



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Montpellier pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

CORRIGE

Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL

INDUSTRIES DE PROCÉDÉS

SESSION 2011

ÉPREUVE E2 ÉTUDE ET CONDUITE DES OPÉRATIONS UNITAIRES

FABRICATION DE L'ISOPROPANOL

DOSSIER CORRIGÉ

Barème sur 80 points

Partie 2 : Étude qualitative	14 points
Partie 3 : Rectification continue	14 points
Partie 4 : Bilan matière	06 points
Partie 5 : Bilan thermique	15 points
Partie 6 : Régulation	14 points
Partie 7 : Dynamique des fluides	17 points

DOSSIER CORRIGÉ		Session 2011	
Baccalauréat Professionnel INDUSTRIES DE PROCÉDÉS			
Épreuve E2 : Étude et conduite des opérations unitaires			
Code : 1106-IPT-COR	Durée : 4 heures	Coefficient : 3	Page : 1/14

PARTIE 1

UTILISATION DE L'ISOPROPANOL DANS L'INDUSTRIE DE PROCÉDÉS

Le propan-2-ol ou isopropanol est un solvant couramment utilisé dans l'industrie.

Il est notamment utilisé dans l'impression offset comme composant additionnel des solutions de mouillage. L'alcool isopropylique, dilué à une valeur entre 5 et 20% dans la solution de mouillage, remplit différentes fonctions essentielles :

- il diminue la tension superficielle de la solution
- il augmente la viscosité de la solution
- il limite l'émulsionnement de la solution dans l'encre
- il s'évapore très rapidement en permettant de refroidir les rouleaux.

Une solution aqueuse d'isopropanol à 65% molaire en alcool est obtenue par rectification en continu.

Cette étape constitue la dernière phase de la purification de l'alcool obtenu par synthèse à partir du propène (voir schéma de procédé).

À partir de la détermination du nombre de plateaux théoriques nécessaires à cette séparation par la méthode graphique de Mac Cabe et Thiele, on déterminera le choix de la colonne utilisée ainsi qu'une méthode pour améliorer le titre du distillat.

PARTIE 2

ÉTUDE QUALITATIVE

(14 points)

1. À quelle classe d'alcool appartient l'isopropanol ?

Alcool secondaire

1 point

2. En vous aidant des courbes caractéristiques du binaire eau-isopropanol, déterminer à quel type de mélange il appartient ?

Homoazéotrope à minimum de température ou positif

1 point

3. À l'aide des courbes isobares d'ébullition et de rosée, donner le titre molaire maximal du distillat attendu en tête de colonne ainsi que le titre molaire minimal du résidu attendu en pied, pour la distillation d'un mélange à 20% molaire en alcool.

Distillat en tête : azéotrope à 69% molaire en alcool

Résidu en pied : 0% molaire en alcool (eau)

2 points

4. À l'aide des courbes isobares d'ébullition et de rosée, donner le titre molaire minimal du distillat attendu en tête de colonne ainsi que le titre molaire maximal du résidu attendu en pied, pour la distillation d'un mélange à 75% molaire en alcool.

Distillat en tête : azéotrope à 69% molaire en alcool

Résidu en pied : 100% molaire en alcool isopropanol

2 points

5. L'imprimeur a besoin d'une solution de mouillage à 10% en alcool. Si la solution de mouillage est assimilée à de l'eau, les autres constituants étant en quantité infime, calculer la quantité d'eau à ajouter au mélange obtenu en tête de colonne par rectification, pour préparer 10kg de solution de mouillage.

- 5.1 Transformer le titre molaire $X = 68,7\%$ en titre massique (masses molaires page 4 du dossier ressources).

$$w = \frac{(68,7 \times 60)}{(68,7 \times 60 + (100 - 68,7) \times 18)} \times 100 = 87,98\% \quad \mathbf{2 \text{ points}}$$

- 5.2 Calculer la masse de mélange de titre molaire $x = 68,7\%$ à prélever en effectuant un bilan massique en alcool.

$$\mathbf{\text{Bilan partiel : } Q_{\text{malcool}} \times W_{\text{alcool}} + Q_{\text{meau}} \times W_{\text{eau}} = Q_{\text{msolution}} \times W_{\text{solution}}}$$

$$\mathbf{\text{Avec } W_{\text{eau}} = 0}$$

$$Q_{\text{malcool}} = \frac{(10 \times 10)}{87,98} = 1,14 \text{ kg} \quad \mathbf{2 \text{ points}}$$

- 5.3 Calculer la masse d'eau à ajouter.

$$\mathbf{\text{Bilan global : } Q_{\text{malcool}} + Q_{\text{meau}} = Q_{\text{msolution}}}$$

$$\mathbf{\text{Donc } Q_{\text{meau}} = Q_{\text{m solution}} - Q_{\text{malcool}} = 10 - 1,14 = 8,86 \text{ kg} \quad \mathbf{2 \text{ points}}}$$

6. Pour respecter les normes Européennes de sécurité et d'environnement, l'isopropanol tend à être abandonné dans l'imprimerie au profit de substances moins dangereuses. À l'aide de la fiche sécurité, donner 2 raisons pour abandonner ce produit.

Produit inflammable

Produit irritant

2 points

PARTIE 3

ÉTUDE DE LA RECTIFICATION CONTINUE (14 points)

Le mélange aqueux à 7% molaire en isopropanol est introduit à sa température d'ébullition sur une colonne de rectification fonctionnant à pression atmosphérique normale.

On obtient en tête un distillat à 65% molaire en alcool et en pied un résidu à 99% molaire en eau.

1. Donner la température d'ébullition du mélange d'alimentation.

84°C

1 point

2. Sur la partie fournie de la droite d'équilibre liquide-vapeur, tracer la droite opératoire d'enrichissement à reflux minimum et déterminer le taux de reflux minimum R_{min} .

On trouve : $\frac{x_D}{R_{min}+1} = 0,48$ et donc $R_{min} = 0,35$

**(1 point pour le tracé de la droite
1 point pour la détermination de l'ordonnée à l'origine
1 point pour R_{min})**

3. En sachant que le taux de reflux réel est $R = 1.5 R_{min}$, tracer les droites d'enrichissement et d'épuisement afin de déterminer le nombre de plateaux théoriques.

$R = 1.5 * 0.35 = 0,525$ On trouve 12 étages théoriques : 11 plateaux +1 bouilleur

**(1 point pour la droite enrichissement
1 point pour la droite d'appauvrissement
2 points pour le tracé des étages
2 points pour le nombre de plateaux théoriques)**

4. L'industriel possède une colonne à plateaux de 9 plateaux réels. La rectification est-elle possible dans les conditions désirées ? Justifier votre réponse.

Non, la rectification est impossible car la colonne possède moins de plateaux réels que de plateaux théoriques.

2 points

5. Que doit faire l'opérateur pour atteindre les objectifs de qualité fixés avec la colonne proposée ?

L'opérateur devra augmenter le taux de reflux.

2 points

PARTIE 4 BILAN MATIÈRE

(6 points)

La colonne est alimentée par un débit de 56 kg/h d'un mélange eau-isopropanol à 20% massique en alcool et permet d'obtenir en tête un distillat à 86% massique en alcool et en pied un résidu à 3,26% massique en alcool.

1. Calculer les débits de distillat et de résidu obtenus.

Bilan global :

$$q_{ma\ lim} = q_{m\ distillat} + q_{m\ résidu}$$

Bilan partiel :

$$q_{ma\ lim} \times W_{a\ lim} = q_{m\ distillat} \times W_{d\ istillat} + q_{m\ résidu} \times W_{r\ ésidu}$$

Résolution :

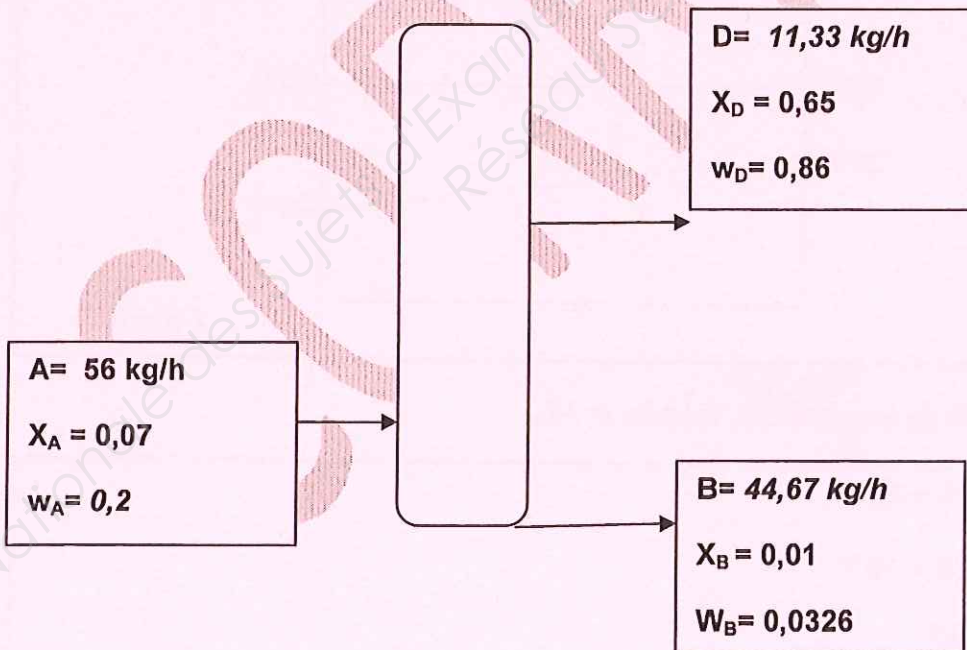
$$Q_{m\ résidu} = \frac{(Q_{ma\ lim} \times (W_{a\ lim} - W_{d\ istillat}))}{(W_{r\ ésidu} - W_{d\ istillat})}$$

$$Q_{m\ résidu} = \frac{(56 \times (20 - 86))}{(3,26 - 86)} = 44,67 \text{ kg}$$

$$Q_{m\ distillat} = Q_{ma\ lim} - Q_{m\ résidu} = 56 - 44,67 = 11,33 \text{ kg}$$

5 points

2. Compléter le tableau du bilan massique suivant.



1 point

PARTIE 5

BILAN THERMIQUE (15 points)

On effectue le bilan thermique au niveau du condenseur E1.

En tête de la colonne D2 on récupère un mélange eau/propan-2-ol proche de la composition homoazéotrope. Le débit de vapeur en tête de colonne est de $19,74 \text{ kg.h}^{-1}$.

1. Calculer le flux thermique nécessaire à la condensation du mélange de tête de colonne.

$$\Phi = Q_m \times L_v$$

$$\Phi = 19,74 \times 885 = 17469,9 \text{ kJ.h}^{-1}$$

2 points

2. Déterminer le débit d'eau de refroidissement nécessaire en admettant qu'il n'y a pas de pertes de chaleur.

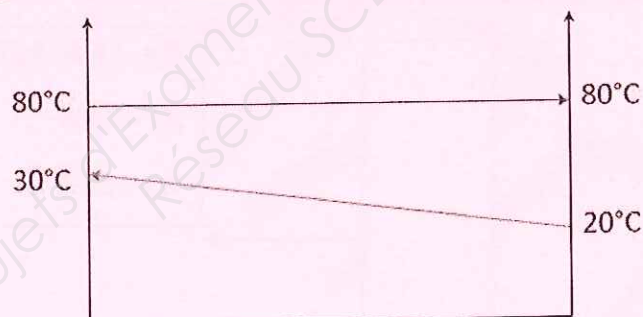
$$\Phi = Q_{\text{eau}} \times C_{p\text{eau}} \times \Delta T$$

$$17469,9 = Q_{\text{eau}} \times 4,18 \times 10$$

$$Q_{\text{eau}} = \frac{17469,9}{4,18 \times 10} = 417,94 \text{ kg.h}^{-1}$$

2 points

3. Tracer le profil de température du condenseur sachant qu'il fonctionne à contre-courant.



1 point

4. À l'aide du profil de température, calculer le ΔT_{lm}

$$\Delta T_A = 80 - 30 = 50^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_B = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{lm}} = \frac{50 - 60}{\ln\left(\frac{50}{60}\right)} = 54,85^\circ\text{C}$$

2 points

5. En déduire la surface de l'échangeur.

$$\Phi = K \times S \times \Delta T_{lm}$$

$$\frac{17469,9}{3600} = 0,32 \times S \times 54,85$$

$$S = \frac{17469,9}{0,32 \times 3600 \times 54,85} = 0,276 \text{ m}^2$$

2 points

6. Calculer la surface d'échange d'un tube. En déduire le nombre de tubes présents dans l'échangeur.

$$S_{\text{tube}} = L \times \pi \times D = 1 \times \pi \times 0,01 = 0,031 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{S}{S_{\text{tube}}} = \frac{0,276}{0,031} = 8,8 \text{ tubes} = 9 \text{ tubes}$$

2 points

7. Au bout d'un an d'utilisation, on peut observer un encrassement sur l'échangeur tubulaire. Comment doit évoluer le débit d'eau ? Calculer sa nouvelle valeur si la température de sortie de l'eau est de 27°C.

$$Q_m = \frac{17469,9}{4,18 \times (27 - 20)} = 597 \text{ kg/h}$$

Le débit d'eau va augmenter

4 points

PARTIE 6 RÉGULATION

(14 points)

On s'intéresse ici au préchauffage du mélange qui est injecté dans la colonne D1. Le mélange est injecté dans la colonne à sa température d'ébullition, c'est-à-dire à 84°C. Une boucle de régulation est donc installée en sortie de l'échangeur.

1. Indiquer pour la boucle de régulation précédente :

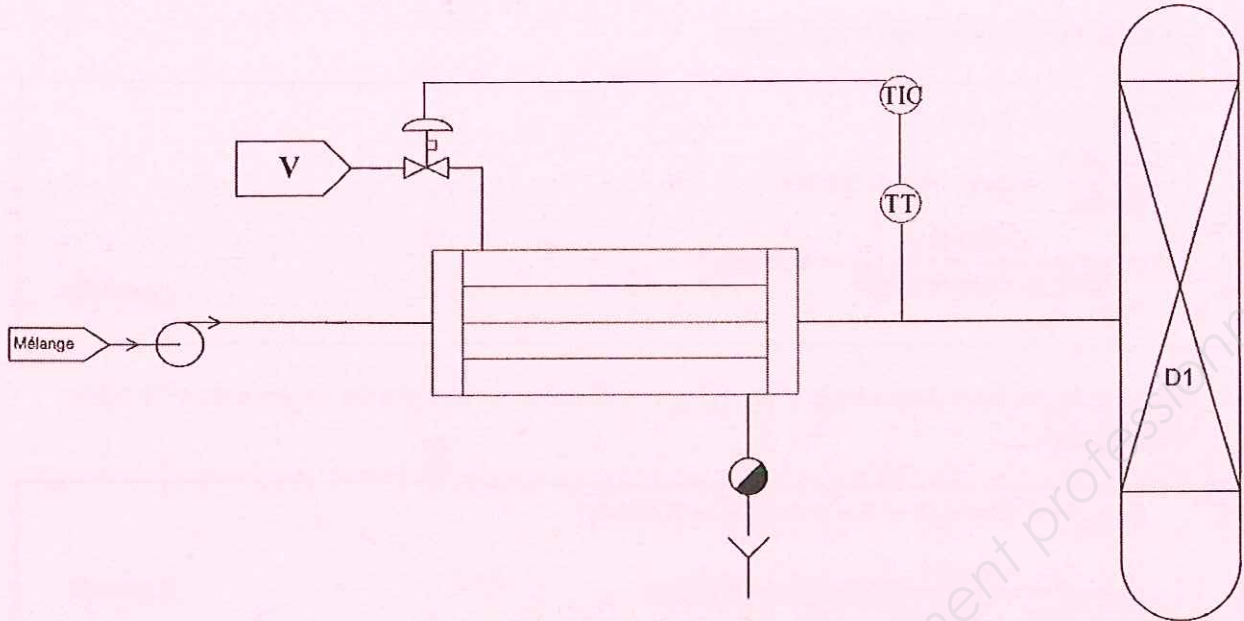
la grandeur mesurée : **température entrée mélange dans la colonne**

la grandeur réglante de la boucle de régulation : **débit de vapeur**

la grandeur perturbatrice : **débit mélange – température mélange**

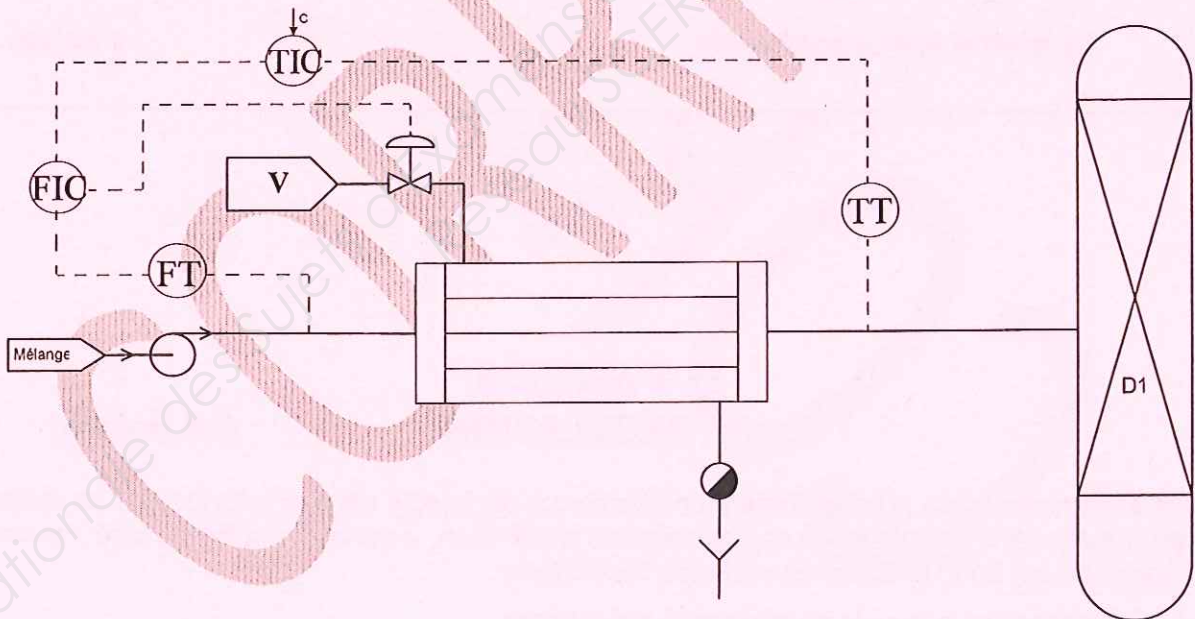
3 points

2. Schématiser la boucle de régulation précédente.



3 points

3. On constate un certain retard sur les performances de la régulation à cause du débit du mélange. Afin d'optimiser les performances de la boucle de régulation, on décide d'installer une cascade. La boucle de régulation de température sera la boucle « maître ». Une seconde boucle de régulation sur le débit du mélange est alors installée en « esclave ». Représenter la boucle de régulation en cascade sur le schéma suivant :



4 points

4. Le capteur de température du mélange est un thermocouple de type E. La température de référence du thermocouple se situe à 20°C. La température du mélange préchauffé est à 78°C. Calculer en mV la valeur de la tension mesurée par le thermocouple.

$$E_{20^{\circ}\text{C}}^{78^{\circ}\text{C}} = E_{0^{\circ}\text{C}}^{78^{\circ}\text{C}} - E_{0^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} = 4,853 - 1,192 = 3,661 \text{ mV}$$

2 points

5. Suite à une perturbation, la température du mélange change. Le thermocouple mesure alors une tension de 4,057mV. Quelle est la valeur de la température du mélange ?

$$E_{0^{\circ}\text{C}}^T = E_{0^{\circ}\text{C}}^{20^{\circ}\text{C}} + E_{20^{\circ}\text{C}}^T = 1,192 + 4,057 = 5,249 \text{ mV}$$

À l'aide du tableau, on en déduit que la nouvelle température est de 84°C.

2 points

PARTIE 7 DYNAMIQUE DES FLUIDES (17 points)

On effectue une étude sur la pompe centrifuge.

La pompe centrifuge P₁ permet le transfert de la solution entre les colonnes D1 et D2.

Caractéristiques du circuit

Débit massique = 30000 kg/h
 Diamètre circuit aspiration : 6 cm
 Diamètre circuit refoulement : 6 cm
 Viscosité solution à 20°C : $\mu = 1,75 \times 10^{-3}$ Pa.s
 Masse volumique à 20°C : $\rho = 882$ kg/m³
 Tube en acier
 Longueur de la canalisation : 20 m
 Colonne D1 : P = 1,2 bar
 Colonne D2 : P = 2 bar
 Colonne D1 : h = 3 m
 Colonne D2 : h = 10 m

Singularités

1 robinet à tournant $\alpha = 20^{\circ}$
 1 clapet anti-retour
 2 robinets-vanne ouverture 3/4
 3 coudes arrondis à 90° de rayon moyen

1. Déterminer le régime d'écoulement

$$u = \frac{Q_v}{S} = \frac{Q_m}{\rho \times S} = \frac{30000}{882 \times 3600 \times \pi \times 0,055^2} = 3,34 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{\rho \times u \times d}{\mu} = \frac{882 \times 3,34 \times 0,06}{1,75 \times 10^{-3}} = 101\,002$$

2 points

2. À l'aide du diagramme de Moody, déterminer le coefficient de perte de charges λ

$$\text{Rugosité relative : } \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,045}{60} = 7,5 \times 10^{-4}$$

$$\lambda = 0,021 \text{ voir tracé annexe 2}$$

2 points

3. Calculer les pertes de charge régulières $\Delta P_{\text{régulières}}$

$$\Delta P_f = \frac{\lambda \rho \cdot u^2 \cdot L}{2d} = \frac{0,021 \times 882 \times 3,5^2 \times 20}{2 \times 0,06} = 37\,816 \text{ Pa}$$

2 points

4. Calculer les pertes de charge singulières $\Delta P_{\text{singulières}}$. Les longueurs équivalentes seront déterminées sur l'annexe 3 – (page 17 du dossier de travail).

Singularité	Leq (m) voir tracé annexe 3	ΔP_s (Pa)
Robinet à tournant $\alpha = 20^\circ$	10	17219
Clapet anti-retour	8	13775
2 robinets-vanne ouverture 3/4	$2 \times 2,8 = 5,6$	9642
3 coudes arrondis à 90° de rayon moyen	$3 \times 1,9 = 5,4$	9814

$$\Delta P_s \text{ totales} = 50540 \text{ Pa}$$

4 points

5. En déduire les pertes de charge totales du circuit

$$\Delta P_{\text{Totales}} = \Delta P_f + \Delta P_s = 37\,816 + 55\,034 = 84887 \text{ Pa}$$

$$J1 \rightarrow 2 = \frac{84887}{(882 \times 9,81)} = 9,8m$$

1 point

6. À l'aide de l'équation de Bernoulli, calculer la HMT de la pompe et déterminer sa puissance hydraulique

$$HMT = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_2 - h_1 + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \Delta l_{1 \rightarrow 2}$$

$$HMT = \frac{(2 \cdot 10^5 - 1,2 \cdot 10^5)}{(882 \times 9,81)} + 10 - 3 + \frac{(3,34^2 - 3,34^2)}{(2 \times 9,81)} + 9,8 = 26m$$

2 points

7. Calculer la puissance hydraulique.

$$Ph = \left(\frac{30000}{882 \times 3600} \right) \times 882 \times 9,81 \times 26 = 2125 \text{ W}$$

1 point

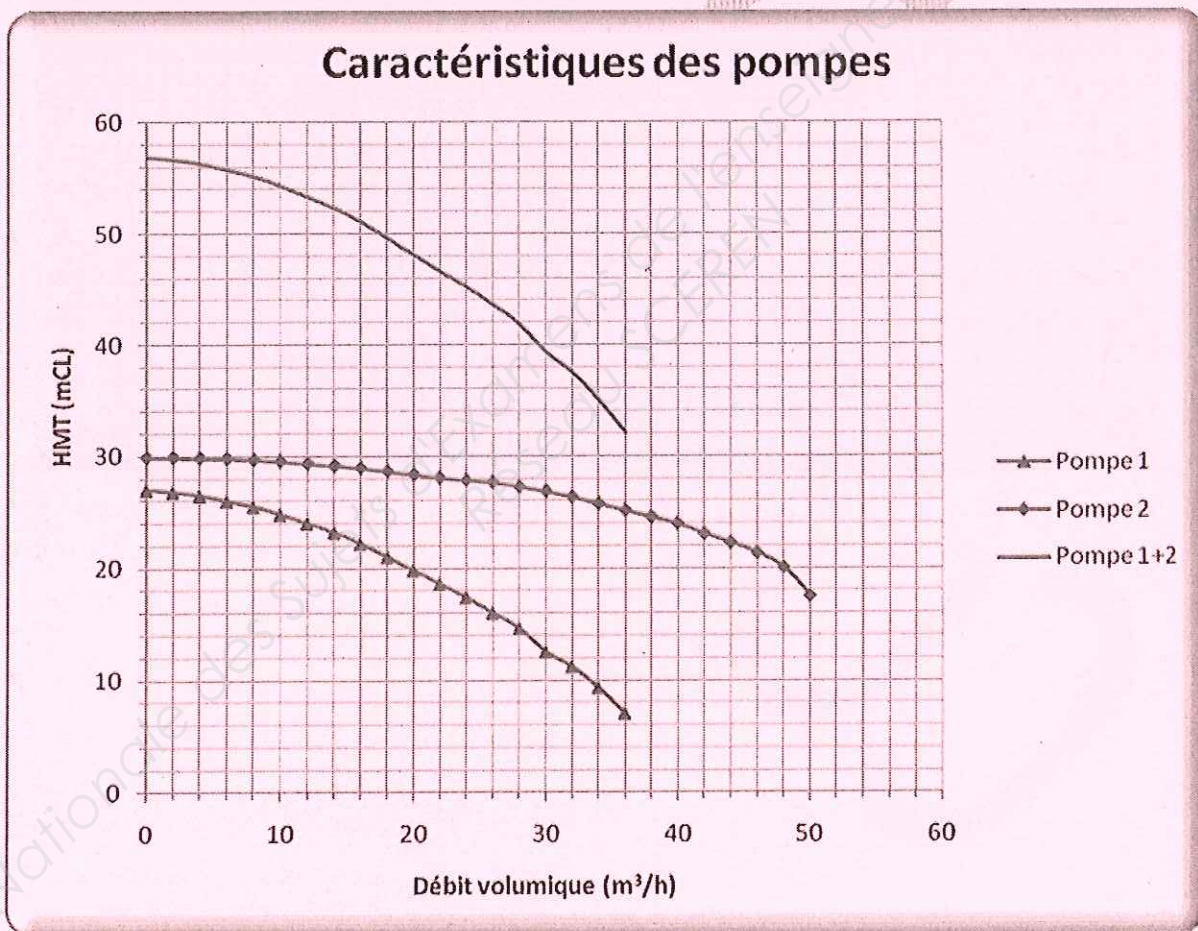
8. D'après la courbe suivante, déterminer la pompe qui est utilisée. Justifier.

On utilise la pompe 2 car pour un débit de 34 m³/h le réseau à une HMT de 26 mCL. Ces deux valeurs sont les coordonnées du point de fonctionnement de la pompe 2. 1 point

9. Après avoir ajouté 2 vannes sur le circuit précédent, on remarque que la HMT de la pompe n'est plus suffisante pour transférer la solution d'une colonne à l'autre. On décide d'utiliser une deuxième pompe.
Quel montage sera choisi, pourquoi ?

Les deux pompes seront montées en série car les HMT s'additionnent. 1 point

10. Les deux pompes utilisées sont celles du graphique précédent. Tracer sur ce même graphique, la résultante des deux pompes correspondant au montage choisit à la question VII.8.

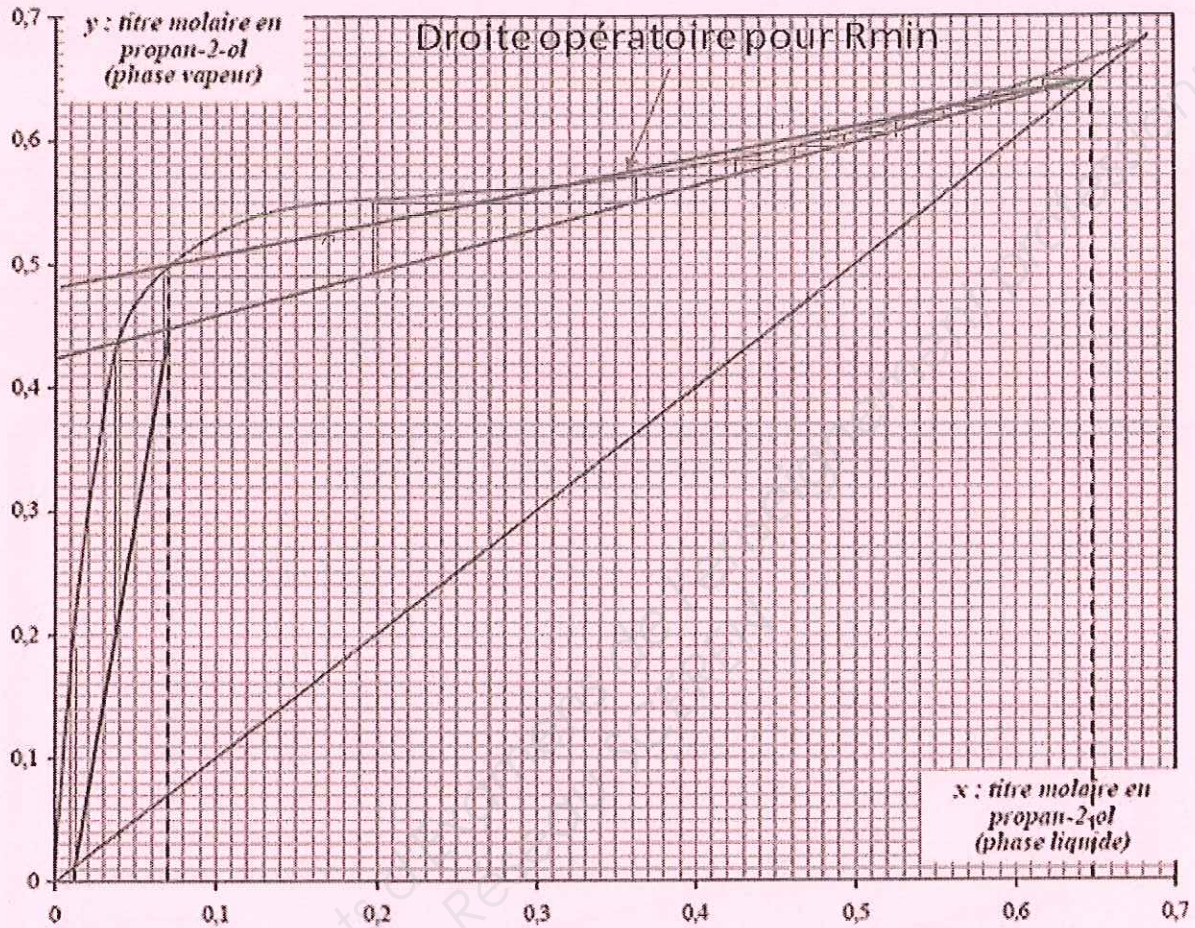


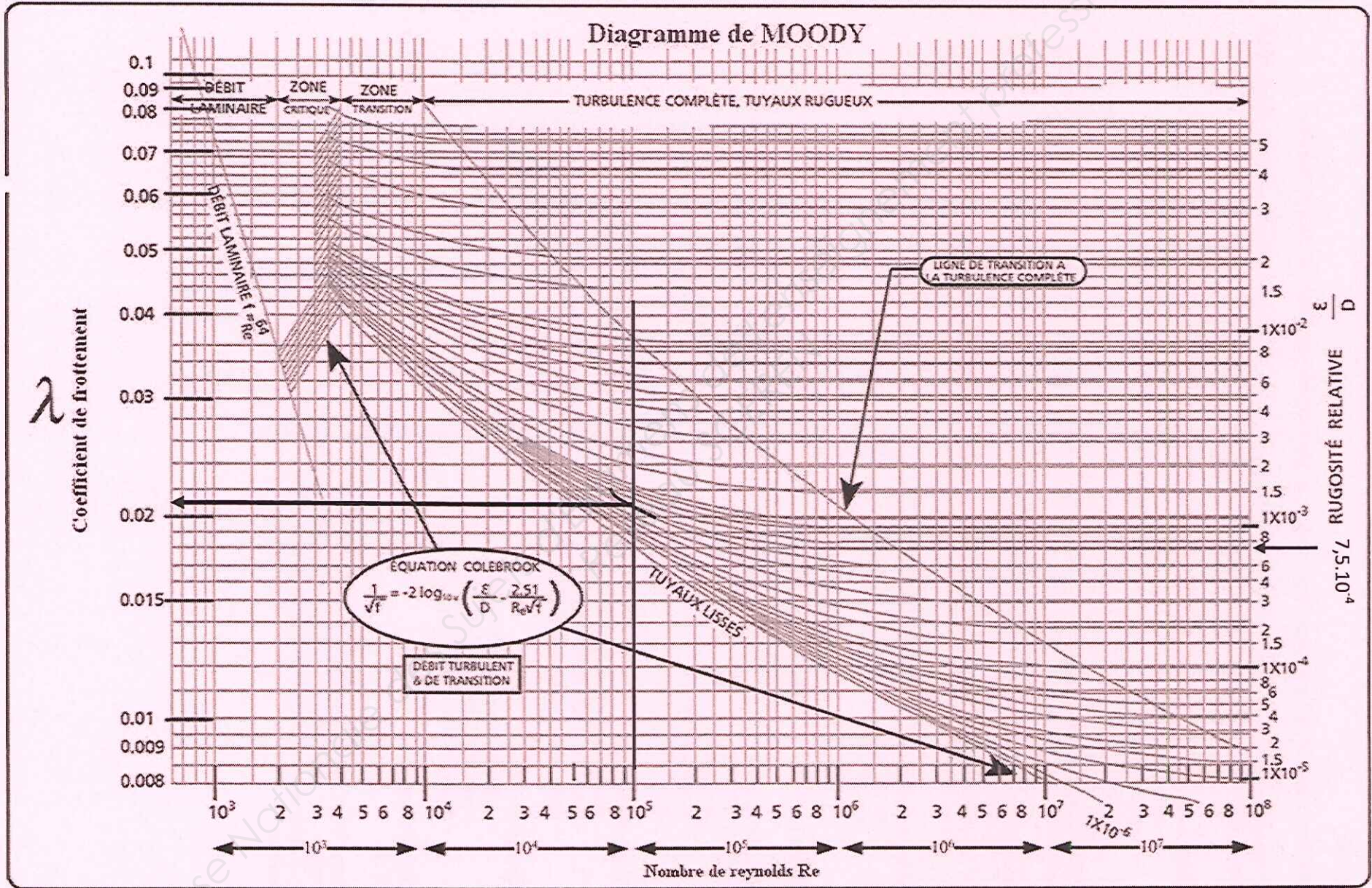
1 point

ANNEXE 1

(à rendre avec la copie)

DIAGRAMME D'ÉQUILIBRE LIQUIDE-VAPEUR EAU – PROPAN-2-OL ; P = 1,0 bar





(à rendre avec la copie)

ANNEXE 2

ANNEXE 3

Exemple :

Calculer la longueur équivalente d'un clapet anti-retour placé sur une canalisation de 5 cm de diamètre.

On joint le point $d = 5$ cm (sur la droite numéro 3) au point E qui représente le clapet anti-retour (sur la droite numéro 1) ; on lit $L_e = 7$ m (sur la droite numéro 2).

Robinet – vanne :

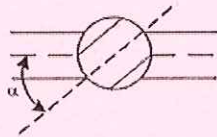
- ouverture $\frac{1}{4}$: A
- ouverture $\frac{1}{2}$: C
- ouverture $\frac{3}{4}$: H
- ouverture 1 : O

Robinet droit à soupape, ouverture : B

Robinet d'équerre à soupape, ouverture 1 : D

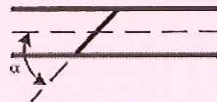
Robinet à tournant :

- $\alpha = 10^\circ$: H
- $\alpha = 20^\circ$: D
- $\alpha = 40^\circ$: A

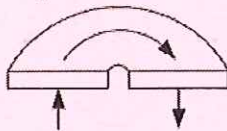


Robinet à papillon :

- $\alpha = 10^\circ$: G
- $\alpha = 20^\circ$: D
- $\alpha = 40^\circ$: A



Coude à 180° : F



Coude brusque à 90° : G

Coude arrondi à 90° :

- de petit rayon : I
- de rayon moyen : J
- de grand rayon : K

Élargissement brusque :

- rapport des diamètres $d/D = \frac{1}{4}$: H
- rapport des diamètres $d/D = \frac{1}{2}$: K
- rapport des diamètres $d/D = \frac{3}{4}$: L

Rétrécissement brusque :

- rapport des diamètres $d/D = \frac{1}{4}$: M
- rapport des diamètres $d/D = \frac{1}{2}$: N
- rapport des diamètres $d/D = \frac{3}{4}$: O

Clapet anti-retour : E

Té : G

Lorsqu'il y a des variations de section (élargissement brusque ou rétrécissement brusque), la longueur équivalente est à rajouter à la portion de plus petit diamètre.

