

SESSION DE 2008

**CA/PLP**  
**CONCOURS EXTERNE ET CAFEP**

**Section : GENIE CHIMIQUE**

**SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES**

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche, y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

## SOMMAIRE

	<b>Pages</b>
<b>I. Etude d'un fermenteur</b>	<b>3</b>
<b>II. Etude d'une extraction liquide-liquide</b>	<b>8</b>
<b>III. Etude d'un échangeur de chaleur à plaques et joints</b>	<b>10</b>
<b>IV. Etude du transport des fluides</b>	<b>14</b>

## ANNEXES

<b>1. Tableaux récapitulatifs des résultats du dimensionnement de l'agitateur</b>	<b>17</b>
<b>2. Courbe de miscibilité C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O-H<sub>2</sub>O-CCL<sub>4</sub> sur diagramme ternaire</b>	<b>18</b>
<b>3. Courbe de distribution du soluté entre les deux phases</b>	<b>19</b>
<b>4. Abaques pour la détermination de la valeur du terme correctif c (E.E.F.) en fonction du T.R. pour différents nombres de passages</b>	<b>20</b>
<b>5. Détermination du produit U. s en fonction du débit interplaque pour différents rapport de débit fluide chaud par rapport au fluide froid</b>	<b>21</b>
<b>6. Etude schématique et technique</b>	<b>22</b>
<b>7. Abaque conversion des accidents - Equivalences des pertes de charges en longueurs droites de tuyauterie</b>	<b>23</b>
<b>8. Diagramme de MOODY</b>	<b>24</b>
<b>9. Caractéristiques de la pompe</b>	<b>25</b>

## BAREME

<b>I</b>	<b>20 points</b>
<b>II</b>	<b>25 points</b>
<b>III</b>	<b>15 points</b>
<b>IV</b>	<b>20 points</b>

**TOTAL 80 POINTS**

---

## I - ETUDE D'UN FERMENTEUR

---

On se propose d'étudier un réacteur permettant la culture de levures *Saccharomyces cerevisiae*. Ce réacteur, de petit volume, fonctionne en batch pour préparer l'ensemencement d'un deuxième réacteur.

Le réacteur, d'un volume efficace de  $0,1 \text{ m}^3$  est inoculé par la levure. Il est agité par une turbine disque à pales droites de Rushton et refroidi par une double enveloppe.

La concentration de départ en inoculum est  $X_0 = 0,1 \text{ kg/m}^3$

La concentration finale en matière sèche est  $X_F = 60 \text{ kg/m}^3$

Dans les conditions de  $\text{pH}=5$  et de température  $T=30^\circ\text{C}$ , le taux de croissance spécifique maximal des levures est  $\mu_{\text{max}} = 0,3 \text{ h}^{-1}$ .

Les rendements de croissance sont les suivants : 100 g de sucre donnent 50 g de biomasse sèche en présence de 50 g de dioxygène.

Le fermenteur assure un coefficient de transfert  $K_{La}$  de  $251 \text{ h}^{-1}$ .

La solubilité du dioxygène dans l'eau est de  $7,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  à  $30^\circ\text{C}$ .

La viscosité du milieu est de  $10^{-3} \text{ Pa.s}$  et sa masse volumique de  $1086 \text{ kg/m}^3$ .

A- Etude de la cinétique de croissance exponentielle

**1.1 - Déterminer l'expression  $X=f(t)$ .**

**1.2 - Calculer la durée du batch.**

**1.3 - Calculer la vitesse de croissance exponentielle.**

B- Etude de l'agitation

**1.4 - Expliquer l'intérêt du choix d'une turbine pour effectuer l'agitation. Vous développerez notamment les formes de courant.**

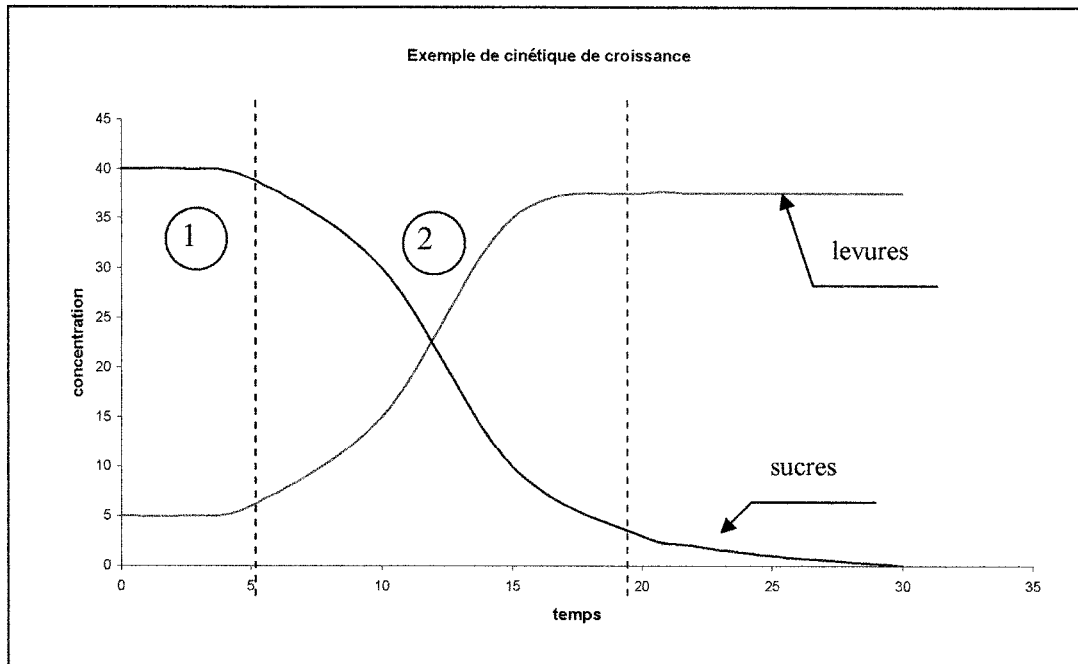
**1.5 - La vitesse en extrémité de pales doit être environ égale à 5 m/s. Vérifier qu'une vitesse de rotation de 8,9 tr/s vérifie cette condition.**

**1.6 - Vérifier que la géométrie de l'agitateur choisi permet d'avoir un coefficient de transfert de  $251 \text{ h}^{-1}$ , un degré de rétention du gaz de 0,11, un débit d'air de 4 L/s et une hauteur d'agitation proche de celle du niveau de liquide dans la cuve.**

**1.7 - Compléter les tableaux récapitulatifs en annexe 1.**

**Données :**

*Cinétique de croissance :*



*NB : les chiffres du graphique ne correspondent pas au cas étudié*

**Phase 1** : « phase de latence »

**Phase 2** : « phase de croissance exponentielle », le volume V du milieu réactionnel est constant, le taux de croissance est constant et égal au taux de croissance maximum.

→ L'équation générale de croissance est:

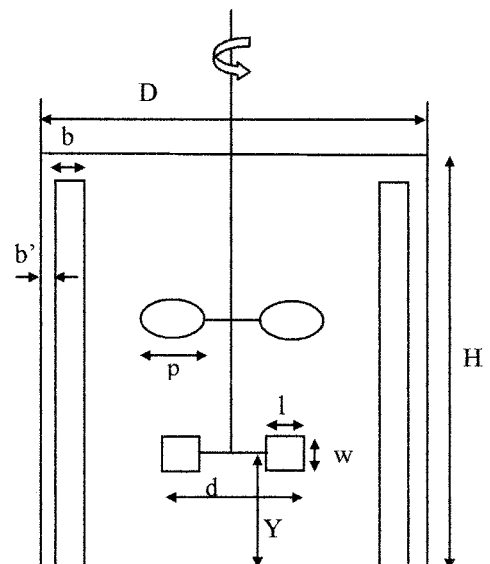
$$\frac{d(X \cdot V)}{dt} = \mu \cdot X \cdot V$$

→ La vitesse de croissance exponentielle est :

$$rX = KLa \cdot S_{O_2} \cdot Y_{X/O_2}$$

Géométrie de la cuve

$H = D$	$b/D = 0,1$	$b'/D = 0,02$
$np = 6$	$nc = 4$	$w/d = 0,2$
$l/d = 0,25$	$d/D = 1/3$	$Y/d = 1$





Nombre de puissance  $N_p$  et de pompage  $N_{qp}$  pour différents mobiles d'agitation

**Tableau 1 :** Extrait du tableau « Nombre de puissance de différents mobiles d'agitation en régime turbulent », Techniques de l'Ingénieur

Mobile	Eléments géométriques	Nombre de puissance $N_p$
Hélice marine	$p=d$ ; $np=3$ ; $nc=3$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,34
	$p=d$ ; $np=3$ ; $nc=4$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,35
Hélice à pales profilées	$np=3$ ; $nc=3$ ; $d/D=2/3$ ; $Y/d=1/4$	0,45
Turbine disque à pales droites	$np=4$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	4
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	5
	$np=6$ ; $nc=3$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	4,6
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $0,27 < d/D < 0,52$ ; $Y/d=1$	5,3
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,125$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	2,5
	$np=8$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	6,9
Turbine à pales incurvées	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,125$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	2,6
	$np=6$ ; $nc=3$ ; $w/d=0,20$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	3,2
Turbine à pales droites	$np=4$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	3,3
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,125$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	2,6
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,2$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	4
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	5,1
	$np=4$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,2$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=0,25$	4,1
	$np=6$ ; $nc=3$ ; $w/d=0,2$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	4,6

**Tableau 2 :** Extrait du tableau « Nombre de pompage de différents mobiles d'agitation », Techniques de l'Ingénieur

Mobile	Eléments géométriques	Nombre de pompage $N_{qp}$
Hélice marine	$p=d$ ; $np=3$ ; $nc=3$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,55
	$p=d$ ; $np=3$ ; $nc=4$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,50
Hélice à pales profilées	$np=3$ ; $nc=3$ ; $d/D=2/3$ ; $Y/d=1/2$	0,55
Turbine disque à pales droites	$np=4$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,47
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,68
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,8
	$np=6$ ; $nc=3$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	1,30
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,125$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,51
	$np=4$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,20$ ; $l/d=0,25$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	0,5
Turbine à pales incurvées	$np=6$ ; $nc=3$ ; $w/d=0,20$ ; $d/D=1/3$ ; $Y/d=1$	1,1
Turbine à pales droites	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,125$ ; $d/D=0,36$ ; $Y/d=1,4$	0,4
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,175$ ; $d/D=0,36$ ; $Y/d=1,4$	0,8
	$np=6$ ; $nc=4$ ; $w/d=0,25$ ; $d/D=0,36$ ; $Y/d=1,4$	1,30
	$np=6$ ; $nc=3$ ; $w/d=0,2$ ; $d/D=0,33$ ; $Y/d=1$	0,98

Nomenclature :

**A- Cinétique**

X :	concentration en biomasse sèche	en $\text{kg}/\text{m}^3$
$\mu$ :	taux de croissance spécifique	en $\text{h}^{-1}$
V :	volume du milieu réactionnel	en $\text{m}^3$
Kla :	coefficient volumique de transfert	en $\text{h}^{-1}$
rX :	vitesse de croissance	en $\text{kg} / \text{h} / \text{m}^3$
S <sub>O2</sub> :	solubilité de l'oxygène dans l'eau	en $\text{kg}/\text{m}^3$
Y <sub>X/O2</sub> :	rendement en biomasse sur le dioxygène	en $\text{kg}/\text{kg}$

**B- Agitation**

$\rho$ :	masse volumique du milieu	en $\text{kg}/\text{m}^3$
$\mu$ :	viscosité dynamique du milieu	en Pa.s
$\epsilon_g$ :	degré de rétention du gaz	
b :	largeur des chicanes	en m
b' :	décollement des chicanes	en m
d :	diamètre de l'agitateur	en m
D :	diamètre de la cuve	en m
D <sub>air</sub> :	débit d'air	en $\text{m}^3/\text{s}$
Fr :	nombre de Froude	
g :	accélération de la pesanteur (=9,81)	en $\text{m}/\text{s}^2$
H :	hauteur de la cuve	en m
H* :	hauteur d'agitation	en m
Kla :	coefficient volumique de transfert	en $\text{h}^{-1}$
l :	largeur des pales	en m
N :	vitesse de rotation de l'agitateur	en $\text{tr}/\text{s}$
Na :	Nombre d'aération	
nc :	nombre de chicanes	
np :	nombre de pales	
Np :	nombre de puissance	
Nqp :	nombre de pompage	
P :	puissance	en W
Qc :	débit de circulation	en $\text{m}^3/\text{s}$
Qp :	débit de pompage	en $\text{m}^3/\text{s}$
Re :	nombre de Reynolds	
T <sub>air</sub> :	taux d'aération	en VVM (volume d'air par volume de liquide par min)
Tc :	temps de circulation	en s
Tm :	temps d'homogénéisation de la cuve	en s
u <sub>g</sub> :	vitesse superficielle du gaz	en $\text{m}/\text{s}$
V :	volume de la cuve	en $\text{m}^3$
V <sub>pales</sub> :	vitesse en bout de pales	en $\text{m}/\text{s}$
w :	hauteur des pales	en m
Y :	hauteur de placement de l'agitateur bas	en m

---

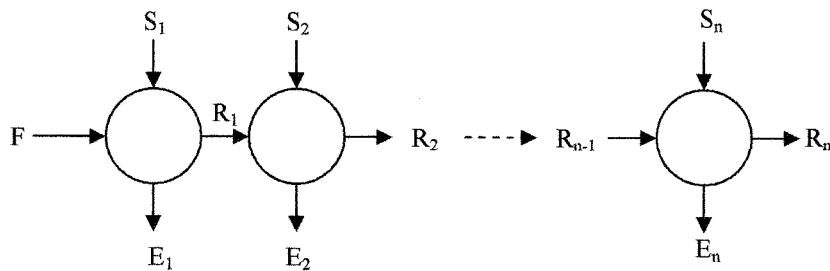
## II - ETUDE D'UNE EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE

---

On traite 100 kg/h d'un mélange résiduel eau-acétone contenant 55% en poids d'acétone ( $C_3H_6O$ ) par du tétrachlorure de carbone ( $CCl_4$ ) pur comme solvant. On souhaite obtenir un raffinat titrant au maximum 3% en poids d'acétone.

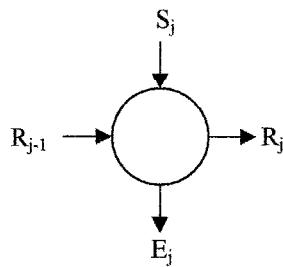
On met en œuvre une extraction à *courants croisés* fonctionnant à  $30^\circ C$  et utilisant *la même quantité de solvant à chaque étage*.

Cette extraction est schématisée ci-dessous :



**2.1 - En observant la courbe de miscibilité de  $C_3H_6O-H_2O-CCl_4$  sur le diagramme ternaire en annexe 2, que pouvez vous dire du solvant et du diluant ?**

**2.2 - Etablir l'équation de la droite opératoire en effectuant le bilan sur un étage. Les notations utilisées seront celles du schéma ci-dessous.**



On suppose que le débit de diluant est constant dans tous les étages. On posera donc :

$$A_0 = F \cdot X_{AF} = R_1 \cdot X_{AR1} = \dots = R_j \cdot X_{ARj} = \dots = R_n \cdot X_{ARn}$$

**2.3 - Tracer sur l'annexe 3, la courbe de distribution du soluté entre les deux phases.**

**Quel est l'intérêt ici d'utiliser les coordonnées  $x$  et  $y$  ?**

**2.4 - Déterminer le taux de solvant minimum pour l'opération à l'aide du diagramme ternaire donné en annexe 2.**

**2.5 - Déterminer le nombre d'étages théoriques pour un taux de solvant de 0,2 ; 1 et 5.**

*Pour chaque taux de solvant, les constructions graphiques seront effectuées sur l'annexe 3, en utilisant des couleurs différentes pour une meilleure lisibilité.*

**2.6 - Pour chaque valeur du taux de solvant, déterminer la quantité totale de solvant utilisée.**

**2.7 - Sachant que le CCl<sub>4</sub> est récupéré ultérieurement mais que cette récupération s'accompagne de 1% de perte par rapport au débit total de CCl<sub>4</sub> utilisé dans l'extraction, déterminer les conditions les plus économiques pour réaliser l'extraction.**

**Données :**

*Courbe de distribution du soluté entre les deux phases (fractions massiques) :*

$$y = \frac{X_{BE}}{X_{SE}} \quad \text{et} \quad x = \frac{X_{BR}}{X_{AR}}$$

avec  $X_{BE}$  = fraction de soluté dans l'extrait  
 $X_{SE}$  = fraction de solvant dans l'extrait  
 $X_{BR}$  = fraction de soluté dans le raffinat  
 $X_{AR}$  = fraction de diluant dans le raffinat

*Composition massique à l'équilibre à 30°C :*

% Acétone dans la phase CCl <sub>4</sub>	% Acétone dans la phase Eau
0,8	3,35
3,95	10,3
4,6	11,5
13,9	22,3
16,5	24,4
24,2	30,4
33,3	35,8
39,6	40,2
47,2	46
51,9	49,8
59,04	59,04

*Données économiques*

- Prix du CCl<sub>4</sub> : 1525 € / tonne
- Prix de revient en investissement : 780 €/plateau théorique
- Amortissement sur 3 ans : 7200 heures de fonctionnement/an.

---

### III - ETUDE D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR A PLAQUES ET JOINTS

---

Dans un échangeur à plaques et joints, la surface d'échange est composée d'une série de plaques métalliques, équipées de joints et serrées les unes contre les autres. Ces plaques définissent un ensemble de canaux dans lesquels circule respectivement chacun des fluides.

L'objectif de l'étude est de dimensionner un échangeur à plaques et joints dont les conditions de fonctionnement sont imposées. Ce dimensionnement se résume à la détermination de la surface d'échange, donc du nombre théorique de plaques et de l'arrangement de ces plaques en fonction des conditions de fonctionnement imposées :

- débit des fluides: débit (fluide chaud) = débit (fluide froid) = 250 L/h
- température d'entrée du fluide chaud :  $T_{ce} = 60^{\circ}\text{C}$
- température de sortie du fluide chaud :  $T_{cs} = 25^{\circ}\text{C}$
- température d'entrée du fluide froid :  $T_{fe} = 10^{\circ}\text{C}$
- température de sortie du fluide froid :  $T_{fs} = 45^{\circ}\text{C}$

Le nombre de plaques est déterminé par une méthode itérative utilisant des abaques fournis par le constructeur à partir de la relation suivante :

$$\Phi = U \cdot S \cdot \Delta TLM \cdot c$$

avec :

- $\Phi$  : quantité de chaleur transmise (kcal/h),
- $U$  : coefficient global d'échange (kcal/(h.m<sup>2</sup>.°C))
- $S$  : surface d'échange (m<sup>2</sup>)
- $\Delta TLM$  : moyenne logarithmique des différences de température
- $c$  : terme correctif qui tient compte de l'effet perturbateur des plaques terminales (End Effect Factor).

$$\text{Or } S = n \cdot s$$

$$\text{et } \Phi = L \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T_f$$

$n$  : nombre de plaques utiles participant à l'échange,  
 $s$  : surface d'échange d'une plaque

$L$  : débit volumique (L/h) du fluide froid  
 $\rho$  : masse volumique (kg/L)  
 $C_p$  : chaleur massique (kcal/(kg.°C))  
 $\Delta T_f$  : variation de température du fluide froid

L'algorithme de calcul du nombre de plaques utiles  $n$  est le suivant :

- a) choix d'une valeur de  $n$  que l'on notera  $n_1$
- b) calcul de  $n$  noté  $n_2$  à partir des relations précédentes
- c) comparaison de  $n_2$  et  $n_1$ .
  - $n_2 > n_1$  échangeur sous-dimensionné, retour à a)
  - $n_2 < n_1$  échangeur sur-dimensionné, retour à a)
  - $n_2 \sim n_1$  (à 0,5 près) surface correcte. On vérifie alors que l'écoulement du fluide est bien turbulent ( $Re > 150$  pour ce type d'échangeur à plaques)

**3.1 - Justifier l'utilisation fréquente des échangeurs à plaques dans l'industrie agroalimentaire.**

**3.2 - Le mode de fonctionnement de l'échangeur à plaques et joints doit-il être à co-courant ou à contre-courant dans les conditions de fonctionnement imposées ? Justifiez votre réponse.**

**3.3 - Déterminer le nombre de plaques nécessaires, ainsi que la surface d'échange pour respecter les conditions de fonctionnement imposées dans le cas :**

- d'un échangeur monopasse
- d'un échangeur double passe (ou bipasse)

Remarques :

- La nature du fluide chaud et du fluide froid est de l'eau dans le cas de cette étude.
- Le nombre de passes et de passages côté fluide chaud et côté fluide froid est équivalent.
- Le nombre total de plaques nécessaire pour le montage est  $N = n + 2$  car les plaques terminales ne participent pas au transfert.

**3.4 - Justifier le choix de l'un ou l'autre montage de l'échangeur.**

**Tournez la page S.V.P.**

**Données :**

Moyenne logarithmique  $\Delta TLM$  : 
$$\Delta TLM = \frac{A - B}{\ln \frac{A}{B}}$$

Si le calcul de  $\Delta TLM$  s'avère impossible, on utilisera la relation suivante :

$$\Delta TLM = T_{ce} - T_{fs} = T_{cs} - T_{fe}$$

Caractéristiques de l'échangeur à plaques et joints fournies par le constructeur :

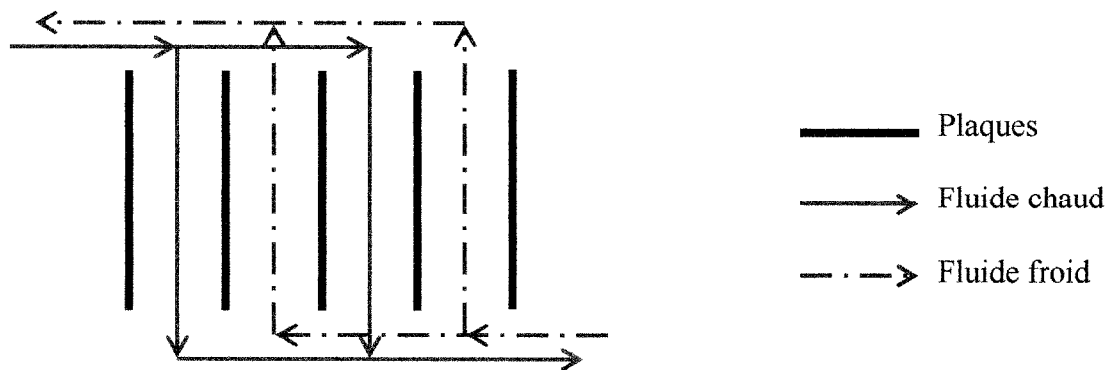
- Abaques E.E.F. en fonction de T.R. en annexe 4.

Avec T.R. (Température ratio):

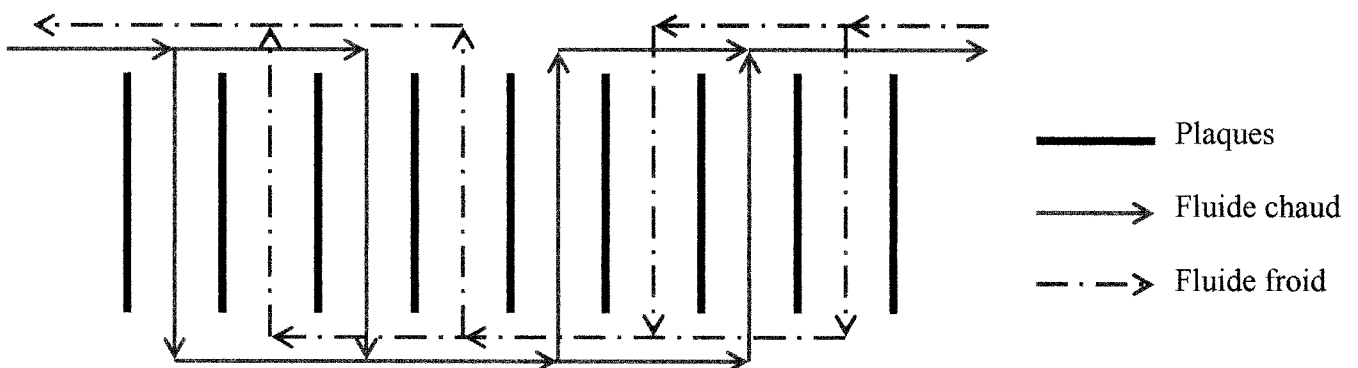
$$T.R. = \frac{\text{Variation de température du fluide froid}}{\Delta TLM * \text{nombre de passes}}$$

- Abaques U\*s en fonction du débit inter plaque (débit total divisé par le nombre de passages) en annexe 5.

Exemple d'un montage d'échangeur monopasse à 2 passages:



Exemple d'un montage d'échangeur double passe (ou bipasse) à 2 passages:



Conversions d'unités:

$$1\text{ m}^3/\text{h} = 220,1 \text{ gal/h}$$
$$1 \text{ btu} = 0,252 \text{ kcal}$$
$$1 \text{ btu}/^\circ\text{F} = 0,4536 \text{ kcal}/^\circ\text{C}$$

Constantes physiques de l'eau :

T (°C)	P (bar)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (kcal/(kg.°C))	h <sub>v</sub> (kcal/kg)	$\lambda$ (kcal/(°C.h.m))	$\mu$ (Pa.s)
0	1	999,8	1,0074	597,3	0,475	182,7.10 <sup>-6</sup>
10	1	999,7	1,0013	591,7	0,497	133,3.10 <sup>-6</sup>
20	1	998,2	0,9988	586,0	0,514	102,2.10 <sup>-6</sup>
30	1	995,7	0,9980	580,4	0,528	81,3.10 <sup>-6</sup>
40	1	992,2	0,9980	574,7	0,540	66,6.10 <sup>-6</sup>
50	1	988,0	0,9985	569,0	0,551	55,9.10 <sup>-6</sup>
60	1	983,2	0,9994	563,2	0,560	47,6.10 <sup>-6</sup>
70	1	977,8	1,0007	557,3	0,568	41,2.10 <sup>-6</sup>
80	1	971,8	1,0023	551,3	0,575	36,2.10 <sup>-6</sup>
90	1	965,3	1,0044	545,2	0,581	32,1.10 <sup>-6</sup>

Nombre de Reynolds :

$$\text{Re} = \frac{u \times D_{eq} \times \rho}{\mu}$$

- u : vitesse d'écoulement du fluide (m/s)
- D<sub>eq</sub> : 2 × espace moyen inter-plaque (m)
- $\rho$  : masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)
- $\mu$  : viscosité dynamique du fluide (Pa.s)

Caractéristiques des plaques :

Matériau	acier inoxydable
Épaisseur	0,71 mm
Dimensions	570 × 70 mm
Surface unitaire	0,0258 m <sup>2</sup>
Largeur d'écoulement	54,0 mm
Espacement moyen	2,03 mm

---

## IV - ETUDE DU TRANSPORT DES FLUIDES

---

4.1 - Afin d'éviter l'oxydation à l'air d'un produit à pomper, celui-ci est stocké dans une citerne sous atmosphère d'azote. La pression dans la citerne est limitée à l'aide de soupapes hydrauliques.

**4.1.1 – Dans les montages industriels, les soupapes d'admission sont combinées avec les soupapes d'échappement. Elles travaillent en opposition.**

**Donner le rôle de chaque soupape dans une installation.**

**4.1.2 – Compléter le schéma (annexe 6) en représentant les parties indispensables au remplissage et au fonctionnement des soupapes.**

*Remarque : On prendra de l'eau comme liquide de garde.*

**4.1.3 - Déterminer les hauteurs d'immersion  $h$  et  $H$  des tubes plongeurs sachant que :**

- Pression d'azote ( $P_{N_2}$ ) : 35 mbar
- Masse volumique du liquide de charge ( $\rho_{liq}$ ) : 1250 kg/m<sup>3</sup> à température ambiante.
- Pression minimale dans l'appareil ( $P_{min}$ ) : 12 mbar
- Pression maximale dans l'appareil ( $P_{max}$ ) : 45 mbar

4.2 – Un liquide est stocké dans une citerne située au niveau du sol, sous pression atmosphérique et à 25°C. La hauteur du liquide dans cette citerne est de 1,6 m par rapport au sol.

La pompe centrifuge est positionnée en charge et alimente un réservoir à une hauteur de 16m. Le débit d'alimentation est de 31,3 t/h.

**4.2.1 – Dans quels cas ne peut-on pas utiliser une pompe centrifuge?**

**4.2.2 – Compléter la légende du schéma de la pompe centrifuge (annexe 6).  
Donner le principe de fonctionnement d'une telle pompe.**

**4.2.3 – Déterminer la hauteur manométrique nécessaire.**

**4.2.4 – En vous aidant de l'annexe 9, que peut-on conclure sur le choix de la pompe?**

**4.2.5 – Vérifier la non cavitation de la pompe à ce débit.**

**4.2.6 – Expliquer de façon succincte le phénomène de la cavitation et ses effets.**

**4.2.7 – Déterminer la puissance électrique à fournir à la pompe si celle-ci travaille avec un rendement égal à 0,60.**

**Données :**

Pompe utilisée ( $\varnothing$  170 mm)

Masse volumique du liquide à 25°C ( $\rho$ ) : 894 kg/m<sup>3</sup>

Viscosité dynamique du liquide à 25°C ( $\mu$ ) : 4,25.10<sup>-4</sup> Pa.s

Pression de vapeur saturante à 25°C ( $P^\circ$ ) : 12530 Pa

Rugosité absolue : 0,5 mm

**Partie aspiration :**

longueur droite : 4m

accidents : 1 sortie arrondie de la citerne

1 coude à 90°

1 filtre à crépine avec clapet de pied

diamètre de la conduite : 140 mm

**Partie refoulement :**

longueur droite : 5m

accidents : 1 coude à 90°

1 robinet-vanne ouvert

diamètre de la conduite : 100 mm

On négligera la perte de charge due à l'entrée du réservoir.

Formulaire :

$$\text{Nombre de Reynolds : } Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D}{\mu}$$

$$NPSH \text{ disponible} = \frac{P_{asp} - P^o}{\rho \cdot g} + h_{asp} - J_{asp} \quad \text{avec } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Hmt = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta u^2}{2g} + \Delta z + J_{totale}$$

Perte de charge :

$$\text{Linéaire : } J_l = \frac{\lambda \cdot L \cdot u^2}{D \cdot 2g} \quad \text{avec } \lambda = \frac{64}{Re} \text{ en régime laminaire}$$

$$\lambda = 4 \cdot f \text{ en régime turbulent}$$

$$\text{Singulière : } J_s = K \cdot \frac{u^2}{2g}$$

Coefficient de perte de charge K :

$$\text{Coude à } 90^\circ : \left[ 0,367 \left( \frac{r}{D} \right)^{0,84} + 1,71 \left( \frac{r}{D} \right)^{-1,12} \right] \cdot Re^{-0,17} \text{ avec } \frac{r}{D} = 1 \text{ pour les deux circuits}$$

$$\text{Sortie arrondie de la citerne : } \left[ 0,5 \left( 1 - 2 \left( \frac{r}{D} \right)^{0,4} \right) \right] \text{ avec } \frac{r}{D} = 0,1$$

r : rayon de courbure du coude et D : diamètre de la conduite

$$\text{Rendement : } \eta = \frac{P_{hyd}}{P_{elec}}$$

Unités utilisées dans le formulaire :

Pression (P et P <sup>o</sup> )	:	Pa
Diamètre (D)	:	m
Vitesse (u)	:	m/s
Hauteur (z)	:	m
Viscosité (μ)	:	Pa.s
Longueur (L)	:	m

## MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat *(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)*

FE1-7

## A RENDRE AVEC LA COPIE

## ANNEXE 1

Tableaux récapitulatifs des résultats du dimensionnement de l'agitateurTechnologie de la cuve

np	6
nc	4
H (m)	0,5
D(m)	0,5
Y(m)	
d(m)	0,17
w(m)	
l(m)	
b(m)	
b'(m)	
Np	
Nqp	
V(m <sup>3</sup> )	0,10

Agitation

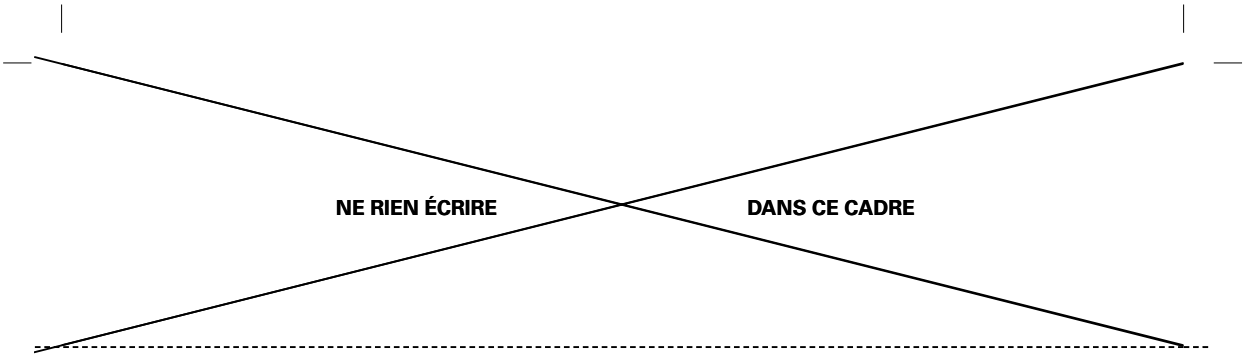
N (tr/s)	8,9
v <sub>pales</sub> (m/s)	
Re	
Fr	
Tm(s)	
Na (arrondi à 0,1 près)	
Qp(m <sup>3</sup> /s)	
Qc(m <sup>3</sup> /s)	
Tc(s)	
Dair(m <sup>3</sup> /s)	
Tair(VVM)	
u <sub>g</sub> (m/s)	

Puissance consommée

P <sub>non aérée</sub> (W)	
P <sub>aérée</sub> (W)	
H*(m)	

Coefficient d'agitation

Kla (h <sup>-1</sup> )	
ε <sub>g</sub> /(1-ε <sub>g</sub> )	
ε <sub>g</sub>	



**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**



**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

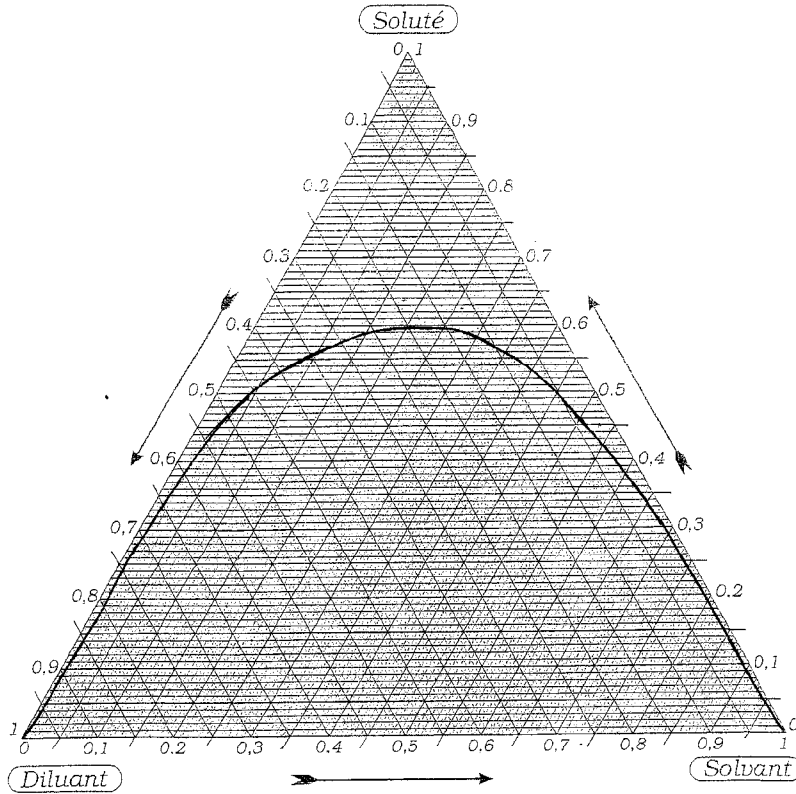
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

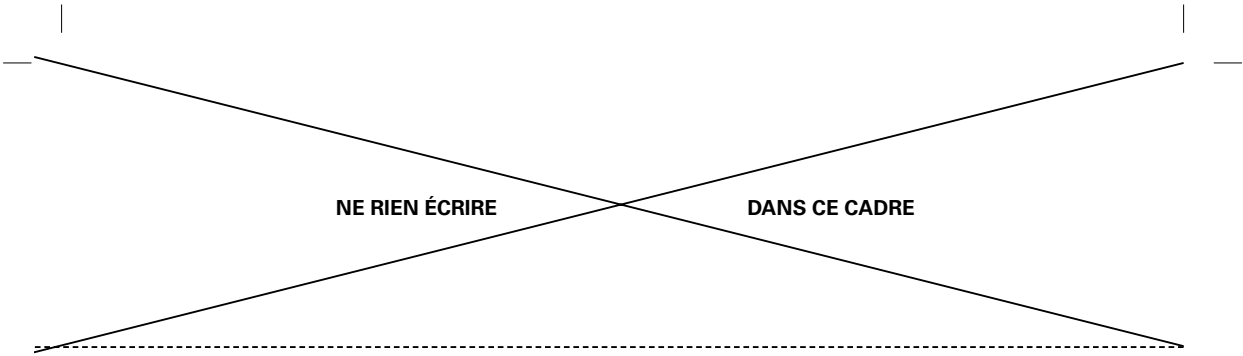
FE1-7

A RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE 2

Courbe de miscibilité  $C_3H_6O-H_2O-CCL_4$  sur diagramme ternaire





**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

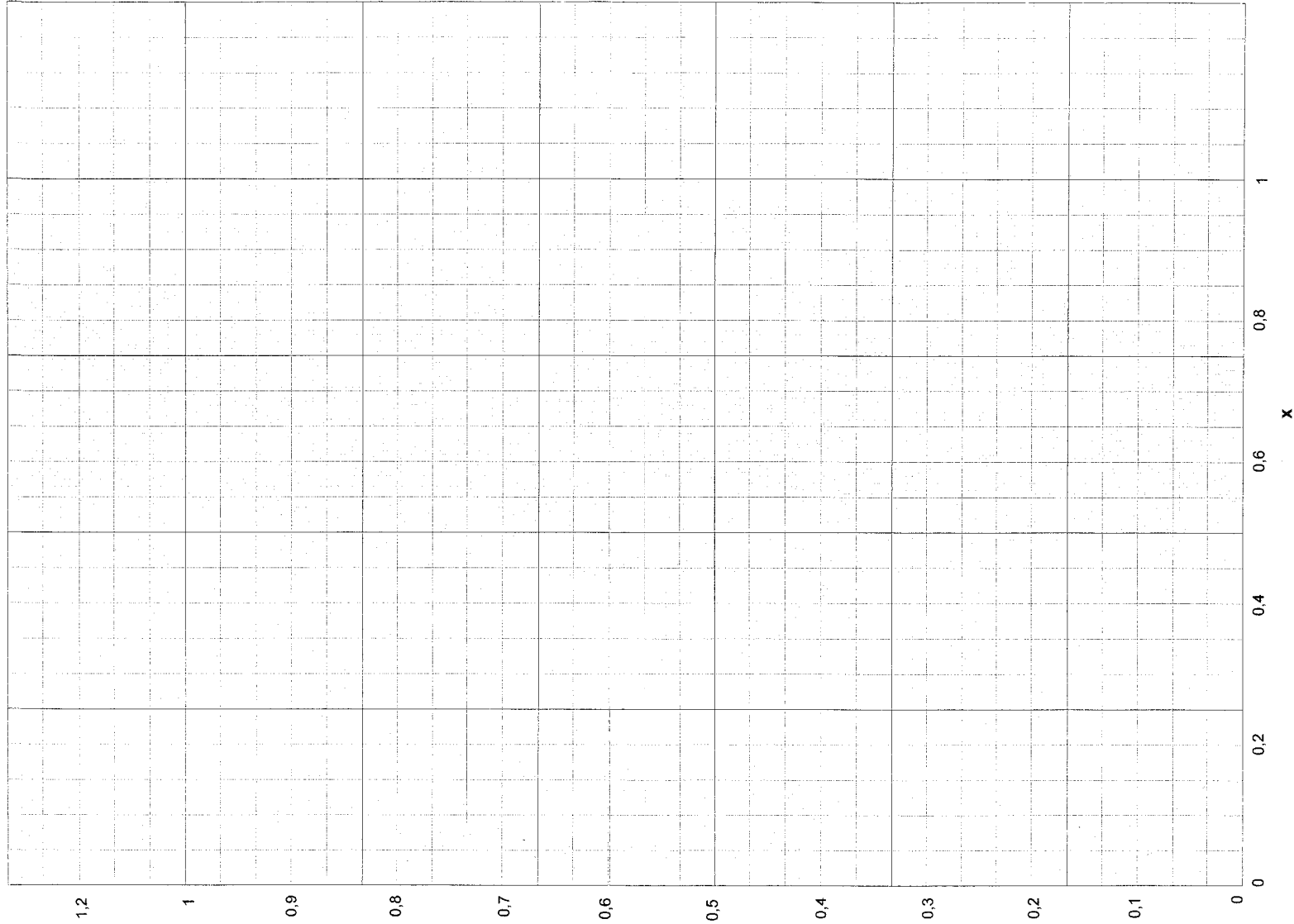
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-7

A RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE 3  
Courbe de distribution du soluté entre les deux phases



NE RIEN ÉCRIRE

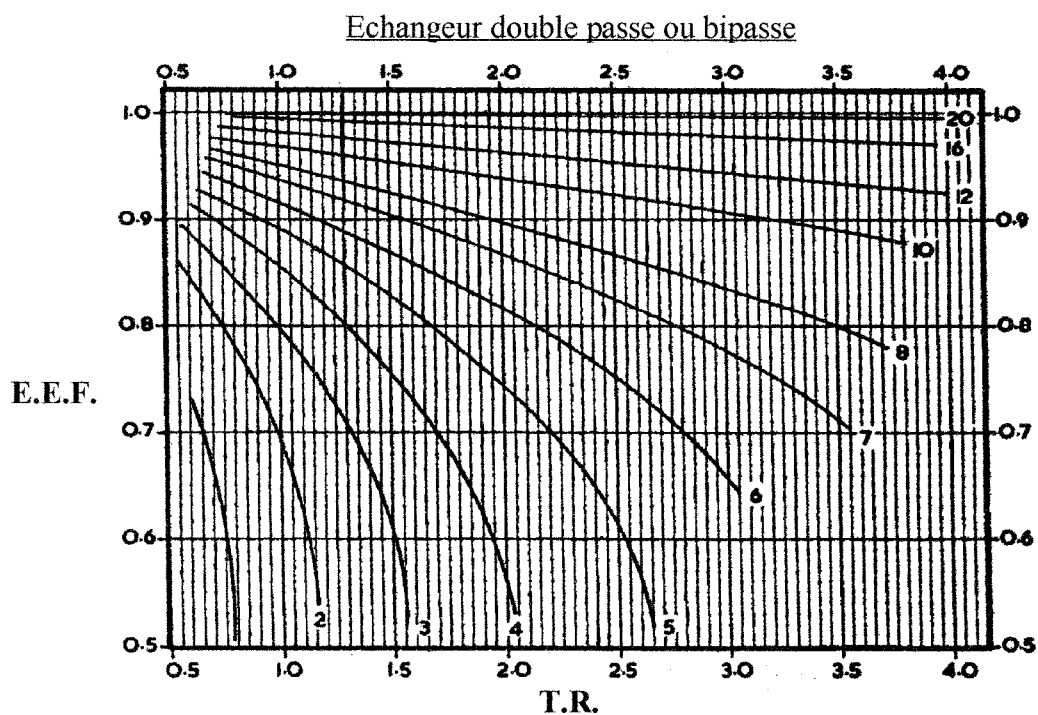
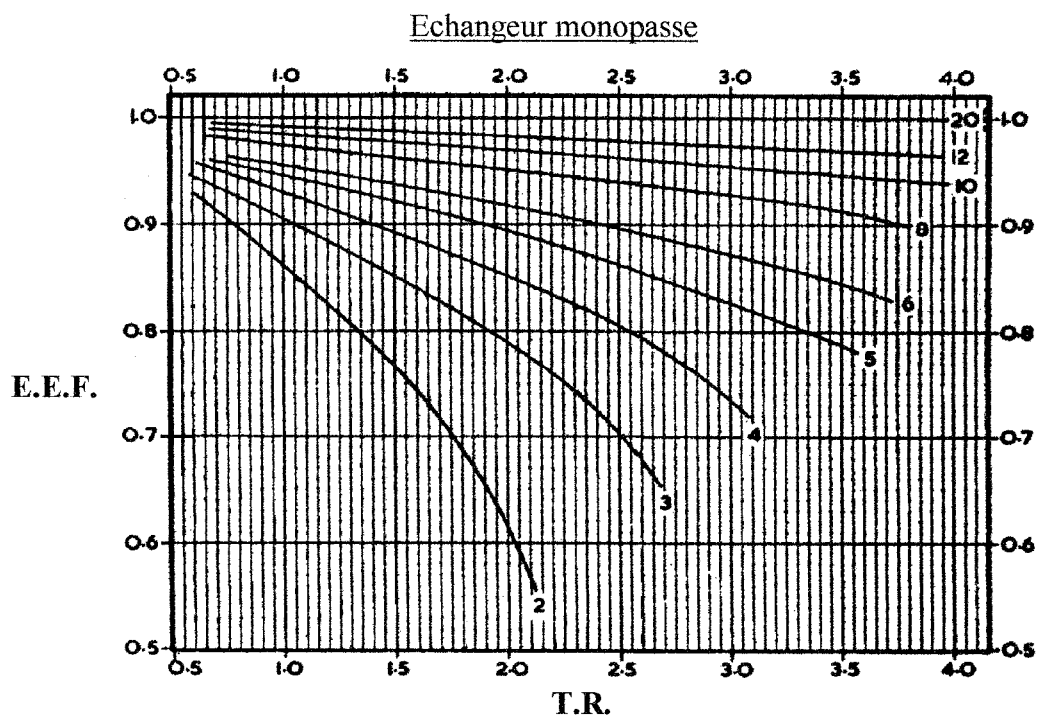
DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

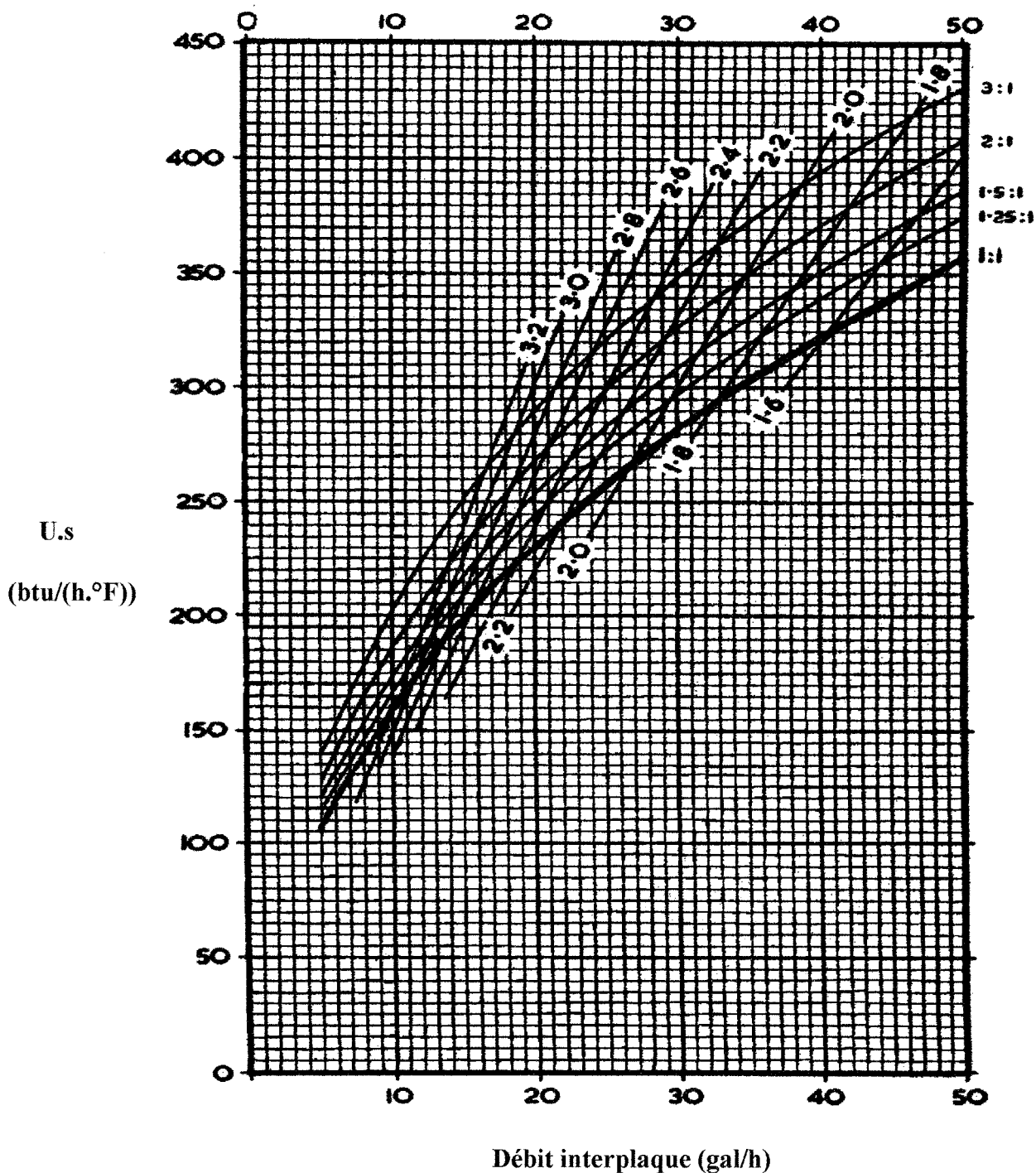
## ANNEXE 4

Détermination de la valeur du terme correctif  $c$  (E.E.F.) en fonction du T.R. pour différents nombres de passages



ANNEXE 5

Détermination du produit U.s en fonction du débit interplaque pour différents rapport de débits fluide chaud par rapport au fluide froid



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat \_\_\_\_\_

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

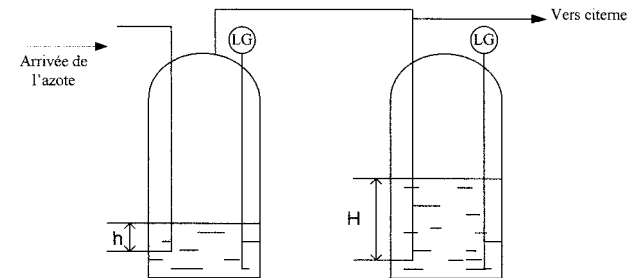
FE1-7

A RENDRE AVEC LA COPIE

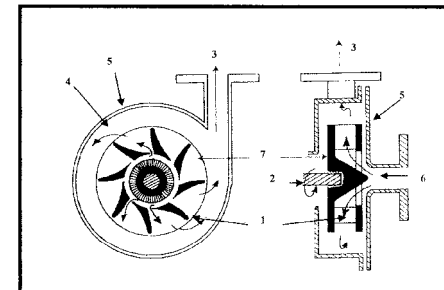
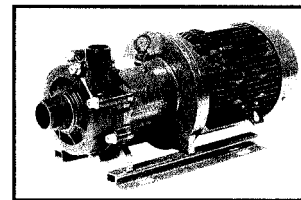
ANNEXE 6

Etude schématique et technique

Souppes hydrauliques



Pompe centrifuge



- 1 : .....
- 2 : .....
- 3 : .....
- 4 : .....
- 5 : .....
- 6 : .....
- 7 : .....

NE RIEN ÉCRIRE

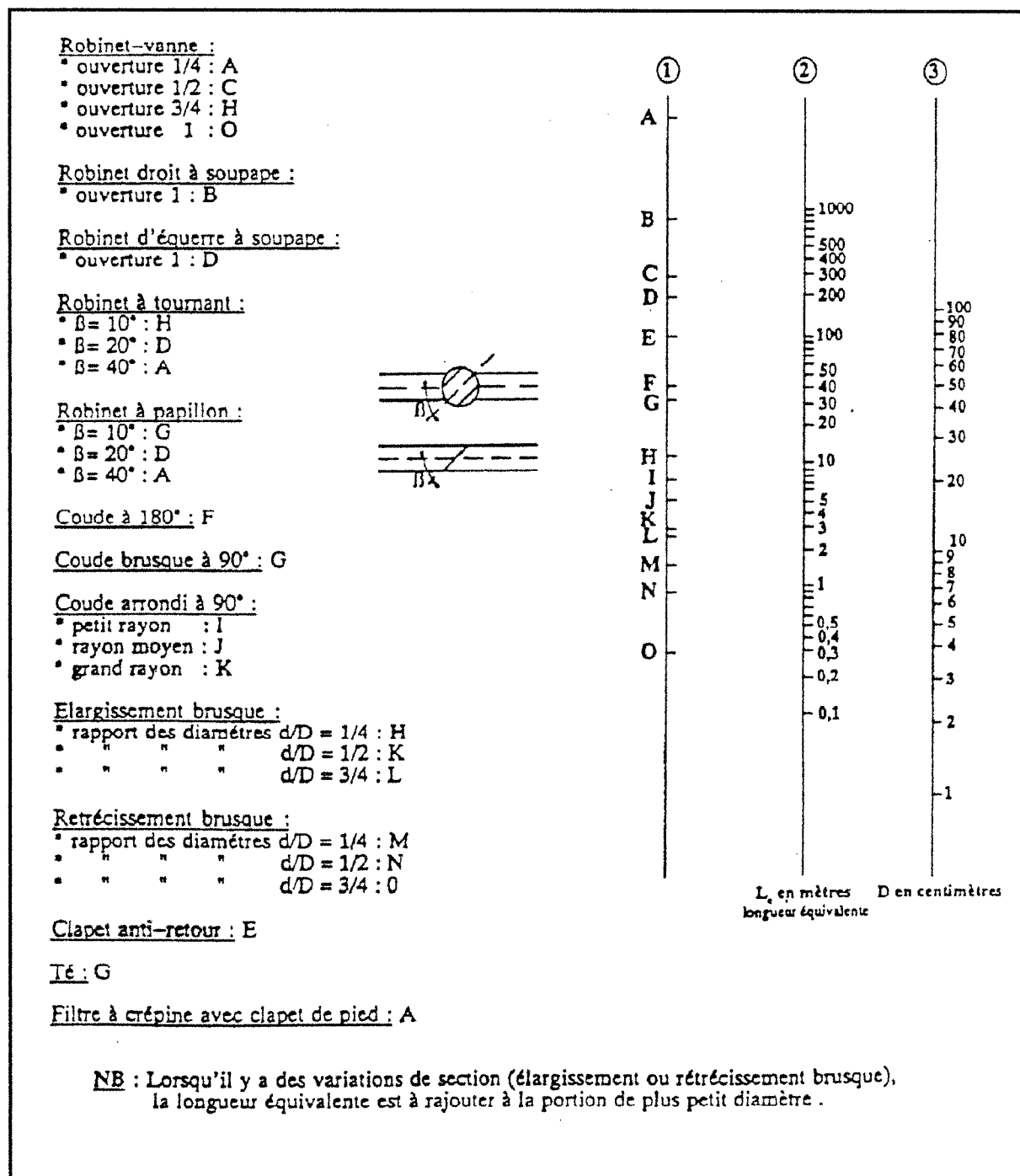
DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

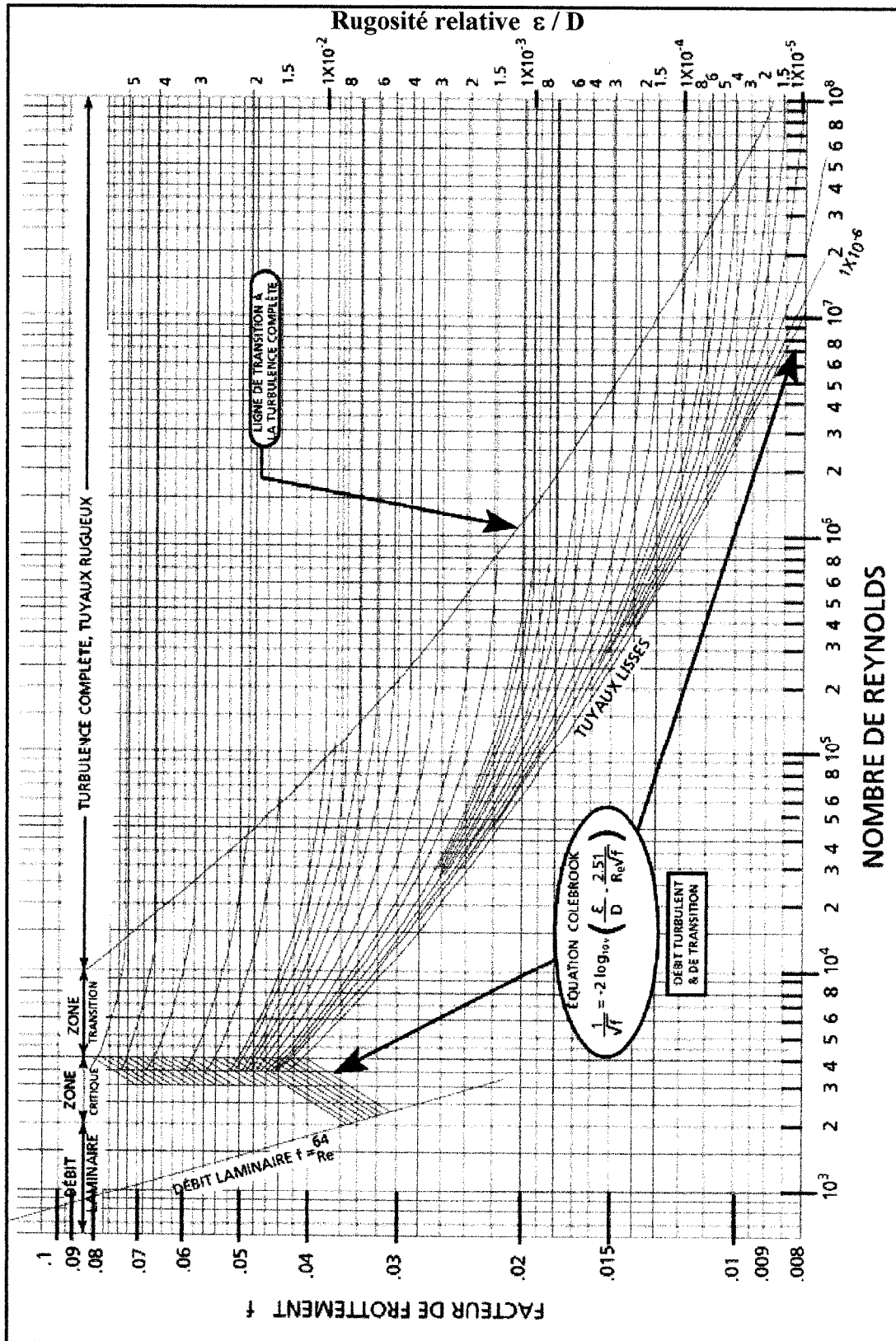
## ANNEXE 7

**Abaque conversion des accidents**  
**Equivalences des pertes de charges en longueurs droites de tuyauterie**



ANNEXE 8

Diagramme de MOODY



ANNEXE 9

Caractéristiques de la pompe

