

## ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

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

### Examen 16-CH-A2 Opérations unitaires et procédés de séparation

Cet examen comporte 5 questions.

Questions	Pondération
1. Questions en rafale sur les opérations unitaires	25 points
2. Absorption d'acétone se trouvant dans l'air	15 points
3. Séparation d'un mélange éthanol/eau	20 points
4. Conditionnement de l'air	15 points
5. Conception préliminaire d'une tour de refroidissement	25 points
<b>Total</b>	<b>100 points</b>

**1. Questions en rafale sur les opérations unitaires (25 points)**

- A) Lors d'une analyse au laboratoire, vous observez que la température de bulle d'un mélange binaire propane/n-pentane à une pression de 2 atm est de 30°C. Quelle est la composition du mélange binaire ? **(4 points)**

Pour les conditions en question, les constantes d'équilibre sont :

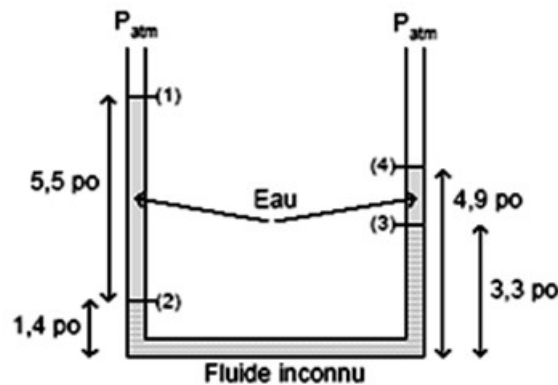
$$K_{\text{propane}} = 4.4 \text{ et } K_{\text{n-pentane}} = 0,4$$

- B) L'équation de Bernoulli avec frottement s'écrit de la façon suivante :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + h_f$$

Pour un écoulement dans une conduite cylindrique conçue avec quelques singularités (coudes et vannes), que représente le terme  $h_f$  ? **(3 points)**

- C) Quelle est la masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ ) du fluide manométrique utilisé dans le manomètre ci-dessous ? Prenez une pression atmosphérique de 101 325 Pa. **(10 points)**



- D) Les questions suivantes portent sur les opérations unitaires. **(8 points)**

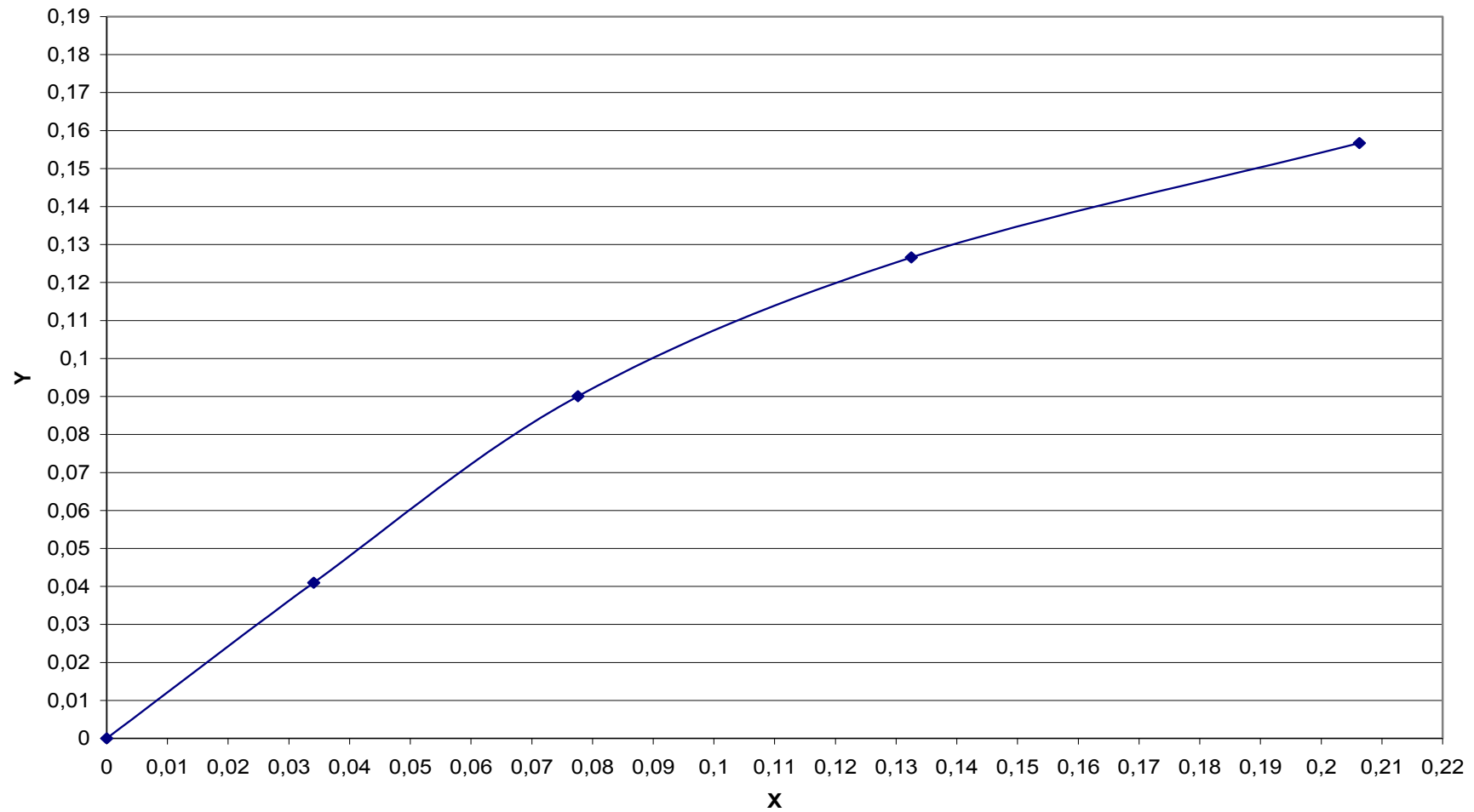
- Lors de la conception d'un plateau d'une colonne à distiller, nous pouvons faire varier l'épaisseur de liquide sur le plateau en modifiant la hauteur du déversoir (*downcomer*). Pourquoi pourrait-il être nécessaire de faire varier cette épaisseur de liquide d'une colonne à une autre ? **(3 points)**
- Lors du choix d'un solvant pour une extraction liquide-liquide, nommez deux propriétés recherchées. **(2 points)**
- Dans un système hydraulique, comment peut-on éviter la cavitation d'une pompe ? Expliquez trois solutions. **(3 points)**

## 2. Absorption d'acétone se trouvant dans l'air (15 points)

Un courant d'air contient 15% molaire d'acétone. 95% de l'acétone contenue dans ce courant doit être absorbée par contact à contre-courant avec de l'eau pure dans une colonne à plateaux. La colonne fonctionnera à une température de 20 °C et à une pression de 101 kPa. Pour un débit d'alimentation du courant gazeux de 100 kmol/h, calculez :

- A) Le débit minimum d'eau  $L'_{\min}$ . (6 points)
- B) Le nombre d'étages d'équilibre requis en utilisant un débit d'eau ( $L'$ ) égal à 1,5 fois le débit minimum. (5 points)
- C) La concentration de l'acétone dans le courant de sortie d'eau. (4 points)

**REMETTEZ LA FIGURE DE LA PAGE SUIVANTE AVEC VOTRE SOLUTION.**



**Figure : Courbe d'équilibre représentant l'absorption de l'acétone dans l'eau (Pour la question 2)**

**Note : X et Y sont des rapports molaires et non fractions molaires**

### 3. Séparation d'un mélange éthanol-eau (20 points)

Le diagramme de McCabe-Thiele représentant une unité de distillation binaire éthanol-eau, comprenant un condenseur total et un rebouilleur partiel, est donné à la figure de la page suivante.

- A) Quelle est la particularité de cette courbe d'équilibre ? Cela est-il problématique ? **(2 points)**
- B) Le système de distillation contient combien d'étages théoriques ? **(1 point)**
- C) Quelles sont les compositions du distillat et du résidu ? **(2 points)**
- D) Quelle est la position réelle du plateau d'alimentation (en terme de plateau théorique) ? **(1 point)**
- E) Quelle est la composition de l'alimentation ? **(1 point)**
- F) Quel est l'état de l'alimentation ? **(1 point)**
- G) La colonne à distiller contient combien de plateaux théoriques ? **(1 point)**
- H) Quels courants dans la colonne sont associés au point A (tracez les plateaux pertinents) ? **(1 point)**
- I) Quels courants dans la colonne sont associés au point B (tracez les plateaux pertinents) ? **(1 point)**
- J) Quel est le taux de reflux minimum ( $R_{\min}$ ) ? **(3 points)**
- K) Quel est le taux de reflux réel ( $R$ ) ? **(3 points)**
- L) Quel serait l'effet de refroidir l'alimentation sur le nombre de plateaux théoriques requis pour la séparation ? **(2 points)**
- M) Est-ce possible d'obtenir un distillat ayant 90% de pureté en éthanol ? Si oui, comment ? Si non, pourquoi pas ? **(1 point)**

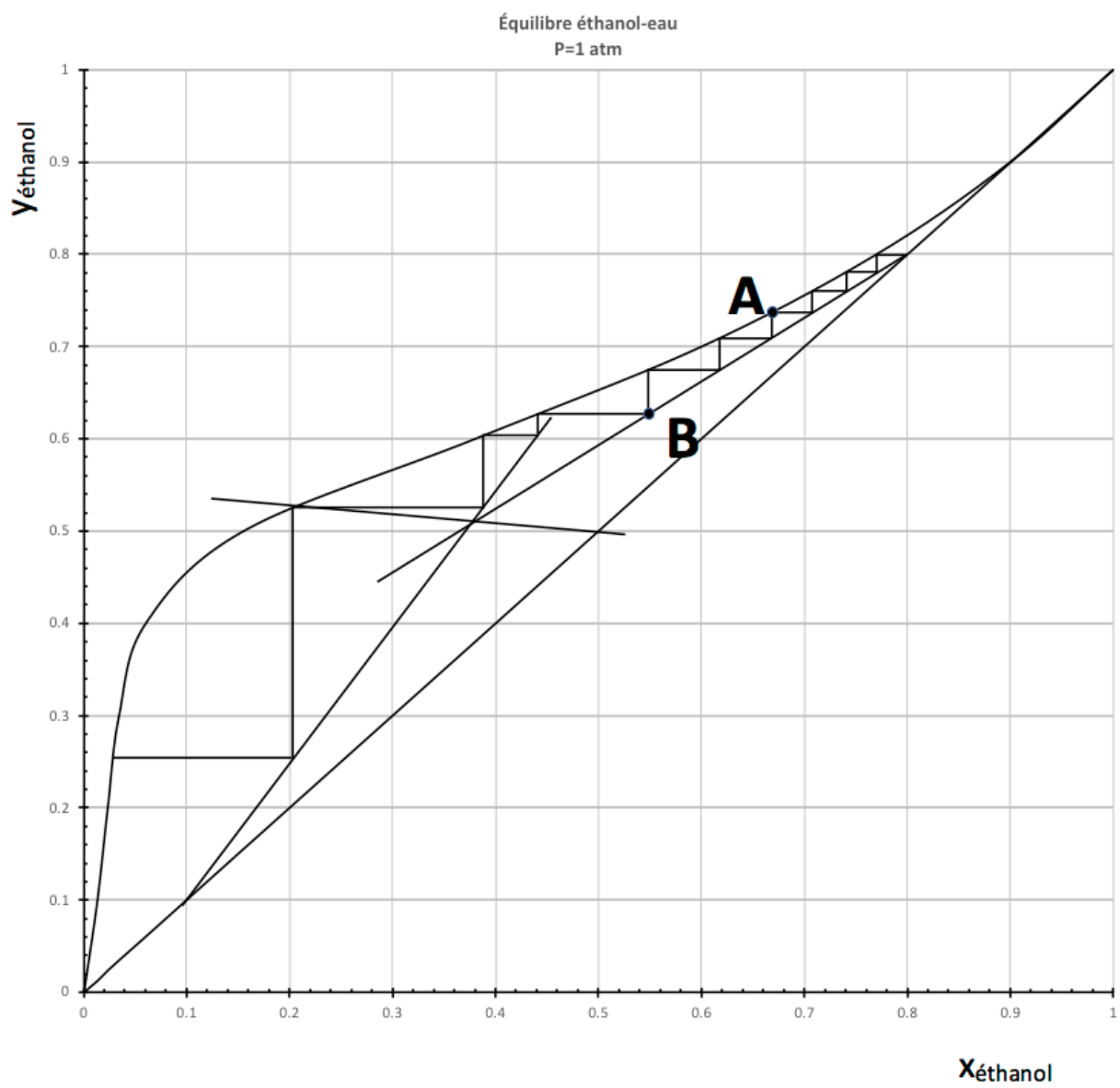


Figure : Diagramme McCabe-Thiele pour le système éthanol/eau

#### 4. Conditionnement de l'air (15 points)

Le procédé ci-dessous illustre une unité servant à conditionner l'air avant de l'acheminer dans un laboratoire. De l'air humide extérieur est refroidi pour éliminer une partie de l'eau puis réchauffé dans un échangeur de chaleur. Vous pouvez supposer que la pression totale du système est toujours de 1 atm. Note : HR = humidité relative.

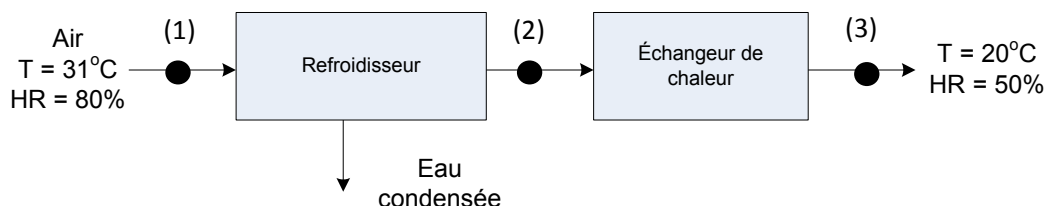


Figure : Système de conditionnement de l'air

Pour répondre aux questions ci-dessous, aucun calcul n'est requis.

- A) Comment le débit molaire varie-t-il entre les points 2 et 3 ? Justifiez votre réponse. **(2 points)**
- B) Comment l'humidité absolue varie-t-elle entre les points 1 et 2 ? Justifiez votre réponse. **(3 points)**
- C) Comment l'humidité absolue varie-t-elle entre les points 2 et 3 ? Justifiez votre réponse. **(3 points)**
- D) Quelle est la valeur de l'humidité relative au point 2 ? Justifiez votre réponse. **(2 points)**
- E) Comment la pression partielle de l'eau dans l'air varie-t-elle entre les points 2 et 3 ? Justifiez votre réponse. **(3 points)**
- F) Comment la masse volumique de l'air sec (sans considérer l'eau) varie-t-elle entre les points 1 et 2 ? Justifiez votre réponse. **(2 points)**

#### 5. Conception préliminaire d'une tour de refroidissement (25 points)

Vous avez été engagé afin de réaliser la conception préliminaire d'une tour de refroidissement représenté à la figure de la page suivante.

Votre mandat consistera à concevoir le réseau hydraulique permettant d'alimenter de l'eau froide au condenseur de tête de la colonne à distiller. Cette tour est équipée à son sommet d'un échangeur de chaleur pouvant réchauffer l'air saturé.

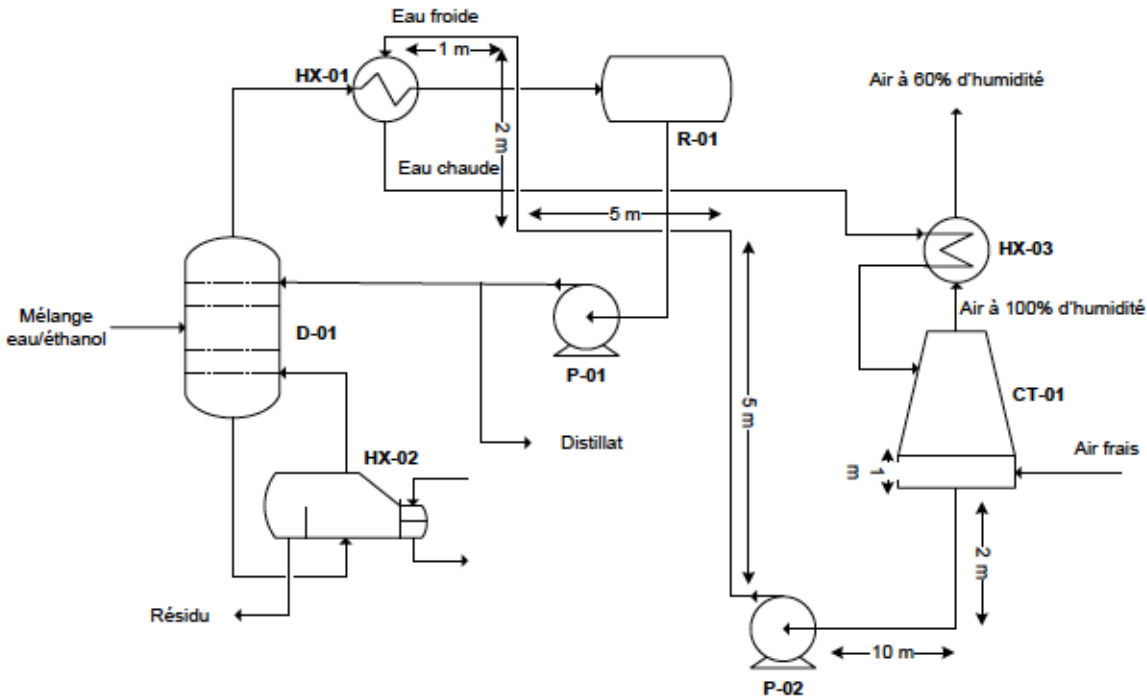


Figure : Système hydraulique d'une tour de refroidissement

On s'intéresse au système hydraulique entre le haut du réservoir (hauteur = 1 m) situé à la base de la tour de refroidissement et l'entrée du condenseur. On suppose que l'eau est à 25 °C en tout point ( $\mu = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$ ,  $P_{\text{vap}} = 3,17 \text{ kPa}$ ). La pression au haut du réservoir rempli d'eau est de 1 atm (101 325 Pa). La conduite en acier commercial est de 4 pouces (diamètre interne de 10,2 cm) Schedule 40. Le facteur de friction dans les conduites vaut  $f_m = 0,018$ . Le débit d'eau à l'entrée du condenseur est de 30 kg/s. Le réseau caractéristique de la pompe utilisée est présenté à la page suivante.

- Pourquoi est-il important de réchauffer l'air à la sortie de la tour de refroidissement avec un échangeur de chaleur ? **(3 points)**
- Quelle est la vitesse de l'eau dans la conduite (m/s) et quel est le débit volumétrique (USGPM) ? **(4 points)**
- Quel est le NPSHR de la pompe P-02 ? **(4 points)**
- Y a-t-il un risque de cavitation le long de ce système hydraulique ? Justifiez par des calculs. **(10 points)**
- Si la charge à développer est de 70 m, quel sera le diamètre du rotor à utiliser ? **(4 points)**

**Rappels :**

1 pouce = 0,0254 m

1 pied = 0,3048 m

1 USGPM =  $6,31 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

$K_{\text{coude}} = 30 f_T$  et  $f_T$  vaut 0,017



# WAUKESHA "C" SERIES CENTRIFUGAL PUMPS

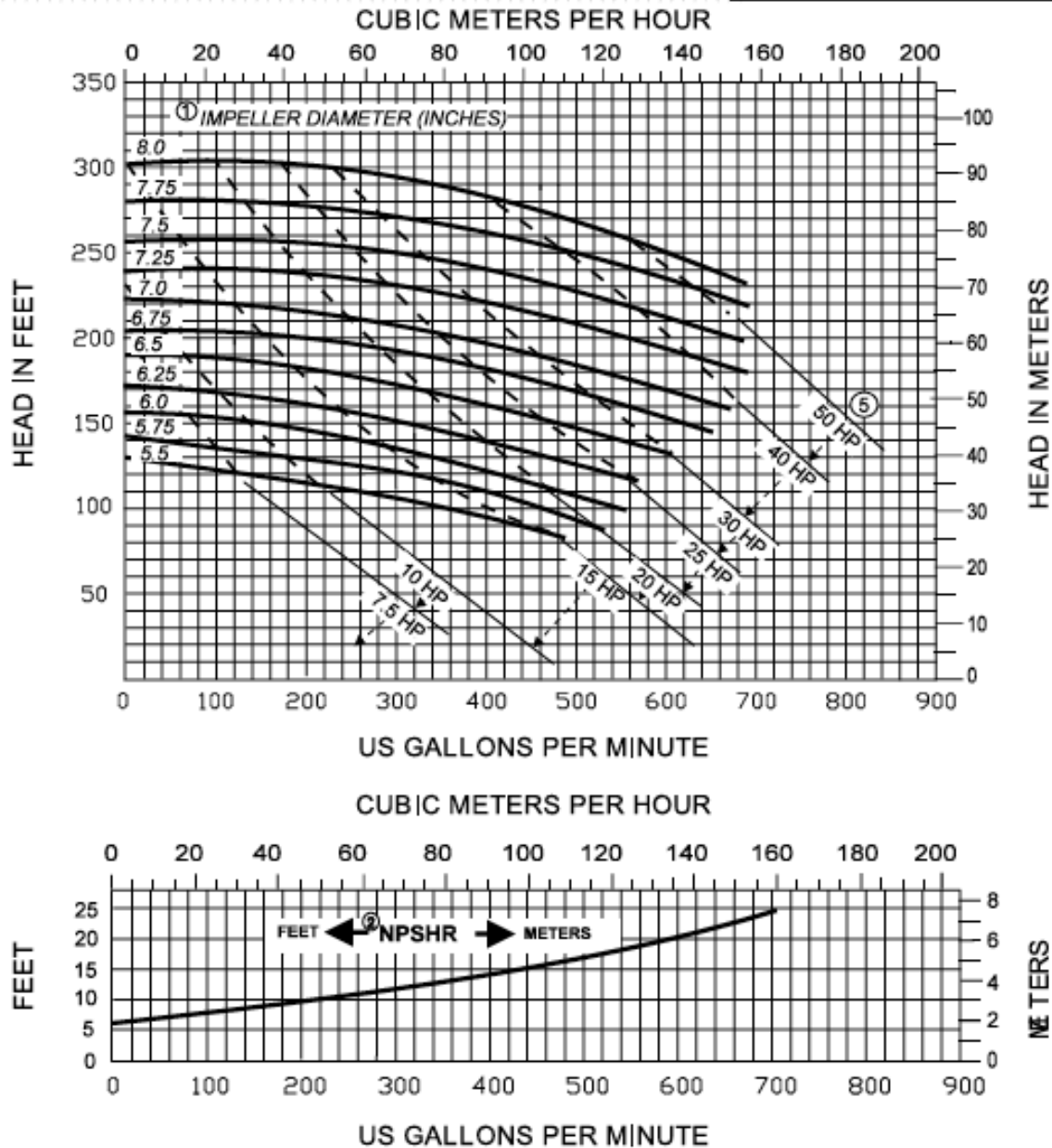
## CAPACITY CURVES

Based on water at 70°F. (22°C.)

MODEL: C328

60 Hz 3500 RPM

SIZE: 3 x 2 x 8



### NOTES

- Impeller diameters available in 1/8-inch increments
- NPSHR is shown for maximum impeller diameter

### COMMON CONVERSIONS

PSI = Head in Feet X Specific Gravity

2 .3

Kg/cm<sup>2</sup> = Head in Meters X Specific Gravity

1 0

HP x 0.746 = Kw

611 Sugar Creek Road Delavan, WI 53115 | Phone: 800-252-5200 or 262-728-1900  
Fax: 800-252-6012 or 262-728-4904 | [www.goweb.com](http://www.goweb.com)

CURVE NUMBER

95-07061

EFFECTIVE DATE

7-22-2002

PAGE NUMBER

001