

**ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC**

**SESSION DE MAI 2015**

**Toute documentation permise**  
**Calculatrice : modèles autorisés seulement**  
**Durée de l'examen : 3 heures**

**14-AL-A2**  
**OPÉRATIONS DE TRANSFERT DE MATIÈRES**

**Cet examen comporte 6 questions.**

<b>Questions</b>	<b>Pointage</b>	<b>Note obtenue</b>
1. Distillation	20 points	
2. Humidité	15 points	
3. Extraction liquide-liquide	15 points	
4. Condensation	15 points	
5. Tour de refroidissement	15 points	
6. Absorption	20 points	
<b>Total</b>	<b>100 points</b>	

**Des données utiles se trouvent à la fin de l'examen.**

## 1. Distillation (20 points)

On désire séparer un mélange binaire formé d'éthanol (1) et d'isobutyl alcool (2) à l'aide d'une distillation continue utilisant une colonne équipée d'un rebouilleur partiel et d'un condenseur total. La pression dans toute l'unité est fixée à 1 atm. L'alimentation est liquide à son point de bulle et se fait au plateau optimal. Le reflux se fait à température de saturation.

Le débit d'alimentation est de 1 kmol/min et contient **35,5% massique** d'éthanol. Le distillat doit contenir 90% de l'éthanol alimenté à la colonne. Le débit du résidu doit être de 0,54 kmol/min. Pour un taux de reflux de 1,6, déterminer analytiquement :

- A) la composition du distillat et du résidu ;
- B) les compositions des courants liquides et vapeurs entrant et quittant l'étage no. 1 (considérez que l'étage no. 1 est situé en haut de la colonne) ;
- C) les températures des étages no. 1 et no. 2 ;
- D) les débits du liquide et de la vapeur dans la zone d'épuisement.

MM éthanol ( $C_2H_5OH$ ) = 46 g/mol

MM isobutyl alcool ( $C_4H_{10}O$ ) = 74 g/mol

**Donnée d'équilibre : Éthanol (1) – Isobutyl alcool (2)**

$x_1$ (% mol)	$y_1$ (% mol)	$T(^{\circ}C)$
0,039	0,109	105,90
0,077	0,205	104,10
0,123	0,304	102,00
0,197	0,428	99,25
0,285	0,552	96,10
0,331	0,602	94,40
0,416	0,685	92,00
0,467	0,731	90,30
0,543	0,782	88,75
0,669	0,862	85,50
0,753	0,908	83,70
0,766	0,914	83,20
0,827	0,938	82,20
0,966	0,990	79,40

## 2. Humidité (15 points)

Un procédé est utilisé afin de conditionner l'air avant de l'acheminer à un laboratoire. Le débit d'air est de  $2 \text{ m}^3 \text{ (TPN)/min}$ . Vous devez caractériser l'air qui sera asséché à l'aide d'une colonne d'adsorption utilisant du sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ).

Avant son entrée à la colonne d'adsorption, l'air possède une température sèche de  $38^\circ\text{C}$  et une température humide de  $25^\circ\text{C}$ . Pour cet air, évaluez :

- A) son humidité absolue ;
- B) son pourcentage d'humidité ;
- C) sa température de rosée ;
- D) son volume humide ;
- E) son enthalpie.

Calculez aussi la quantité d'eau qui sera capturée (adsorbée) par le  $\text{CaSO}_4$  pendant une période d'une heure.

**Utilisez la charte psychrométrique disponible à la page 6 et insérez cette page dans votre cahier de réponses.**

## 3. Extraction liquide-liquide (15 points)

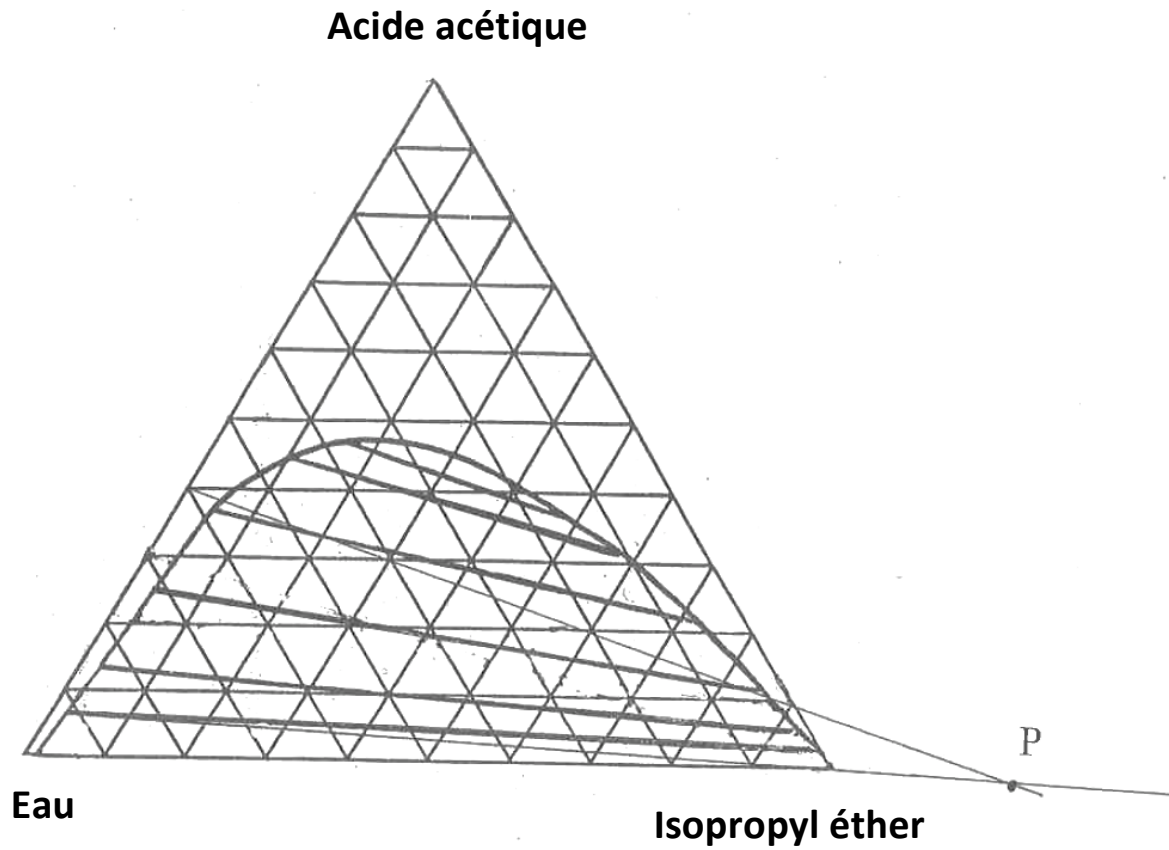
Afin de récupérer l'acide acétique d'une solution aqueuse de 500 kg, une extraction liquide-liquide employant de l'isopropyl éther comme solvant est utilisée. La concentration initiale d'acide acétique dans l'alimentation est de 40% massique. Après l'extraction, la solution aqueuse ne doit pas contenir plus de 7% d'acide acétique.

Votre collègue a amorcé les calculs et a déjà placé le point P sur la figure disponible à la page suivante. Terminez les calculs en déterminant :

- A) les débits (kg/h) et compositions des courants de solvant, d'extraire et de raffinat ;
- B) le nombre d'étages théoriques requis.

**Utilisez le graphique disponible à la page suivante et insérez cette page dans votre cahier de réponses.**

INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.



**Figure: Diagramme ternaire pour le système Eau/Isopropyl éther/Acide acétique  
(Question 3)**

#### 4. Condensation (15 points)

Un mélange de gaz provenant de l'unité de craquage catalytique d'une raffinerie de pétrole circule dans une conduite à une pression de 2000 kPa. La composition du mélange est :

Gaz	% massique
Méthane	11,64
Éthane	31,17
Éthylène	29,08
Propane	10,66
Propylène	17,45

Déterminez : (une abaque des coefficients d'équilibre est disponible à la page 7)

- A) la température à laquelle la condensation débutera dans la conduite ;
- B) la composition de la première goutte de liquide.

#### 5. Tour de refroidissement (15 points)

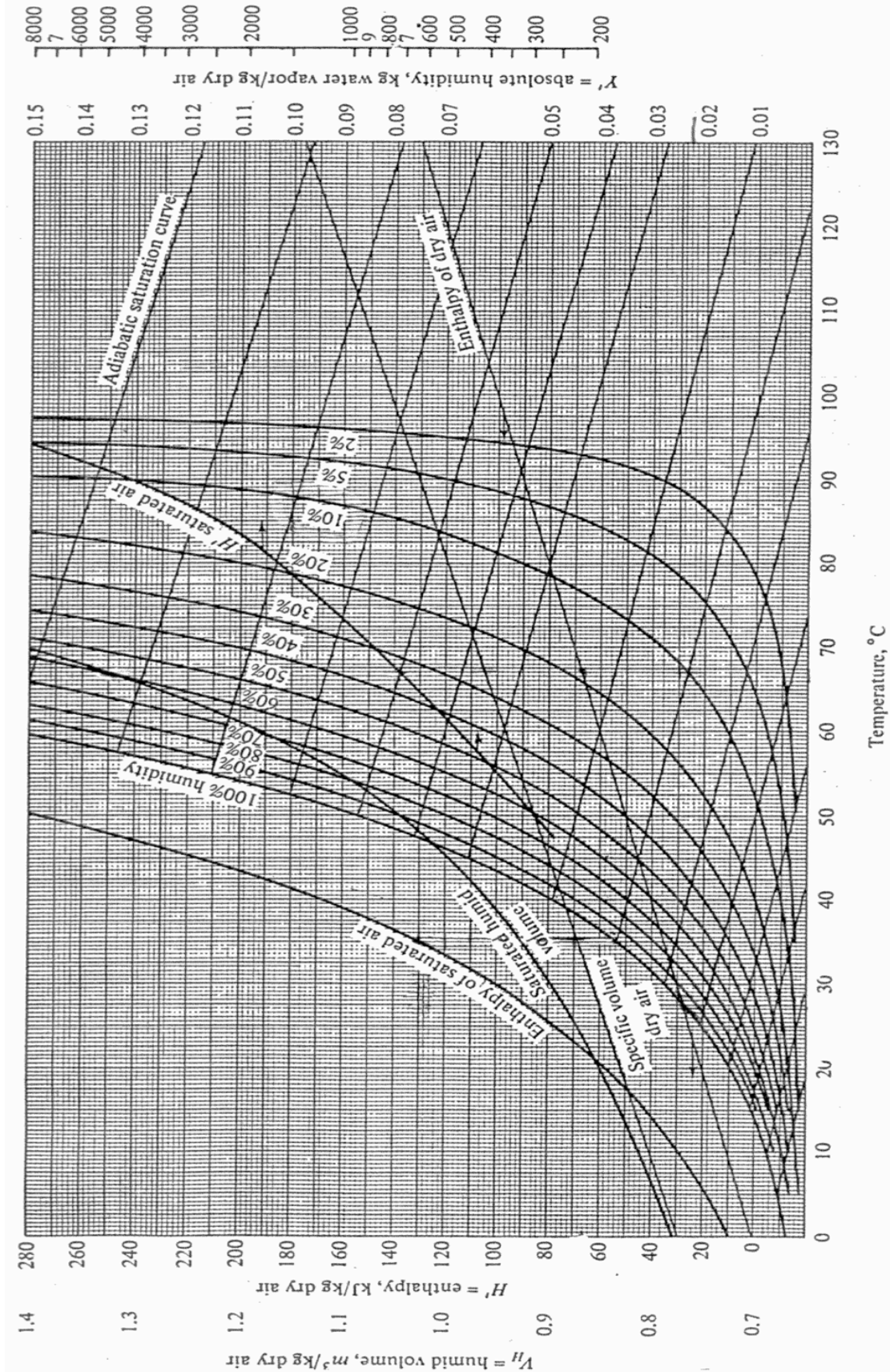
De l'eau à 50°C ayant un débit de 6000 L/min doit être refroidie dans une tour de refroidissement de 4 m x 4 m de section. Pendant le refroidissement, 8000 kW sont retirés grâce à de l'air circulant avec un débit de 4800 m<sup>3</sup>/min. L'air entre dans la tour avec une température sèche de 30°C et une température humide de 20°C. Calculez la température de l'eau refroidie à la sortie de la tour.

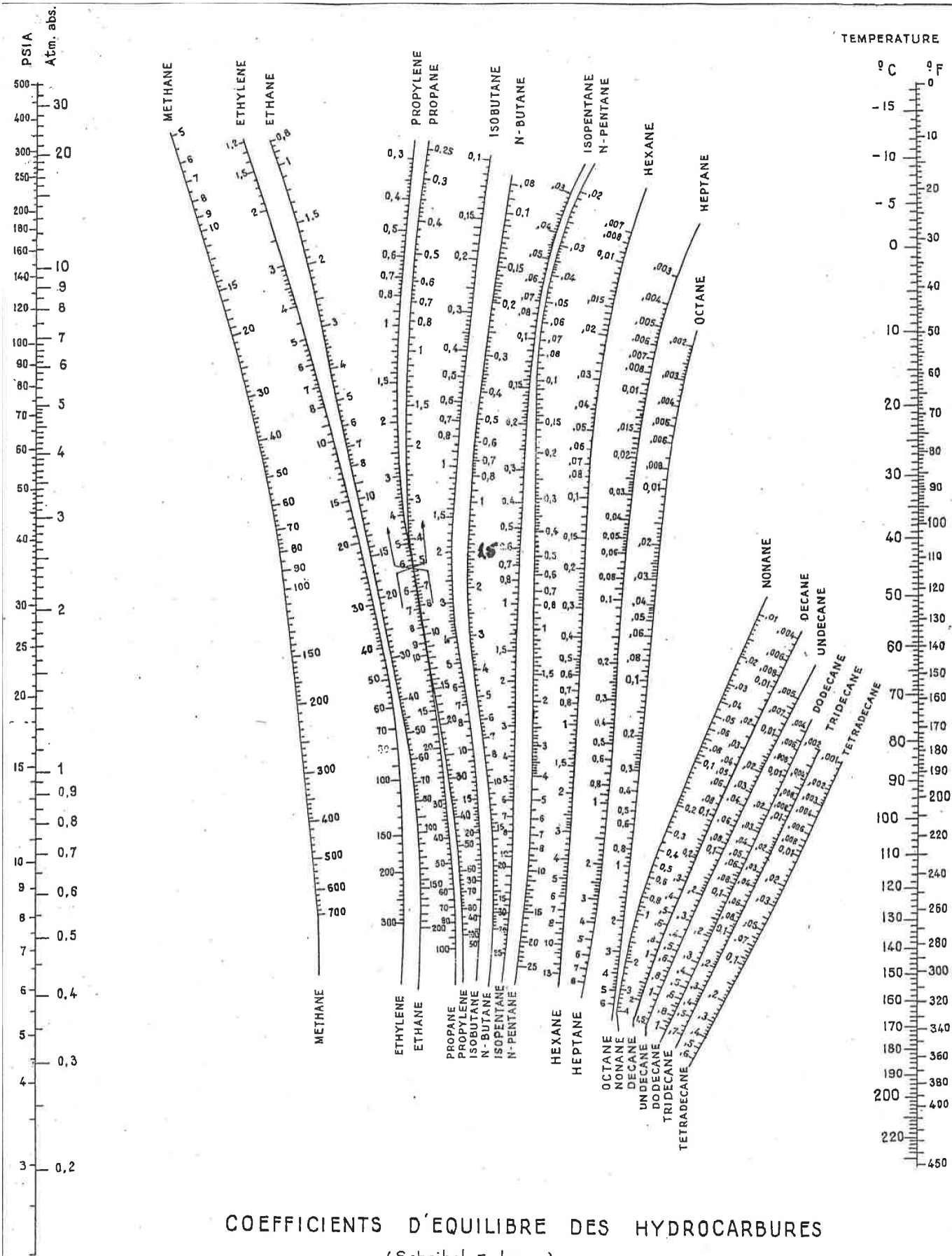
Utilisez la charte psychrométrique disponible à la page 6 et insérez cette page dans votre cahier de réponses.

#### 6. Absorption (20 points)

Un effluent gazeux contenant 10% vol. CO<sub>2</sub> doit être traité à l'aide d'eau afin de retirer 95% du CO<sub>2</sub>. Le débit de l'effluent est de 694 L/s. L'absorption a lieu à 25°C et à pression atmosphérique. Calculez le débit d'eau nécessaire afin d'absorber le CO<sub>2</sub> sachant que l'eau est alimenté avec un excès de 50% par rapport au débit minimal. Les données d'équilibre sont représentées par l'équation  $Y = 48X$ .

INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.





COEFFICIENTS D'EQUILIBRE DES HYDROCARBURES  
(Scheibel & Jenny)