprimer d'anciennes captures d'écran ou encore des égoportraits ratés. **(2 points)**

Identifiez et justifiez deux impacts d'une telle mesure sur les piliers du développement durable. Chacun des deux impacts doit être sur **un pilier différent** que vous devez identifier clairement.

Impact 1 : Plusieurs réponses possibles

Impact 2 : Plusieurs réponses possibles

3. Climatisation de votre salle d'examen

(3,5 points)

Temps suggéré : 15 minutes

Le procédé partiellement annoté ci-dessous est un procédé de climatisation permettant de retirer de l'eau à partir d'un courant d'air extérieur et de l'acheminer dans votre salle d'examen. À la sortie du climatiseur, une boucle de recirculation permet d'acheminer une partie de l'air asséché à l'entrée du procédé.

De l'air frais à 30°C et 1 atm contenant 4,00 % molaire de vapeur d'eau et 96% molaire d'air sec (noté AS sur le schéma) doit être refroidi et déshumidifié jusqu'à une teneur de 1,70 % molaire d'H₂O. Le flux d'air frais est combiné à un flux d'air recyclé précédemment déshumidifié. Le mélange de ces deux flux, contenant 2,30 % molaire de H₂O, est introduit dans l'unité de refroidissement où l'eau est condensée et enlevée à l'état liquide. Une fraction de l'air déshumidifié est séparée pour être recyclée, le reste étant libéré dans votre salle d'examen.

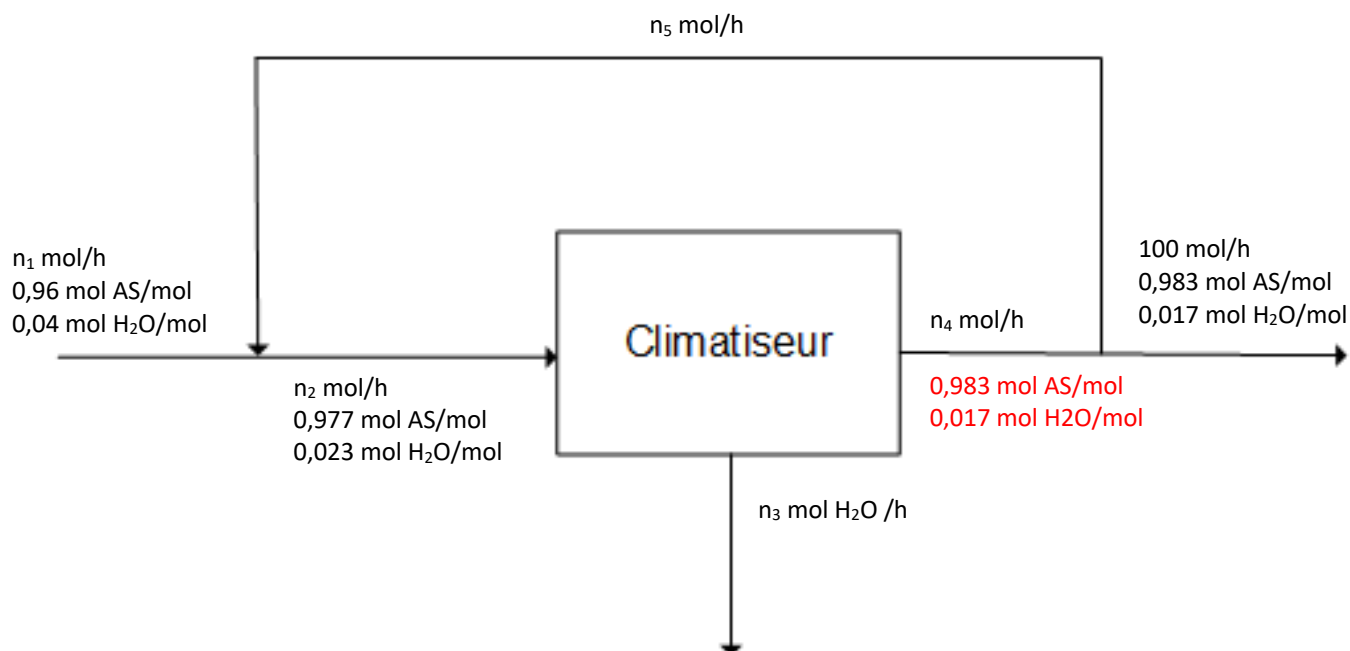


Figure 1 – Procédé de climatisation

A) Comment varient les compositions en air sec (AS) et en eau (H₂O) entre l'entrée et la sortie du point de division ? Justifiez votre réponse. **(0,5 point)**

Elles ne varient pas, car le point de division ne fait que séparer une conduite en deux.

Il n'y a aucun ajout ou retrait de matière. (0,5 point ou 0)

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

- B) Outre le système du climatiseur, nommez les différents systèmes sur lesquels vous pouvez réaliser une analyse des degrés de liberté. **(0,5 point)**

Système global, point de mélange, point de division (0,5 point ou 0 point)

- C) Faites l'analyse des degrés de liberté sur le climatiseur en prenant soin d'annoter le schéma précédent si des informations sont manquantes. **(1 point)**

DDL : inconnues : n_2, n_3, n_4
 Équations : $\frac{2 \text{ BMI (AS et H}_2\text{O)}}{1}$

Écriture des compositions du courant 4 sur le schéma absente : -0,5 point

DDL : 1 point ou 0 point

- D) Calculez l'humidité relative de l'air frais à l'entrée du procédé. **(1 point)**

$$HR = P_{H_2O} / P^{\circ}_{H_2O}$$

$$P_{H_2O} = P_{\text{tot}} y_{H_2O} = 760 \text{ mm Hg} \times 0,04 = 30,4 \text{ mm Hg} \quad (0,25 \text{ point})$$

$$P^{\circ}_{H_2O} : \quad \log P^{\circ}_{H_2O} = 8,10765 - 1750,286 / (30 + 235)$$

$$P^{\circ}_{H_2O} = 31,83 \text{ mm Hg} \quad (0,5 \text{ point})$$

$$HR = 30,4 / 31,83 = 95,5\% \quad (0,25 \text{ point})$$

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

E) Calculez le débit d'eau condensé n_3 (mol H₂O/h). (0,5 point)

Bilan global sur l'air sec : $0,96 n_1 = 100 * 0,983$ $n_1 = 102,4$ mol/h (0,25 point)

Bilan global sur l'eau : $0,04 n_1 = n_3 + 100 * 0,017$ $n_3 = 2,40$ mol/h (0,25 point)

4. Production d'éthanol dénaturé

(10 points)

Temps suggéré : 60 minutes

L'éthanol (ou bioéthanol) (C₂H₅OH ou C₂H₆O) produit à partir de biomasse doit absolument être dénaturé avant de pouvoir être utilisé comme source d'énergie. Afin de le rendre impropre à la consommation et ainsi éviter plusieurs problèmes (comme la contrebande ou l'utilisation artisanale), une petite quantité d'un autre composé chimique (le méthanol CH₃OH dans notre cas) doit être ajoutée au bioéthanol avant la revente. Le procédé présenté à la figure suivante montre le diagramme d'écoulement des dernières étapes du procédé de fabrication d'éthanol.

Un mélange de 1000 mol/h formé d'eau et d'éthanol entre tout d'abord dans le courant 1 dans une colonne à distiller (DIST-01) pour y être séparé. Ce courant contient 80% molaire d'éthanol et de 20% molaire d'eau.

Le courant vapeur 2 entre dans un condenseur (HX-01) où il est **partiellement** condensé. La sortie du condenseur est acheminée au ballon de reflux R-01 qui contient du liquide et de la vapeur et dont la température est de 50°C. Le courant liquide 3 sortant de R-01 est retourné à la colonne DIST-01 alors que le courant gazeux 4 passe à travers un condenseur **total** HX-02. Ce courant contient 95% molaire d'éthanol et 5% molaire d'eau. De plus, 90% molaire de l'éthanol alimenté à la colonne à distiller se retrouve dans le courant 4.

Après s'être condensé, le courant 4 est acheminé vers la colonne d'extraction solide/liquide SL-01 où la solution entre en contact avec une poudre de sulfate de magnésium MgSO₄ provenant du courant 7. Le sulfate de magnésium permet d'assécher l'éthanol en captant **toutes** les molécules d'eau avec un ratio de 7 moles d'eau pour 1 mole de MgSO₄. À la sortie de l'extracteur, l'éthanol asséché du courant 8 se combine avec du méthanol CH₃OH du courant 9. Le mélange d'éthanol dénaturé avec du méthanol contient 92% molaire d'éthanol et sort par le courant 10.

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

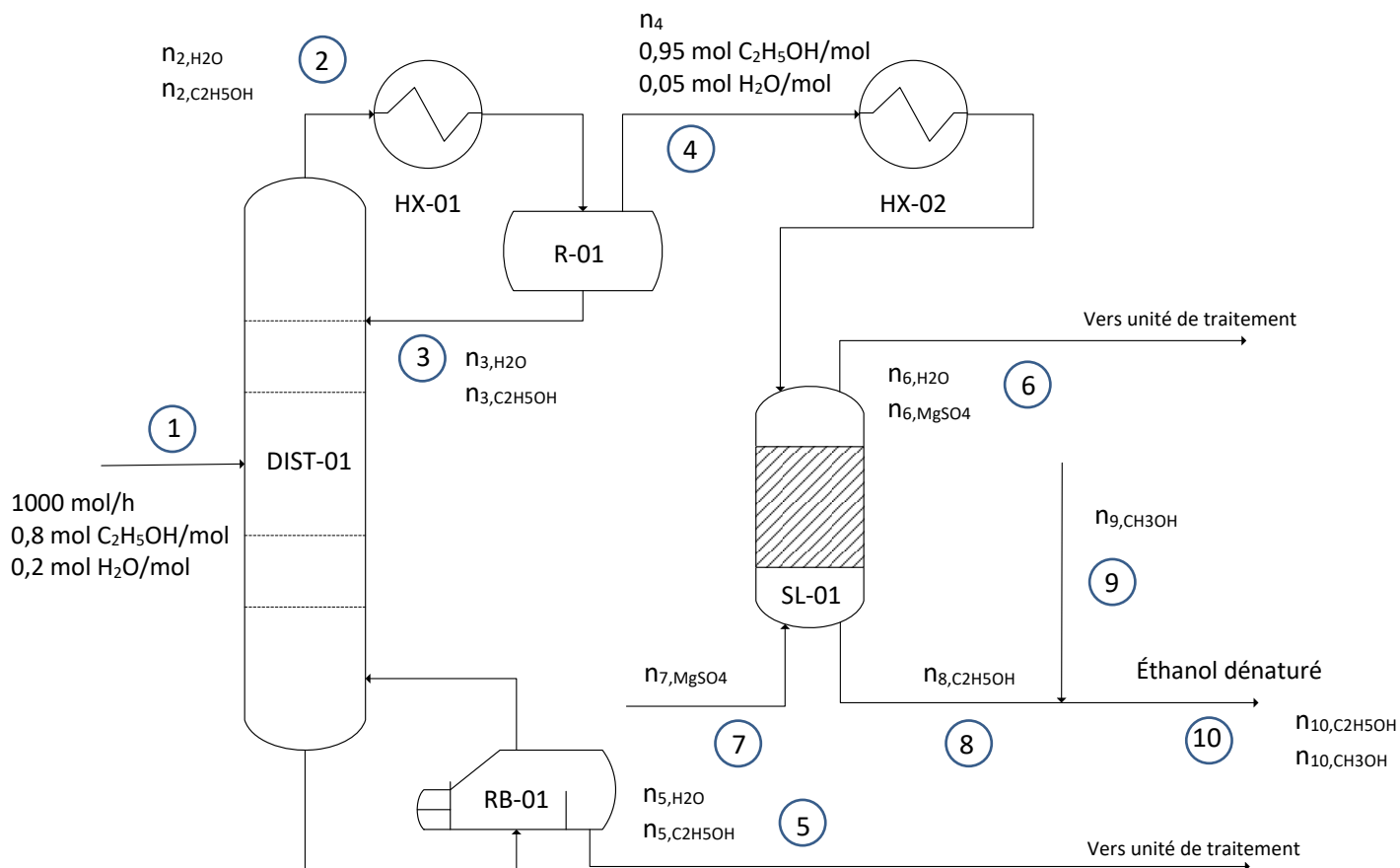


Figure 2 – Diagramme d'écoulement du procédé

A) Effectuez une analyse des degrés de liberté sur le système de distillation (courants 1, 4 et 5).
(0,5 point)

DDL :

Inconnues : n_4 , n_{5,H_2O} , n_{5,C_2H_5OH}

Équations : 2 BMI (H_2O et C_2H_5OH)

1 spécification (90% molaire...)

0

(0,5 point ou 0 point)

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

- B) Déterminez le débit total du courant 4 (mol/h) et les débits partiels du courant 5 (mol/h).
(1,5 point)

Spécification :

$$1000 * 0,8 * 0,9 = 0,95 * n_4$$

$$n_4 = 758 \text{ mol/h}$$

(0,5 point)

Bilans sur le système de distillation :

$$\text{Bilan sur le C}_2\text{H}_5\text{OH} : 800 = 0,95 n_4 + n_{5,\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$$

$$n_{5,\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 80 \text{ mol/h} \quad (0,5 \text{ point})$$

$$\text{Bilan sur H}_2\text{O} : 200 = 0,05 n_4 + n_{5,\text{H}_2\text{O}}$$

$$n_{5,\text{H}_2\text{O}} = 162 \text{ mol/h} \quad (0,5 \text{ point})$$

- C) Déterminez le débit **massique** (kg/h) de MgSO_4 du courant 7 nécessaire pour assécher complètement l'éthanol. (1,5 points)

$$\text{Débit d'eau à retirer: } n_{4,\text{H}_2\text{O}} = 758 * 0,05 = 38 \text{ mol/h}$$

(0,5 point)

Avec l'information sur MgSO_4 , on trouve le nombre de mole requis :

$$\frac{n_{6,\text{H}_2\text{O}}}{n_{6,\text{MgSO}_4}} = 7$$

$$n_{6,\text{MgSO}_4} = \frac{n_{6,\text{H}_2\text{O}}}{7} = \frac{38}{7} = 5,4 \text{ mol/h}$$

(0,5 point)

On trouve ainsi le débit massique de MgSO_4 .

$$m = nM = 5,4 \frac{\text{mol}}{\text{h}} * 120,3 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 649,6 \frac{\text{g}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,65 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Le débit massique de MgSO_4 est donc de 0.65 kg/h

(0,5 point)

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

- D) Calculez le débit volumique (L/h) de méthanol à ajouter (courant 9) sachant que la densité du méthanol est de 0,792. **(3 points)**

Débit molaire d'éthanol dans le courant 10 = débit molaire d'éthanol dans le courant 4

$$n_{10, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = n_{4, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 720 \text{ mol/h} \quad (0,5 \text{ point})$$

$$n_{10, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 0.92 \cdot n_{10}$$

$$n_{10} = \frac{n_{10, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}}{0.92} = \frac{720}{0.92} = 783 \text{ mol/h} \quad (0,5 \text{ point})$$

Donc :

$$n_{9, \text{CH}_3\text{OH}} = n_{10, \text{CH}_3\text{OH}} = n_{10} - n_{10, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 783 - 720 = 63 \text{ mol/h} \quad (0,5 \text{ point})$$

On trouve le débit massique avec la masse molaire :

$$m = nM = 63 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \cdot 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2016 \frac{\text{g}}{\text{h}} \quad (0,5 \text{ point})$$

On trouve le débit volumique avec la masse volumique :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2016 \frac{\text{g}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}}{0.792 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}} = \frac{2.016 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0.792 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 2.55 \frac{\text{L}}{\text{h}} \quad (1 \text{ point})$$

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

E) Déterminez les fractions **massiques** d'éthanol et d'eau dans le courant 3. **(3,5 points)**

Équilibre L/V entre les courants 3 et 4 :

Raoult/Dalton sur C_2H_6O et H_2O :

$$y_{C_2H_6O} P_{tot} = x_{C_2H_6O} P^{\circ}_{C_2H_6O}$$

$$y_{H_2O} P_{tot} = x_{H_2O} P^{\circ}_{H_2O}$$

$$P^{\circ}_{C_2H_6O} = 10^{\left(8.11220 - \frac{1592.864}{50 + 226.184}\right)} = 221.1 \text{ mmHg} \quad (0,5 \text{ point})$$

$$P^{\circ}_{H_2O} = 10^{\left(8.10765 - \frac{1750.286}{50 + 235.000}\right)} = 92.5 \text{ mmHg} \quad (0,5 \text{ point})$$

$$0,95 * P_{tot} = x_{C_2H_5OH} * 221,1 \quad (1 \text{ point})$$

$$0,05 * P_{tot} = x_{H_2O} * 92,5$$

$$\text{On sait que } x_{C_2H_6O} + x_{H_2O} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{On obtient alors :} \quad & x_{C_2H_5OH} = 0,889 \quad (0,5 \text{ point}) \\ & x_{H_2O} = 0,111 \end{aligned}$$

$P_{tot} =$

On peut ensuite transformer en fraction massique à l'aide des masses molaires :

$$M_{C_2H_6O} = 46 \text{ g/mol}$$

$$M_{H_2O} = 18 \text{ g/mol}$$

$$X_{C_2H_6O} = \frac{M_{C_2H_6O} x_{C_2H_6O}}{M_{C_2H_6O} x_{C_2H_6O} + M_{H_2O} x_{H_2O}} = \frac{46 \cdot 0.889}{46 \cdot 0.889 + 18 \cdot 0.111} = 0.953 = 95.2\% \quad (1 \text{ point})$$

$$X_{H_2O} = 1 - X_{C_2H_6O} = 1 - 0.952 = 0.048 = 4.8\%$$

Bonne chance !
Patrice Farand

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	$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s} = 0,23901 \text{ cal}/\text{s} = 9,486 \times 10^{-4} \text{ Btu}/\text{s} = 1,341 \times 10^{-3} \text{ hp}$

Tableau périodique des éléments



POLYTECHNIQUE
MONTREAL

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

Table B.4 Antoine Equation Constants^a

$\log_{10} p^* = A - \frac{B}{T + C} \quad p^* \text{ in mm Hg, } T \text{ in } ^\circ\text{C}$					
<i>Example: The vapor pressure of acetaldehyde at 25°C is determined as follows:</i>					
$\log_{10} p_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}}^*(25^\circ\text{C}) = 8.00552 - \frac{1600.017}{25 + 291.809} = 2.9551$					
$\Rightarrow p_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}}^*(25^\circ\text{C}) = 10^{2.9551} = 902 \text{ mm Hg}$					
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 ₅ 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	CH ₂ 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 ₄ H ₈ 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