

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2013

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

**04 – CHIM – A3 OPÉRATIONS DE TRANSFERT DE MATIÈRES**

Question # 1 – Absorption (18 points)

Des faibles quantités de  $\text{NH}_3$  qui se trouvent dans l'air provenant d'un atelier où on traite à chaud les surfaces d'acier (armement) à l'aide de  $\text{NH}_3$  doivent être considérablement réduites. En effet, les habitants des maisons avoisinantes se plaignent de l'odeur surtout en temps sec.

On vous demande de faire la conception préliminaire d'une colonne d'absorption pour traiter  $380 \text{ ft}^3/\text{min}$  ( $20^\circ\text{C}$ , 1atm) d'air contenant 1.6% vol. de  $\text{NH}_3$ .

On doit absorber 90% de  $\text{NH}_3$  qui se trouve dans l'air à l'aide de l'eau en utilisant un débit d'eau :  $L' = 1.5 \text{ L min}$ .

Pour des faibles concentrations de  $\text{NH}_3$  on peut utiliser la relation linéaire :

$$Y = KX \text{ ou } K = 0.76$$

On vous suggère pour les calculs d'utiliser un espacement entre les plateaux de 12 in.

Finalement on vous demande, suite à vos calculs de compléter le tableau ci-dessous.

Nombre de plateaux par la méthode de Kremser	
Hauteur de la colonne	
Diamètre de la colonne pour un facteur de 0.8	

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

### Question # 2 – Équilibre (10 points)

---

Dans une usine pétrochimique on achemine par une conduite 100 kmol/h d'un mélange équimolaire de propane – n pentane. La conduite est maintenue à 20°C. La pression dans la conduite est 10 atm.

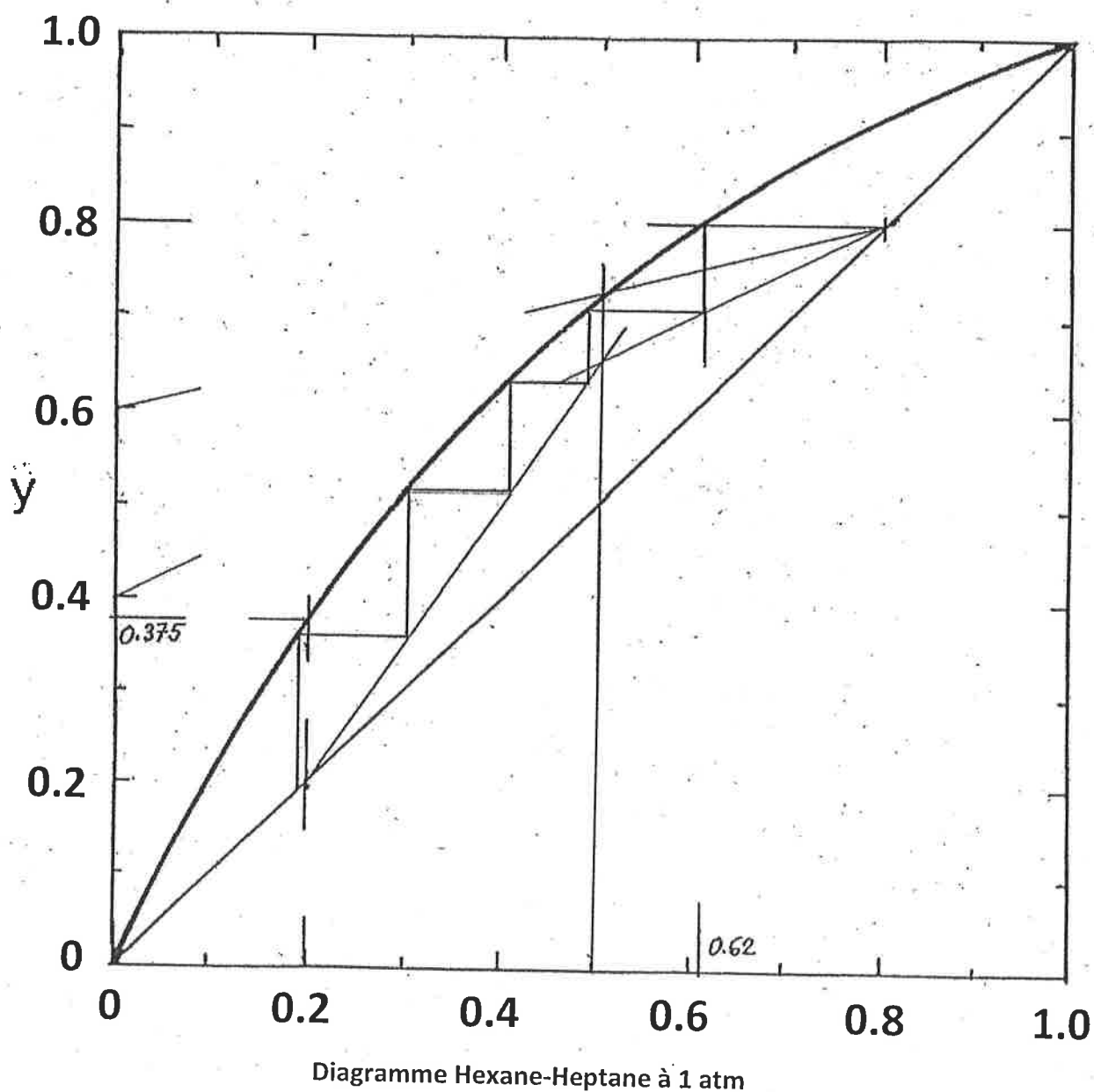
On vous demande de calculer la quantité d'éthane que l'on peut ajouter au mélange : propane – n pentane, sans provoquer la formation de bulle (poche) de vapeur. Le débit total de liquide ne doit pas changer.

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

Question # 3 – Distillation - méthode graphique (14 points)

Votre collègue de travail devant le mauvais temps à Montréal, a choisi pour quelques jours la chaleur de Cuba. Il a amorcé la résolution d'un problème de distillation et vous confie la suite. Ce problème de distillation traite de la séparation de 100 kmol/h d'un mélange hexane-heptane. Il vous a remis ses résultats sous la forme de la figure ci-dessous.

FIGURE



À vous de vérifier et de compléter ses résultats afin d'être en mesure de remplir le tableau ci-dessous. Tous vos calculs doivent être clairement présentés.

Débit de D :	
Débit de B :	
Débit de $\bar{L}$ et de $\bar{V}$ :	
Nombre d'étages théoriques sans le rebouilleur :	
Le rapport $\frac{R}{R_{min}}$ :	
$N_{min}$ :	
Température des courants en équilibre qui quittent le dernier étage (sommet de la colonne) :	$T_{vapeur} =$ $T_{liquide} =$

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

**Question # 4 – Distillation – méthode FUG (18 points)**

---

Pour vérifier les résultats obtenus par la méthode graphique on vous demande de solutionner le problème « Distillation – méthode graphique » avec la méthode FUG (Fenske – Underwood – Gilliland).

Concrètement, on vous demande de déterminer uniquement :  $N_{min}$ ,  $R_{min}$ ,  $R$  et  $N$ .

Pour les calculs vous devez utiliser un taux de reflux  $L/D = 3 R_{min}$

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

Question # 5 – Évaporation (15 points)

---

L'humidité de l'air dans une serre avec des plantes exotiques est assurée par la vapeur d'eau qui se dégage par l'évaporation d'un bassin contenant de l'eau.

La température de l'eau dans le bassin est de  $20^{\circ}\text{C}$ . La température de l'air dans la serre est de  $30^{\circ}\text{C}$ , l'humidité relative  $HR = 50\%$ , et la pression  $1\text{atm}$ .

On prévoit que la quantité de plante placée dans la serre triplera ce qui engendrera une triple consommation de vapeur d'eau.

Pour maintenir la même humidité dans la serre et satisfaire la triple consommation, il faudra tripler la génération de vapeur d'eau par évaporation.

On vous demande de calculer pour les nouvelles conditions la nouvelle température de l'eau dans le bassin. Considérer que la température et l'humidité de l'air dans la serre ne changent pas ainsi que la couche stagnante au dessus de la surface de l'eau du bassin.

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

Question # 6 – Extraction L - L (15 points)

---

On a effectué une extraction L – L en cuvée (batch) de 400 kg d'une solution aqueuse contenant 47.5 % masse d'acétone à l'aide du solvant MIK.

L'extrait obtenu avait la composition suivante :

- 31 % masse acétone
- 6% masse eau
- 63% masse MIK

On vous demande de déterminer :

- la composition du raffinat;
- la quantité de solvant (MIK) qui a été utilisé pour l'extraction;
- la quantité d'extrait;
- la composition de l'extrait sans le solvant (MIK).

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

Question # 7 Humidité (10 points)

---

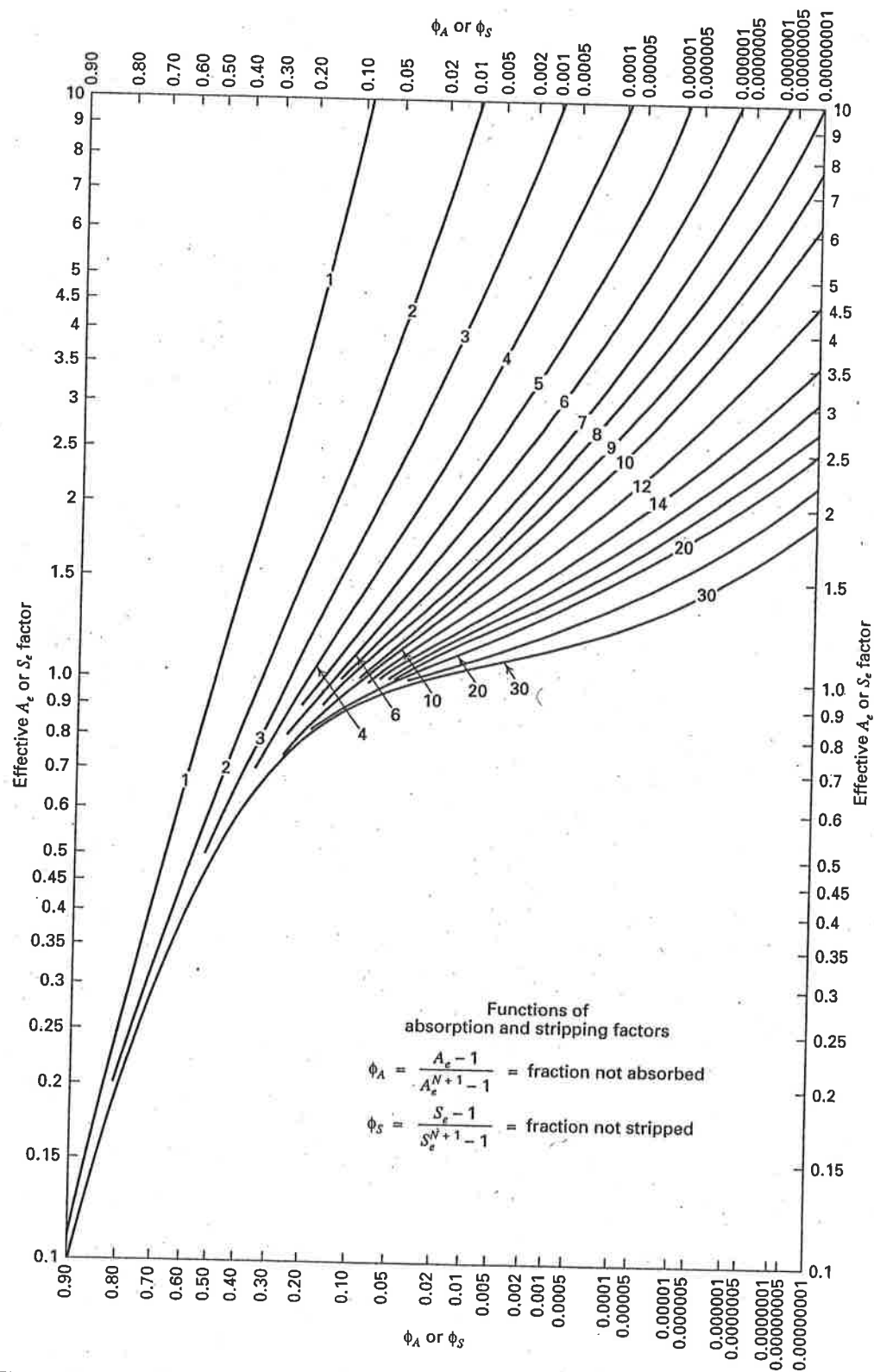
Afin d'éviter en été la condensation de la vapeur d'eau dans les tunnels du métro de Caracas on doit au préalable déshumidifier l'air en le refroidissant.

En plein été l'air humide à déshumidifier est caractérisé par une température sèche  $T = 35^{\circ}\text{C}$  et une température humide  $T = 30^{\circ}\text{C}$ .

On vous demande de calculer la quantité d'eau en kg/min qui sera éliminée de l'air par la condensation, si on refroidit à  $20^{\circ}\text{C}$   $100 \text{ m}^3/\text{min}$  d'air humide.

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





**Figure 5.9** Plot of Kremser equation for a single-section countercurrent cascade.  
 [From W. C. Edmister, *AIChE J.*, 3, 165-171 (1957).]

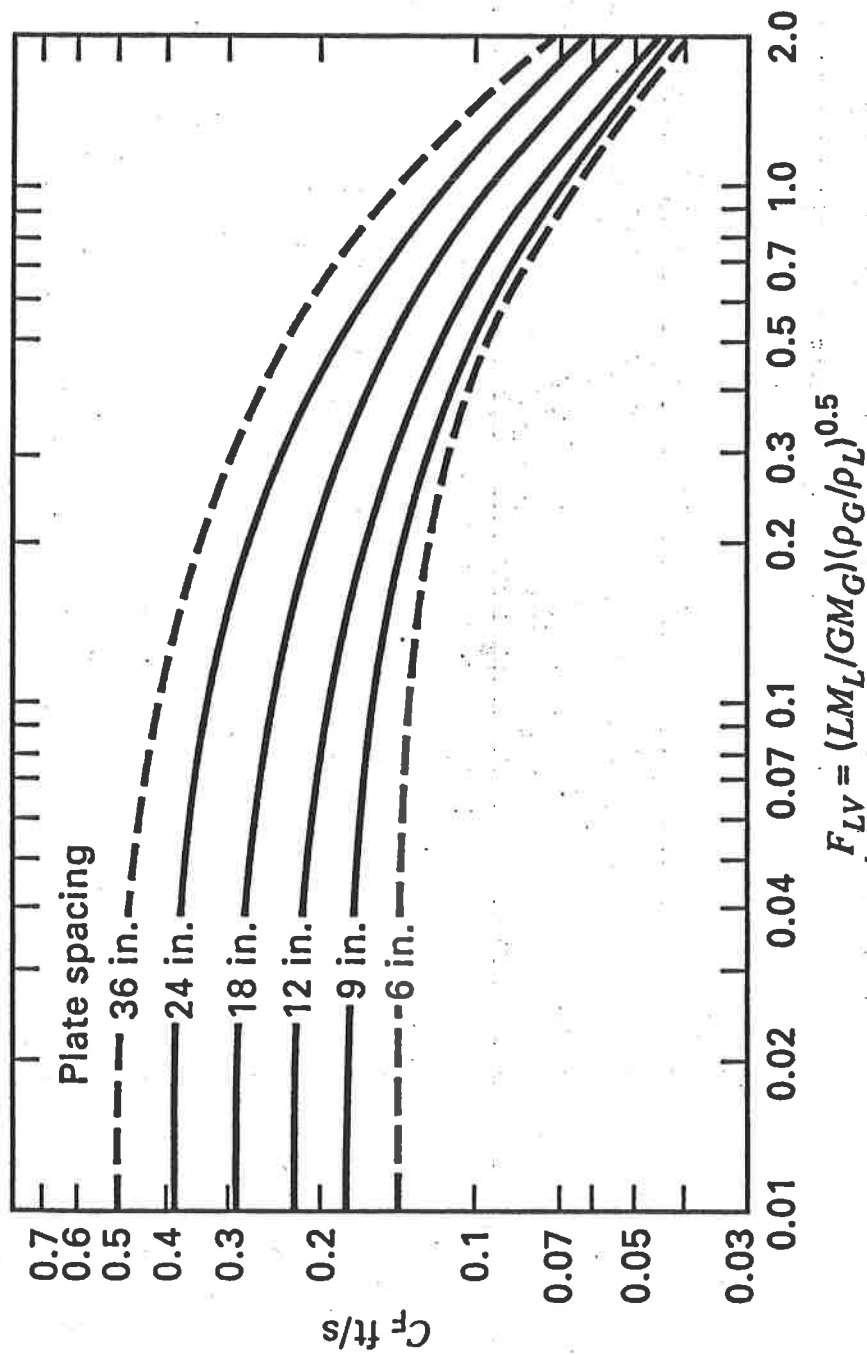
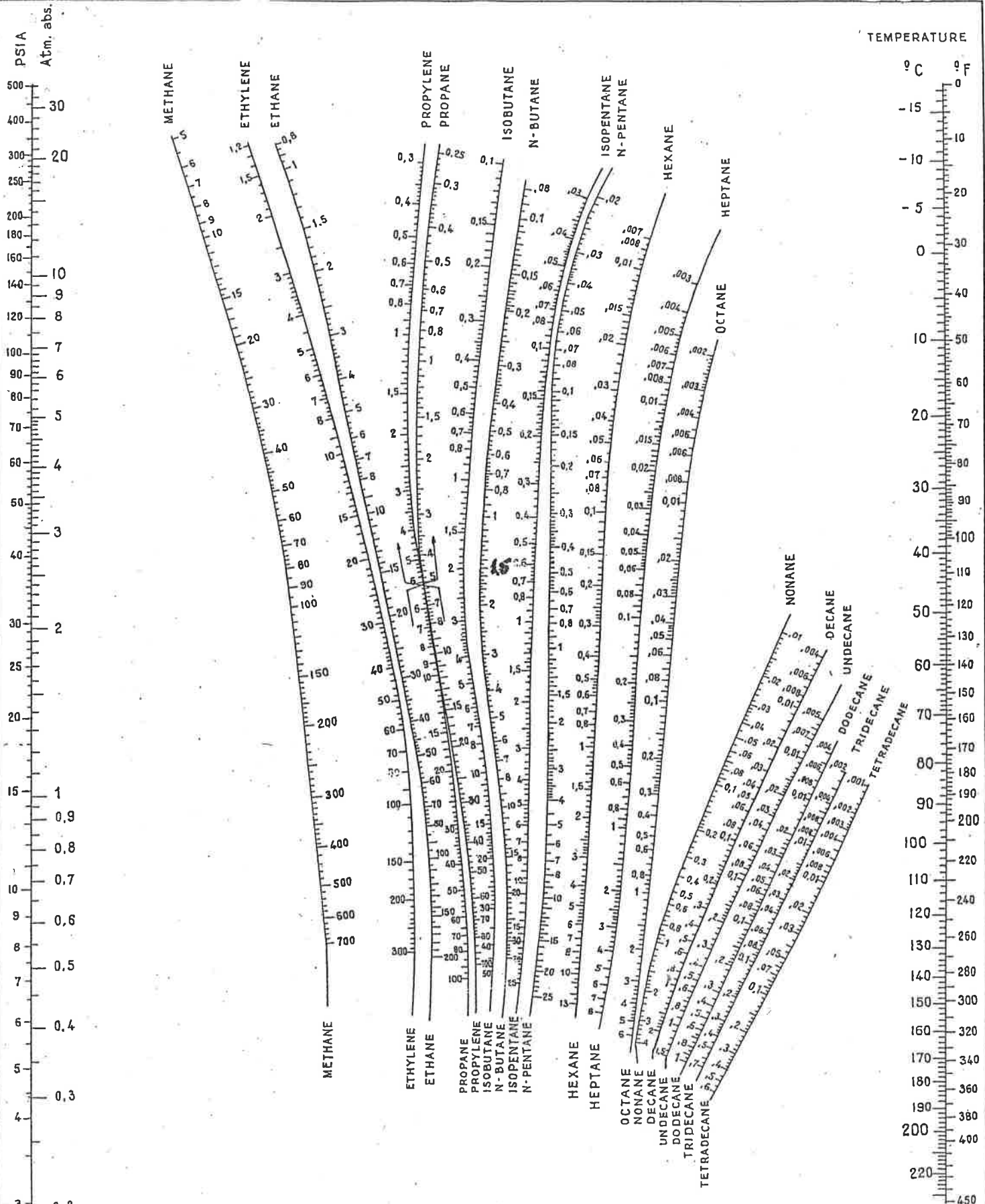


Figure 6.24 Entrainment flooding capacity in a trayed tower.



COEFFICIENTS D'EQUILIBRE DES HYDROCARBURES  
(Scheibel & Jenny)

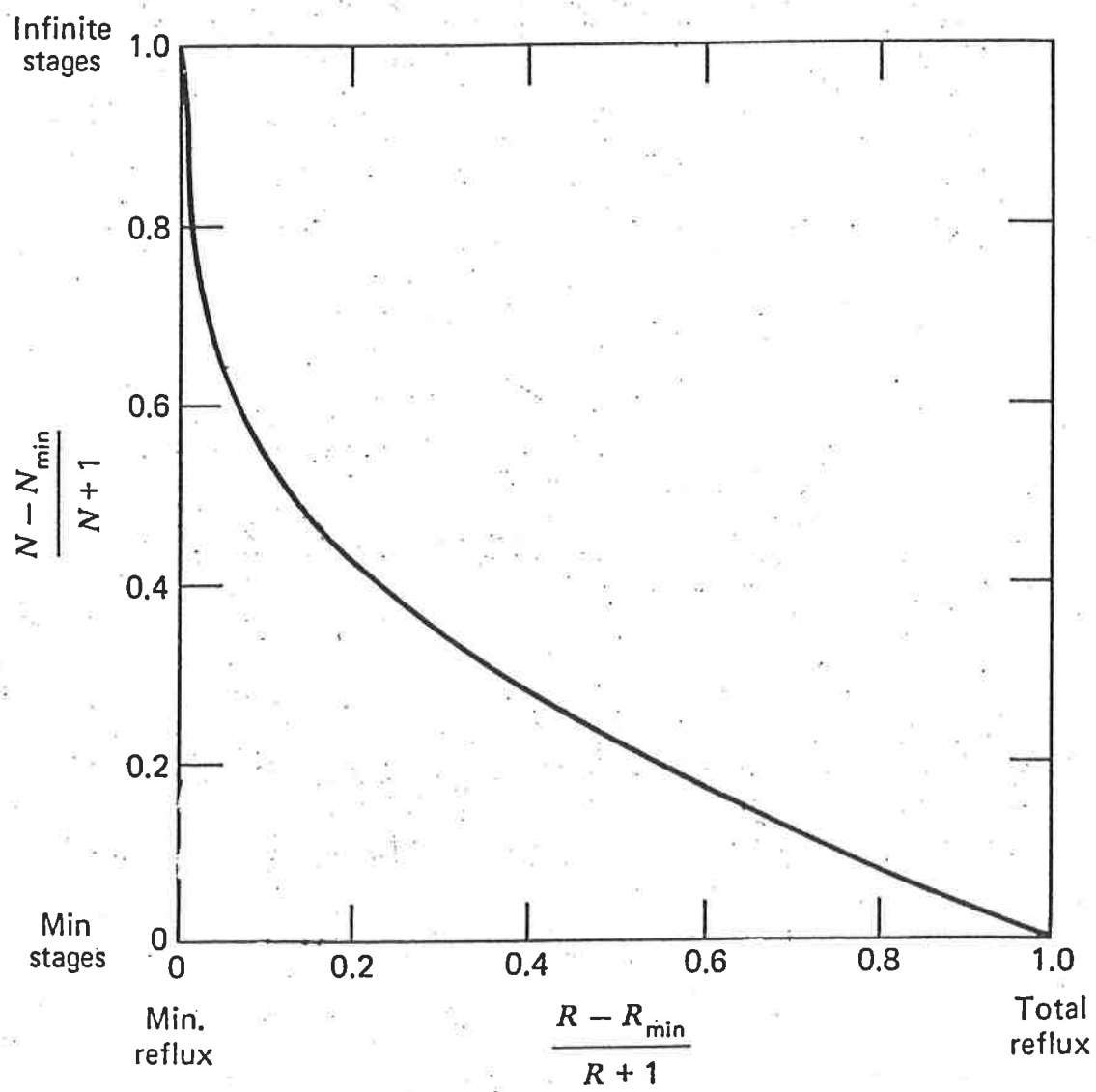


Figure 12.12. Gilliland correlation with linear coordinates.

Si deux températures et leurs pressions correspondantes sont impliquées, l'équation de Clausius-Clapeyron peut s'exprimer ainsi :

$$\ln\left(\frac{p_2^o}{p_1^o}\right) = -\frac{\Delta H_v}{R} \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 \cdot T_2}\right)$$

#### Antoine

Équation empirique qui corrèle les données de tension de vapeur et la température :

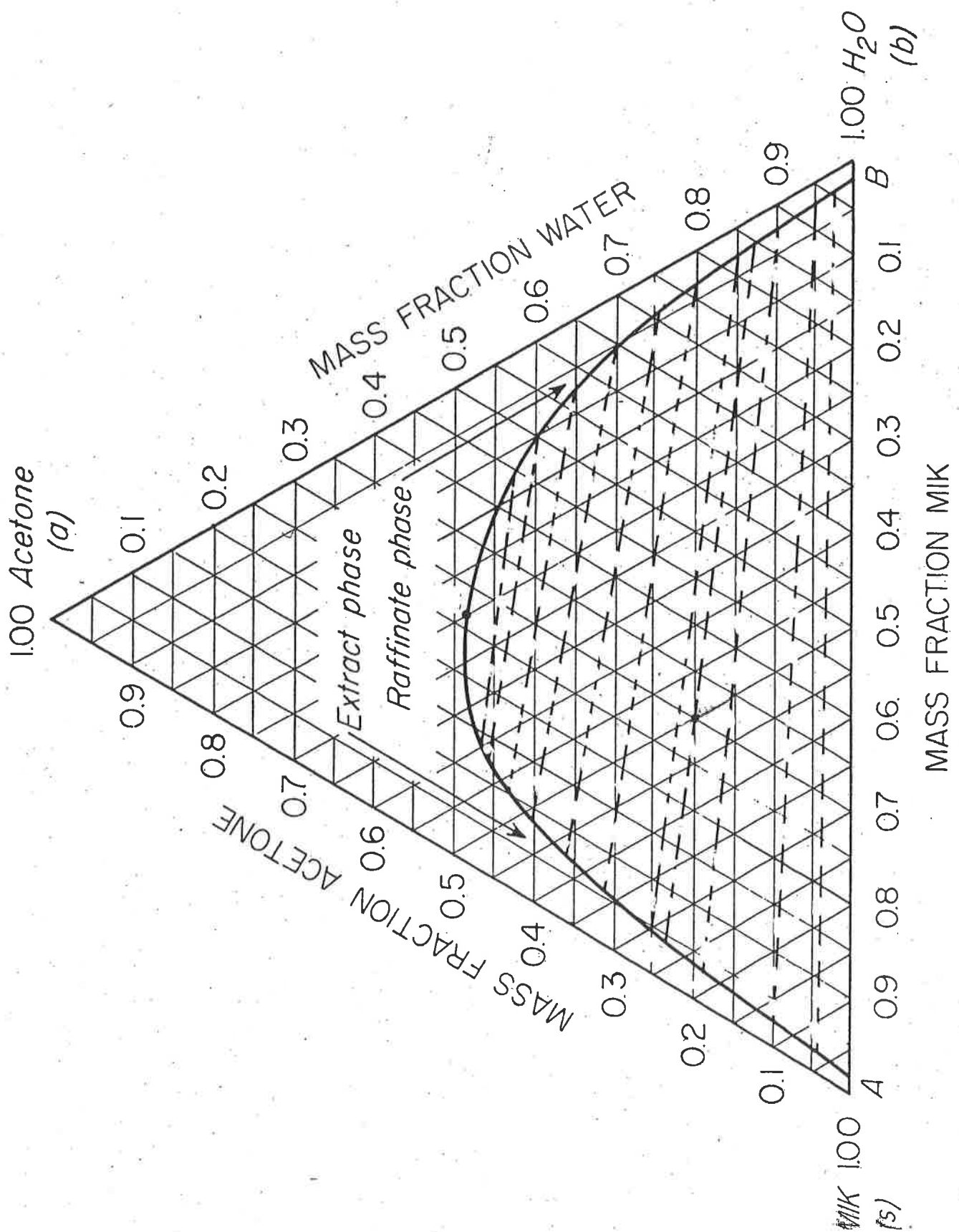
$$\log_{10} p^* = A - \frac{B}{T + C} \quad \text{où } A, B \text{ et } C \text{ sont des constantes propres à chaque substance}$$

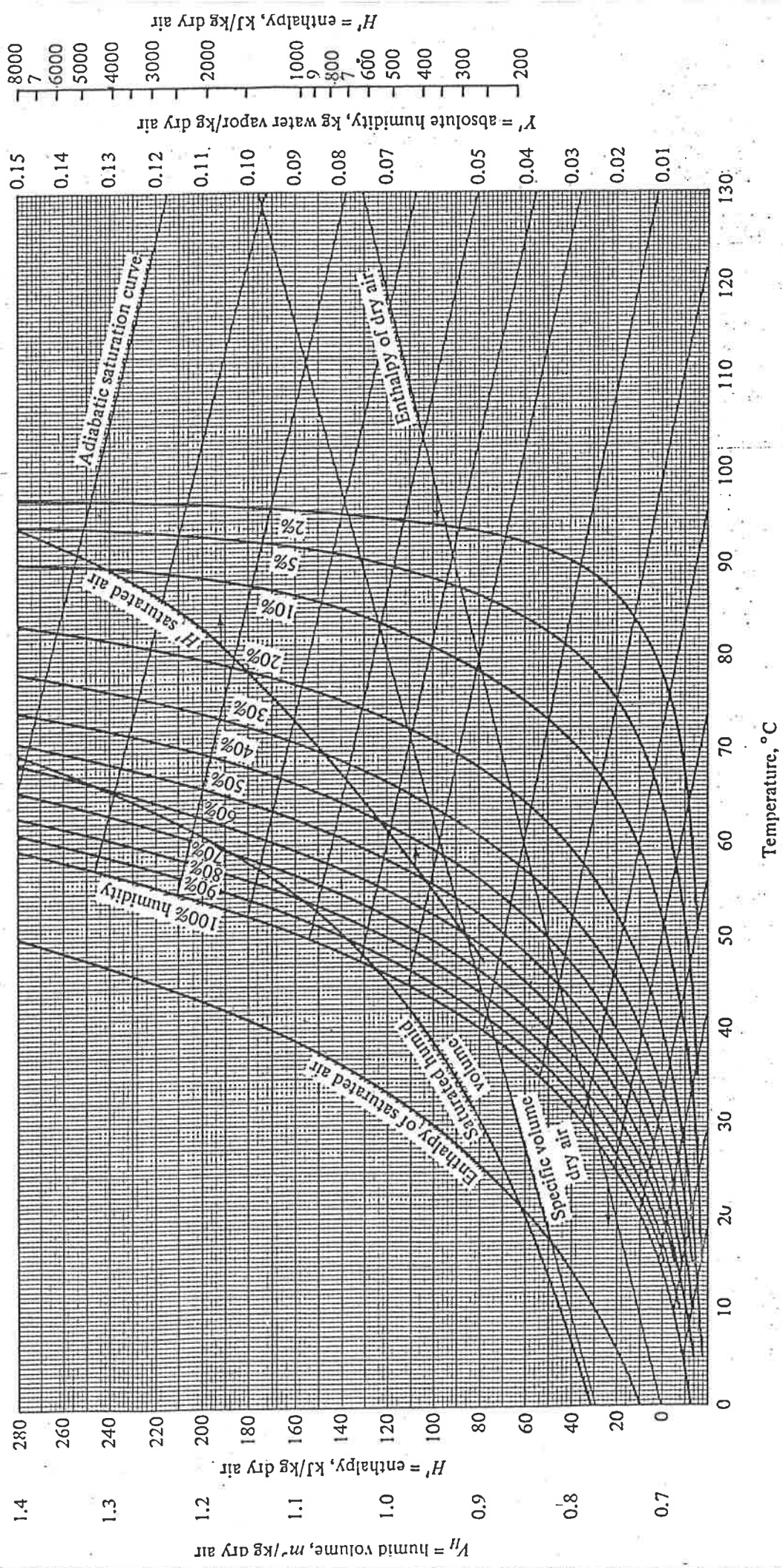
T est généralement exprimé en °C

Les constantes A, B et C sont données dans la littérature et le tableau 1.5 en résume quelques-unes ; P\* est en mm Hg.

**Tableau 1.5. Constantes pour l'équation d'Antoine**

Substance	Formule	Températures ( C )	A	B	C
Acétaldehyde	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	-45 à +70	6.81089	992.0	230
Acide acétique	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0 à +36	7.80307	1651.2	225
		+36 à 170	7.18807	1416.7	211
Acétone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	—	7.02447	1161.0	224
Ammoniac	NH <sub>3</sub>	-83 à +60	7.55466	1002.711	247.885
Benzène	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	—	6.90565	1211.033	220.79
Tétrachlorure de carbone	CCl <sub>4</sub>	—	6.93390	1242.43	230.0
Chlorobenzène	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	0 à +42	7.10690	1500.0	224.0
		+42 à +230	6.94504	1413.12	216.0
Chloroforme	CHCl <sub>3</sub>	-30 à +150	6.90328	1163.03	227.4
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	-50 à +200	6.84498	1203.526	222.863
Acétate d'éthyl	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	-20 à +150	7.09808	1238.71	217.0
Alcool éthylique	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	—	8.04494	1554.3	222.65
Éthylbenzène	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	—	6.95719	1424.255	213.206
n-heptane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	—	6.90240	1268.115	216.900
n-hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	—	6.87776	1171.530	224.366
Alcool méthylique	CH <sub>4</sub> O	-20 à +140	7.87863	1473.11	230.0
n-pentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	—	6.85221	1064.63	232.0
Isopentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	—	6.78967	1020.012	233.097
Styrène	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	—	6.92409	1420.0	206
Toluène	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	—	6.95334	1343.943	219.377
Eau	H <sub>2</sub> O	0 à 60	8.10765	1750.286	235
		60 à 150	7.96681	1668.21	228.0





(a)

Psychrometric chart for air-water vapor, 1 std atm abs, in SI units.