

**ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC**

**SESSION DE NOVEMBRE 2018**

**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.**

<b>Questions</b>	<b>Pondération</b>	<b>Note obtenue</b>
1. Séparation éthylbenzène/phénol	25 points	
2. Absorption de l'alcool	15 points	
3. Dimensionnement d'un système de pompage	25 points	
4. Adsorption de l'eau	15 points	
5. Questions en rafale	20 points	
<b>Total</b>	<b>100 points</b>	

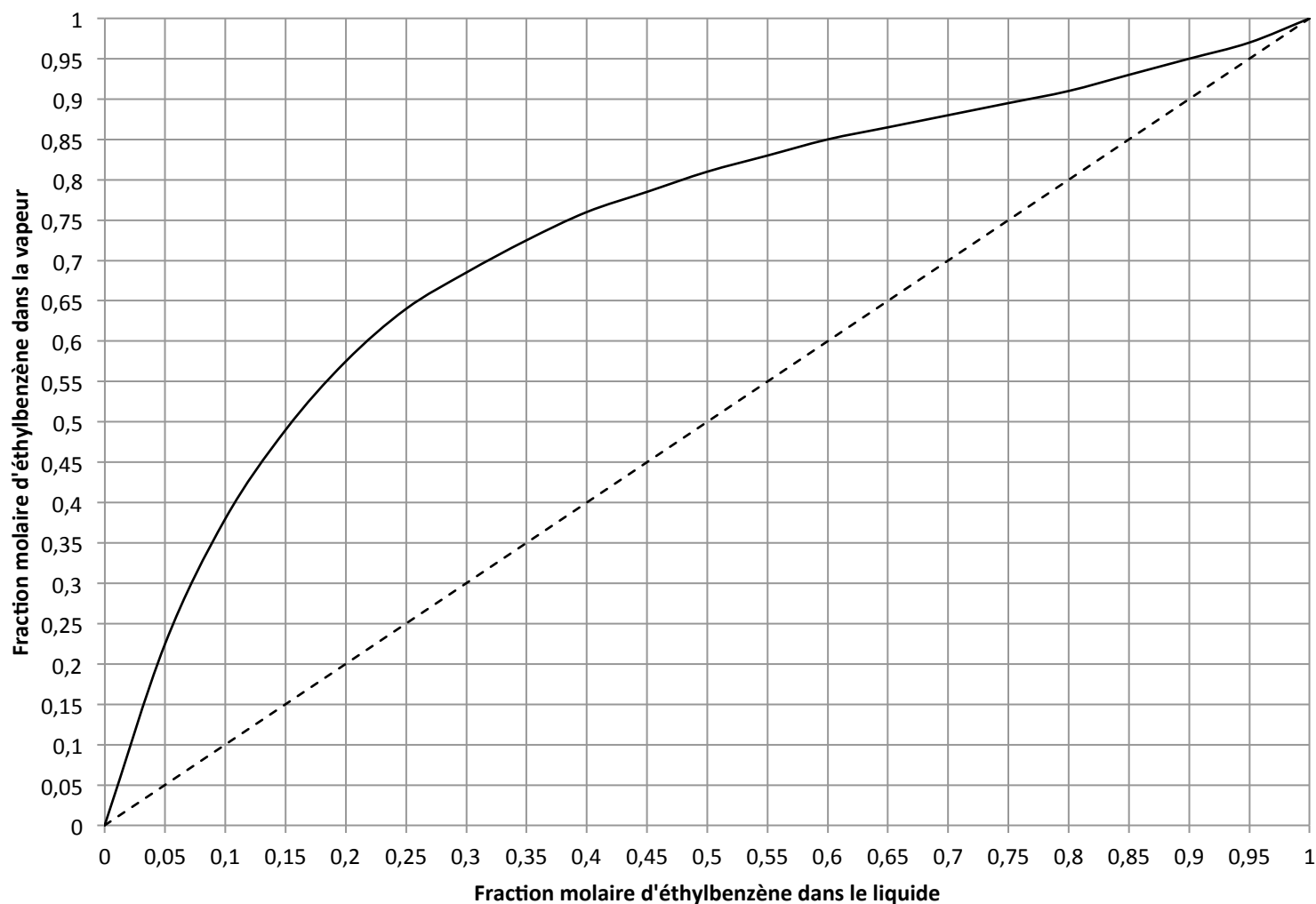
### 1. Séparation éthylbenzène/phénol (25 points)

Un mélange binaire éthylbenzène ( $C_8H_{10}$ ) / phénol ( $C_6H_6O$ ) contenant 54% massique de phénol doit être séparé par distillation. Le distillat contient 95% molaire de l'éthylbenzène présent dans l'alimentation. Le résidu doit contenir 95% molaire du phénol présent dans l'alimentation. L'alimentation est introduite dans la colonne à son point de bulle et un condenseur total est utilisé. Le taux de reflux correspond à 1,5 fois le taux de reflux minimal. L'efficacité de la colonne est de 75%. **Utilisez la méthode McCabe-Thiele et insérez la prochaine page dans votre cahier de réponses.**

- A) Calculez la composition molaire de l'alimentation. **(2 points)**
- B) Calculez les compositions (% mol.) du distillat et du résidu. **(3 points)**
- C) Calculez le taux de reflux minimal. **(4 points)**
- D) Calculez le nombre de plateaux théoriques. **(5 points)**
- E) Calculez le nombre de plateaux réels. **(2 points)**
- F) Déterminez la position de l'alimentation. **(2 points)**
- G) Déterminez la hauteur de la colonne en posant les hypothèses appropriées. **(4 points)**
- H) Comment peut-on améliorer la pureté du distillat lors de l'opération de la colonne ? Expliquez votre réponse. **(3 points)**

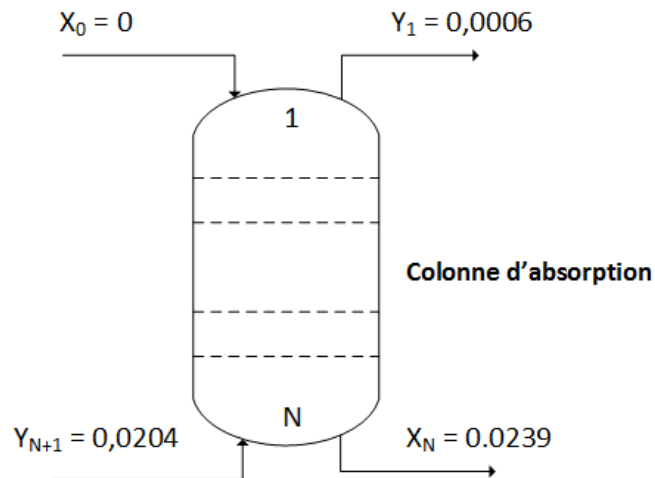
INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.

### Courbe d'équilibre pour le système Éthylbenzene / Phénol à $P = 1 \text{ atm}$



## 2. Absorption de l'alcool (15 points)

La colonne d'absorption à plateaux ci-dessous permet d'absorber du méthanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) dans l'eau.



La droite d'équilibre représentant l'absorption du méthanol dans l'eau est modélisée par l'équation suivante :

$$Y = \frac{0,57X}{1 + 0,43X}$$

La droite opératoire est représentée par l'équation suivante :  $Y_{N+1} = 0,0006 + 0,8288X_N$

- A) Déterminez le rapport molaire de l'alcool dans la vapeur qui quitte l'étage 3 ( $Y_3$ ). **(10 points)**
- B) Si la pression d'opération de la colonne est augmentée, est-ce que cela favorisera l'absorption? Justifiez votre réponse. **(2 points)**
- C) Si la quantité d'eau alimentée à la colonne est augmentée, est-ce que cela favorisera l'absorption? Justifiez votre réponse en précisant si les deux équations précédentes seront modifiées et si oui, comment ? **(3 points)**

### 3. Dimensionnement d'un système de pompage (25 points)

Vous désirez installer une pompe entre un réservoir (R-07) et un échangeur de chaleur (HX-03) représentés à la page suivante. On peut supposer que tout le réseau est à une température de 25°C.

Considérez que la pompe est à 120 m (longueur de la tuyauterie) du ballon et qu'il reste une autre distance de 200 m avant d'entrer dans l'échangeur. On doit pomper 13 kmol/h d'un mélange formé de 45% molaire d'éthylbenzène et de 55% de phénol

La pression dans le réservoir R-07 est de 150 kPa et la hauteur du niveau de liquide est de 2 m dans le réservoir. La pression à l'entrée de l'échangeur HX-03 est de 350 kPa. La tuyauterie est de l'acier commercial ordinaire de 3 pouces Sch40 de diamètre (diamètre interne = 76 mm,  $f_T = 0.018$ ).

Considérez que la partie avant la pompe est linéaire avec 5 coudes standards ( $K = 30 f_T$ ), 2 vannes portes ( $K = 8 f_T$ ) et 2 T standards ( $K = 20 f_T$ ).

La conduite après la pompe contient :

20 coudes standards ( $K = 30 f_T$ )

2 vannes portes (gate valves) ( $K = 8 f_T$ )

2 T standards ( $K = 20 f_T$ )

1 vanne de contrôle ajoutant 30% à la perte de charge du réseau hydraulique

Données supplémentaires :

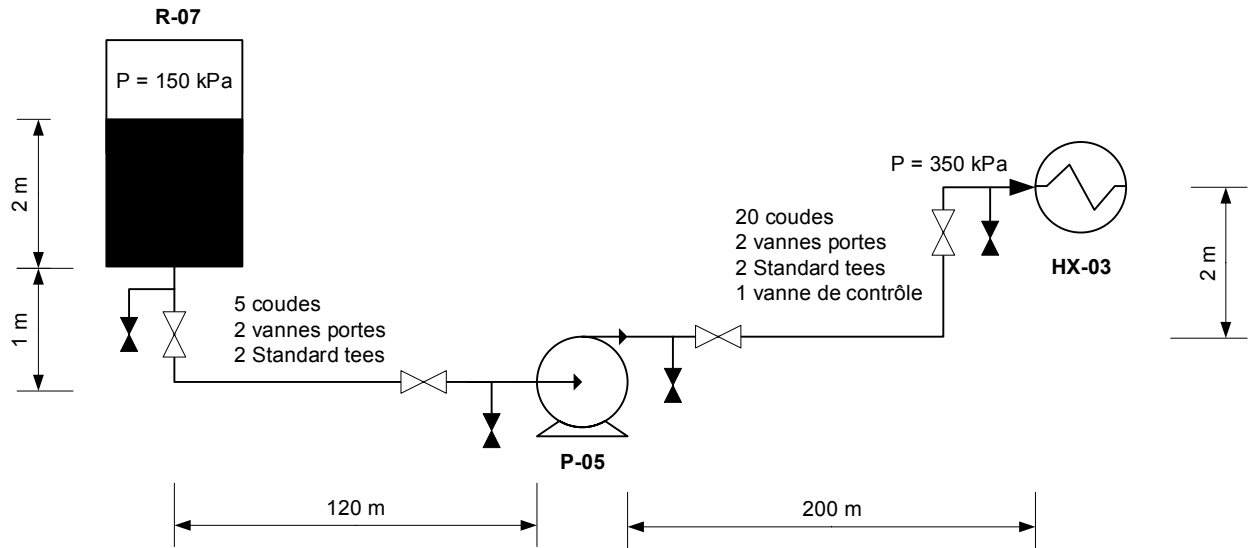
Les propriétés suivantes du mélange éthylbenzène-phénol à 25 °C sont :

Masse moléculaire moyenne du mélange: 99.5 kg/kmol

Viscosité du mélange :  $2.1 \cdot 10^{-3}$  Pa•s

Masse volumique du mélange : 978.2 kg/m<sup>3</sup>

Tension de vapeur du mélange : 6 kPa



- Calculez le nombre de Reynolds dans la zone d'aspiration de la pompe. **(7 points)**
- Calculez la longueur équivalente (m) des singularités dans la zone d'aspiration de la pompe. **(8 points)**
- Calculez le NPSH. **(7 points)**
- Advenant le cas où la température du réseau chutait à  $15^\circ\text{C}$ , est-ce que cela affecterait :
  - La valeur du nombre de Reynolds ? **(1 point)**
  - La valeur de la longueur équivalente des singularités ? **(1 point)**
  - La valeur du NPSH ? **(1 point)**

**Justifiez clairement chacune de vos réponses.**

#### 4. Adsorption de l'eau (15 points)

On vous embauche afin d'installer une unité d'adsorption de l'eau dans l'air à l'aide de l'adsorbant  $\text{CaSO}_4$ . Le débit d'air à traiter est de  $2 \text{ m}^3$  (TPN)/min. Avant son entrée à la colonne d'adsorption, l'air possède une température sèche de  $38^\circ\text{C}$  et une température humide de  $25^\circ\text{C}$ .

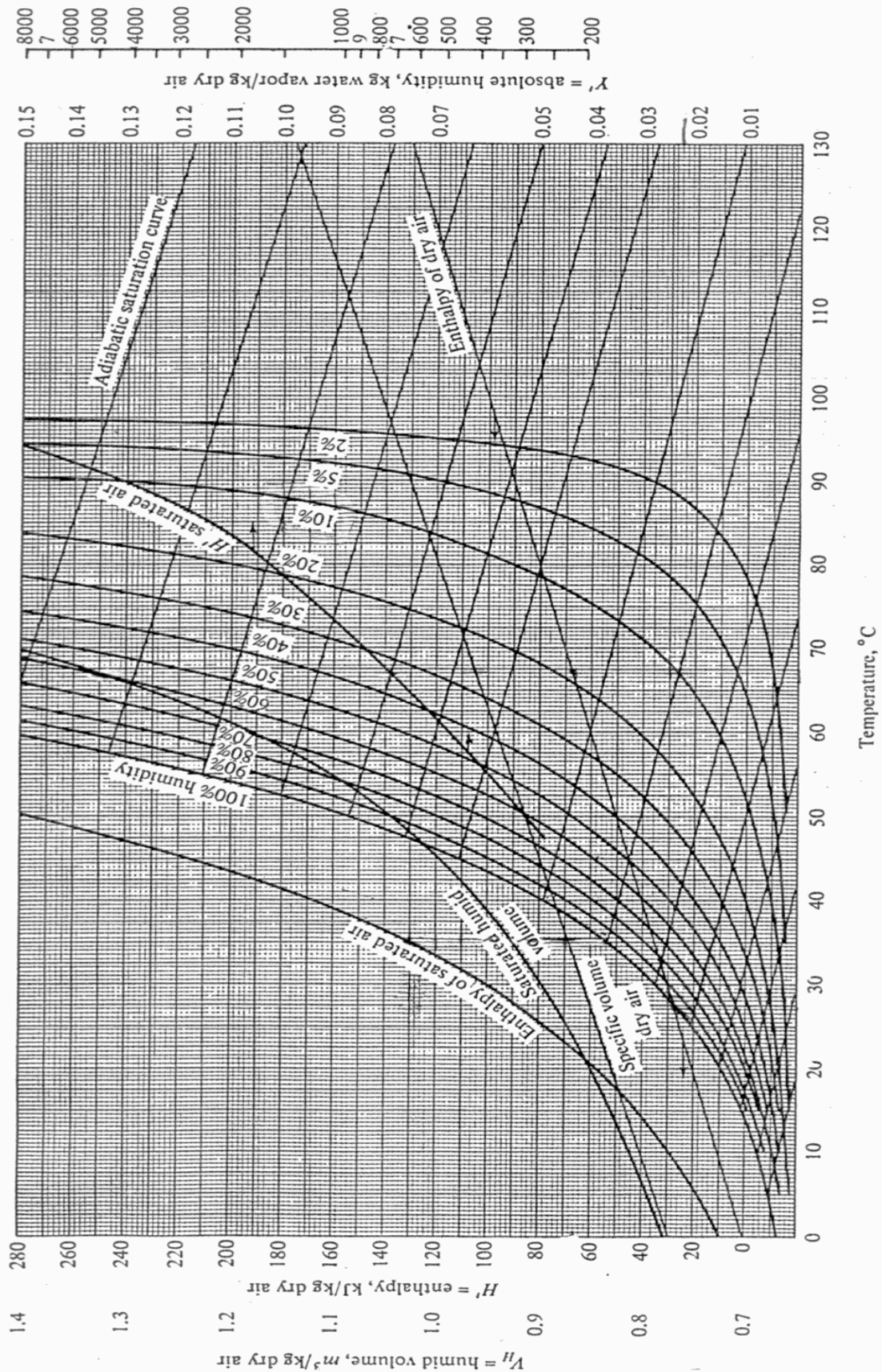
Pour cet air, évaluez :

- A) son humidité absolue ; **(1 point)**
- B) son pourcentage d'humidité ; **(1 point)**
- C) sa température de rosée ; **(1 point)**
- D) son volume humide ; **(2 points)**
- E) son enthalpie. **(1 point)**

Calculez la quantité d'eau (kg) qui sera adsorbée par le  $\text{CaSO}_4$  pendant une période d'une heure si l'on souhaite retirer toute l'eau. **(9 points)**

Utilisez la charte psychrométrique disponible à la page 8 et insérez cette page dans votre cahier de réponses.

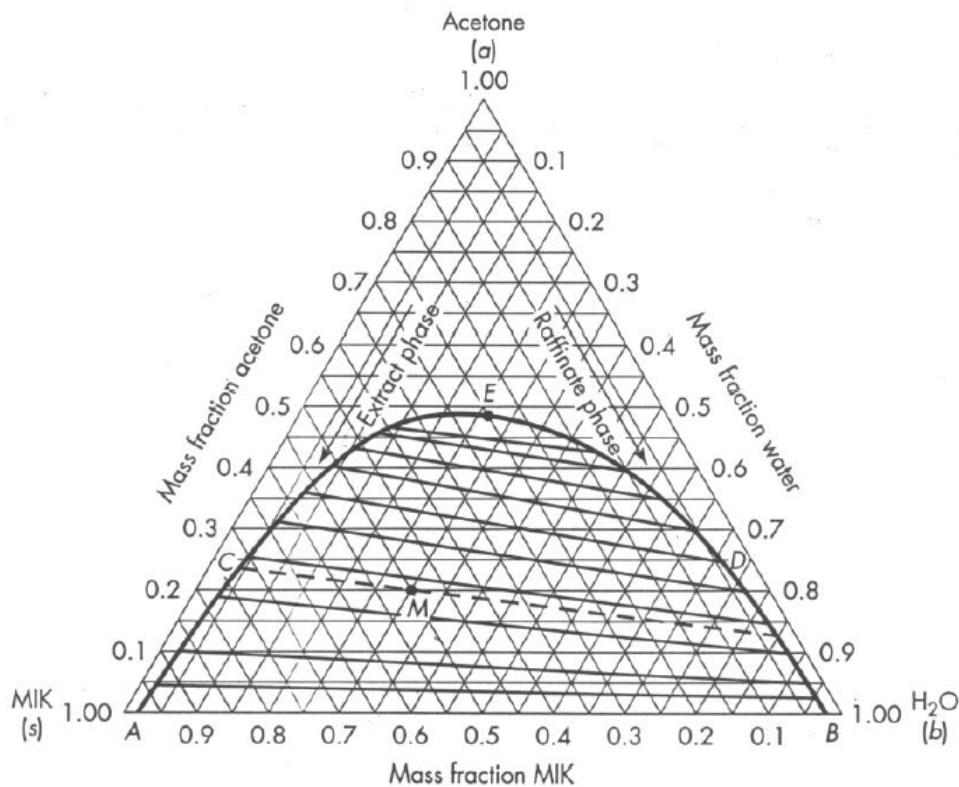
INSÉREZ CETTE PAGE DANS VOTRE CAHIER DE RÉPONSES.





## 5. Questions en rafale (20 points)

- A) Dans un système de distillation, pourquoi doit-on réacheminer une partie du liquide en tête de colonne ? **(3 points)**
- B) Vous faites la conception d'une colonne à distiller en prenant en compte une alimentation liquide au point de bulle et vous obtenez 10 plateaux théoriques. Si l'alimentation devient un liquide sous-refroidi, comment variera le nombre de plateaux théoriques ? **(3 points)**
- C) En distillation, expliquez pourquoi plus le ratio  $R/R_{\min}$  augmente et plus les coûts d'opération augmentent. **(3 points)**
- D) En absorption, pourquoi peut-il être nécessaire d'utiliser un redistributeur de liquide à l'intérieur d'une colonne à garnissage entre les lits de garnissage ? **(3 points)**
- E) Une solution de 45 kg contenant 30% massique d'acétone dans de l'eau doit être extraite avec du méthyl-isobutyl-ketone (MIK) pur.
  - I. Quelles sont les coordonnées du point où l'extraction débute ? **(2 points)**
  - II. Quelles sont les coordonnées du point où l'extraction se termine ? **(2 points)**
  - III. Si l'on utilise 45 kg de solvant, quelles seront les coordonnées du point de mélange ? **(3 points)**



F) Un fluide newtonien est agité en régime laminaire dans une cuve munie d'un ruban hélicoïdal. Pour chacune des trois questions suivantes, déterminez si le paramètre reste constant, diminue ou augmente.

- I. Qu'arrive-t-il au nombre  $K_p$  si on diminue la vitesse d'agitation ? **(2 points)**
- II. Qu'arrive-t-il au nombre  $N_p$  si on diminue la vitesse d'agitation ? **(2 points)**
- III. Qu'arrive-t-il au temps de circulation adimensionnel si on diminue la vitesse d'agitation ? **(2 points)**