

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

**CONTRÔLE INDUSTRIEL et
RÉGULATION AUTOMATIQUE**
SCIENCES PHYSIQUES

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

Chimie-Physique industrielles U-31

Durée : 2 heures

Coefficient : 2,5

Durée conseillée

Physique industrielle

1 h 15

Chimie industrielle

45 minutes

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

- *Chimie industrielle* : *page 1 à page 4*
- *Physique industrielle* : *page 5 à page 11*

ATTENTION : Le diagramme isobare est fourni en double exemplaire dont un seul sera à rendre avec la copie.

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

Aucun document autorisé.

Calculatrice réglementaire autorisée.

▲▼▲▼▲▼▲▼▲▼▲

La feuille à rendre sera agrafée à la copie par le surveillant sans aucune identité du candidat.

CHIMIE INDUSTRIELLE

Premier exercice : A propos de l'acide chlorhydrique

Données : à 25°C : produit ionique de l'eau : $K_e = 1,0 \cdot 10^{-14}$;

Masses molaires atomiques : H = 1,0 g.mol⁻¹ ; Na = 23,0 g.mol⁻¹ ; S = 32,0 g.mol⁻¹

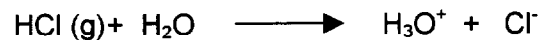
Dimensions de l'atelier : L = 5,0 m ; l = 4,0 m ; h = 2,5 m

Volume molaire = 24 L.mol⁻¹ dans les conditions de l'atelier

Limites d'explosivité du sulfure d'hydrogène dans l'air (% en volume) :

inférieure LIE = 4 ; supérieure LSE = 46

1. Une solution d'acide chlorhydrique est obtenue par dissolution dans l'eau du chlorure d'hydrogène. L'équation bilan de la réaction correspondante est :



- 1.1 Le chlorure d'hydrogène est un **acide fort** dans l'eau. Justifier les deux termes de cette affirmation.

- 1.2 Une solution d'acide chlorhydrique a un pH égal à 2,1 à 25°C. Calculer sa concentration molaire C.

Le calcul sera justifié.

2. Dans un atelier de fabrication d'objets métalliques, on procède au décapage du métal dans une cuve (C1) remplie d'acide chlorhydrique dilué puis au brunissage décoratif dans une cuve (C2), installée à côté de C1 et contenant une solution aqueuse de sulfure de sodium. Afin de renouveler le contenu de la cuve C2, tous les soirs un opérateur y ajoute 1 300 g de sulfure de sodium (Na₂S).

- 2.1 Quelle précaution nécessite la dilution d'une solution d'acide chlorhydrique concentrée ? Justifier la réponse.

- 2.2 Un soir, l'opérateur se trompe et ajoute le sulfure de sodium dans la cuve C1. Il se produit une réaction chimique avec dégagement de sulfure d'hydrogène (H₂S) qui est un composé polluant et dangereux. L'équation bilan correspondante est :



- 2.2.1 Montrer que cette réaction est une réaction acide-base. Nommer les couples intervenant.

- 2.2.2 En supposant que tout le sulfure de sodium ajouté réagit, calculer le volume de sulfure d'hydrogène dégagé.

- 2.2.3 En déduire le pourcentage en volume de sulfure d'hydrogène dans l'atelier.

- 2.2.4 Justifier l'existence de deux limites d'explosivité pour un composé et préciser si l'atmosphère de l'atelier sera explosive.

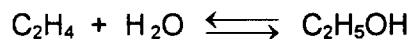
Deuxième exercice : A propos de l'éthanol

On fabrique industriellement l'éthanol par hydratation de l'éthylène en présence d'un catalyseur (procédé Shell). On se propose d'étudier ici l'aspect thermodynamique de cette synthèse puis la séparation de l'éthanol du milieu réactionnel par distillation.

A - Étude thermodynamique

On fait réagir en phase gazeuse de l'éthylène (ou éthène) et de la vapeur d'eau pour produire de l'éthanol.

Cette réaction conduit à un équilibre de constante K , correspondant à l'équation bilan ci-dessous :



1. Réécrire l'équation bilan en utilisant les formules développées.
2. Cette réaction est-elle une addition ou une substitution ?
3. Exprimer la constante K relative à l'équilibre précédent en fonction des pressions partielles.
4. Les réactifs étant introduits dans les proportions stœchiométriques, on appelle rendement noté α le nombre de moles d'éthanol formé par mole d'éthylène initial.
Montrer que la constante d'équilibre K s'exprime en fonction de α et de la pression totale p sous la forme :
$$K = \frac{\alpha(2 - \alpha)}{p(1 - \alpha)^2}$$
5. Quelle est l'influence sur la valeur du rendement α :
 - a) d'une élévation de température isobare ?
 - b) d'une élévation de pression isotherme ?sachant qu'à $T = 400 \text{ K}$, l'enthalpie standard de réaction est $\Delta H^\circ = - 42,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

B - Séparation de l'éthanol

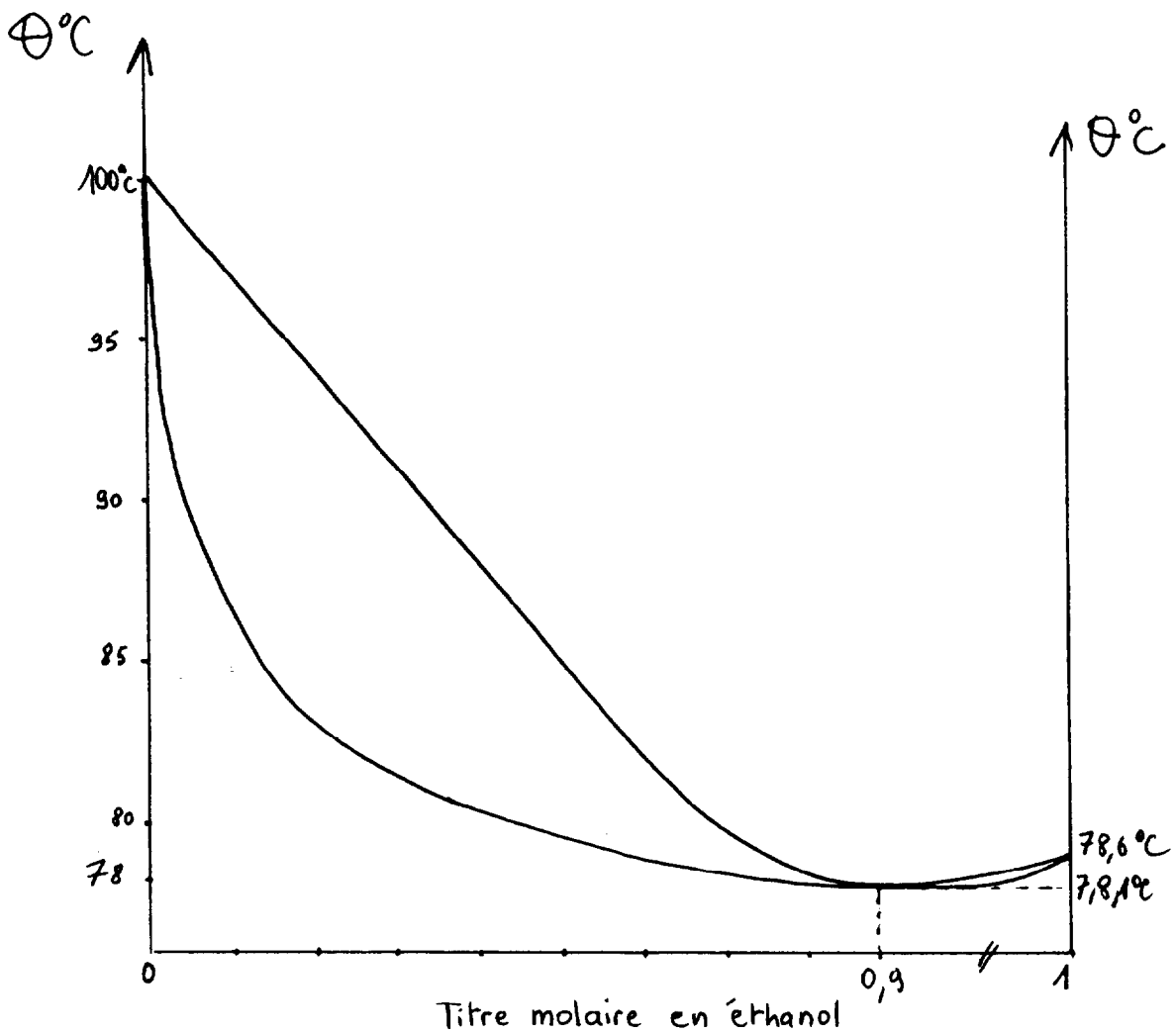
Les effluents du réacteur de synthèse sont refroidis et ramenés à la pression normale dans un séparateur où une partie de l'éthanol formé et de l'eau se condensent. L'éthylène est séparé et recyclé tandis que la phase aqueuse est soutirée et introduite dans une colonne à distiller.

Utiliser le diagramme isobare ($p = 1 \text{ bar}$) du système binaire eau / éthanol, fourni en annexe, pour répondre aux questions suivantes. **Le diagramme sera rendu avec la copie.**

1. Comment appelle-t-on le point du diagramme de coordonnées $x = 0,9$ et $\theta = 78,1 \text{ }^\circ\text{C}$?
Préciser sur les positions de la courbe d'ébullition et de la courbe de rosée et la nature des phases dans les différentes zones du plan.
2. Le mélange liquide entrant dans la colonne est caractérisé par une fraction molaire $x = 0,4$ en éthanol : à quelle température ce mélange commence-t-il à bouillir ?
Quelle est la composition de la vapeur en équilibre avec le liquide ?

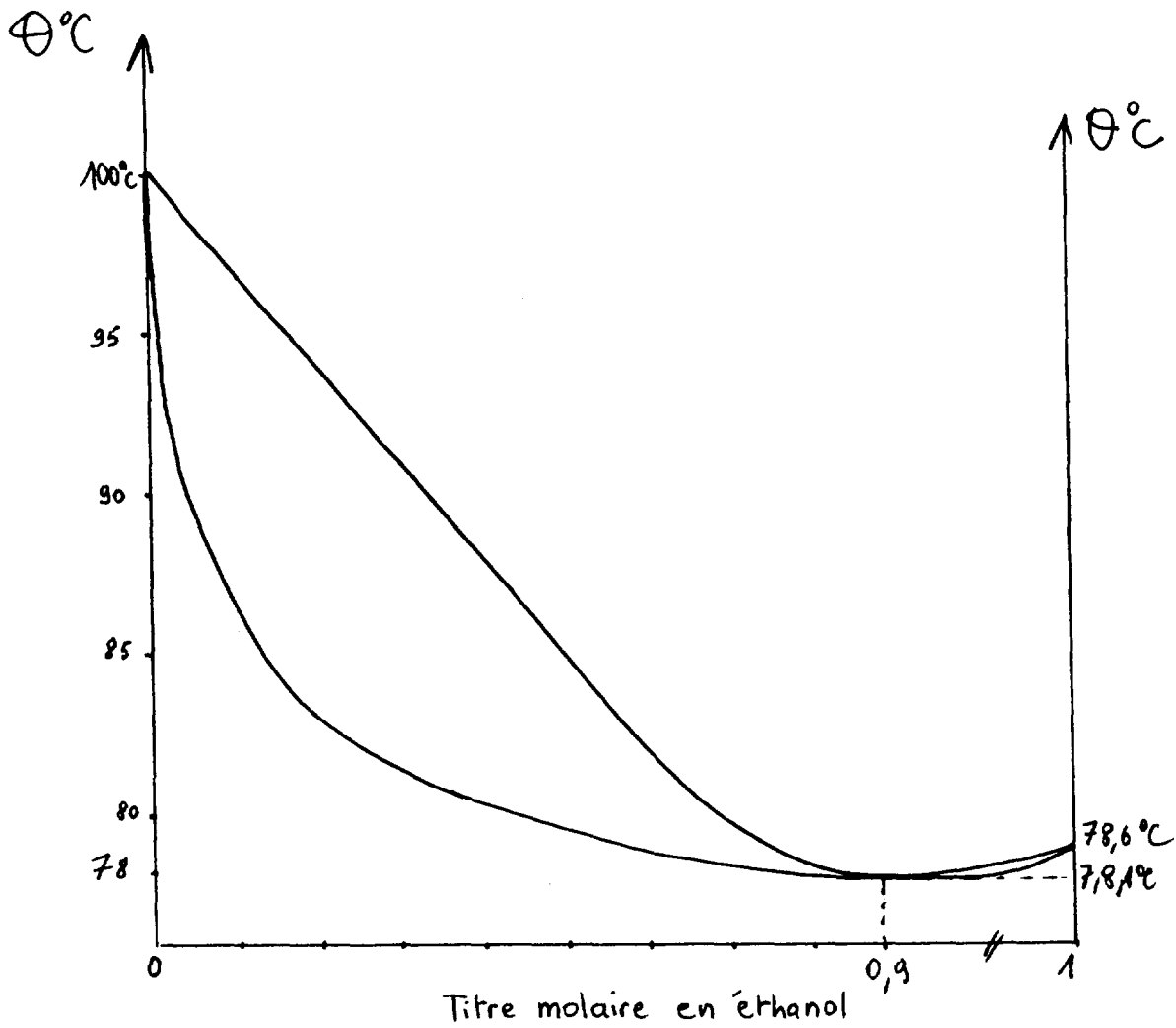
Exemplaire pouvant servir de BROUILLON

Diagramme isobare (p = 1 bar) du système binaire eau / éthanol



A RENDRE AVEC LA COPIE

Diagramme isobare ($p = 1 \text{ bar}$) du système binaire eau / éthanol



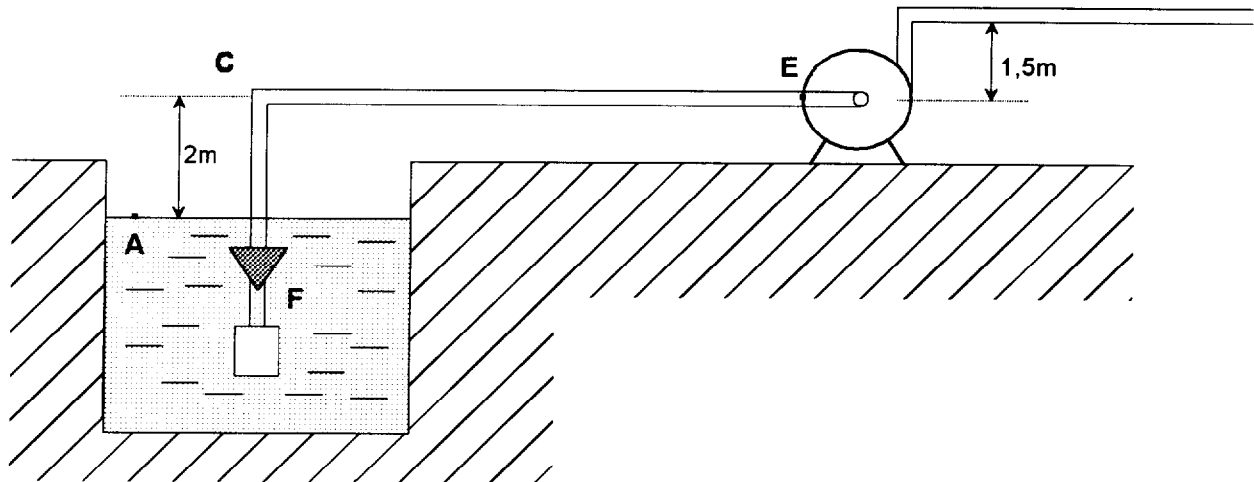
PHYSIQUE INDUSTRIELLE

Premier exercice : Détermination du NPSH (*) disponible d'une pompe

Pour alimenter en eau une installation agricole, on utilise l'eau d'un canal dont le niveau constant se trouve à 2 mètres au-dessous de l'axe horizontal de la pompe (voir schéma ci-dessous).

Entre le canal et la pompe on doit installer une canalisation en PVC rigide comprenant un coude C, une crépine filtre F placée à l'extrémité de la conduite d'aspiration.

Pour vérifier le bon fonctionnement de la pompe (absence de « cavitation »), on va procéder au calcul du NPSH disponible, afin de le comparer au NPSH requis, fourni par le constructeur.



Caractéristiques de la conduite :

- Longueur $L = 80,0$ m
- Diamètre $D = 143,2$ mm
- Rugosité $k = 0,03$ mm,
- Coefficient de pertes de charge du coude $K_C = 0,30$
- Coefficient de pertes de charge du filtre $K_F = 2,50$

Caractéristiques du fluide :

- Débit volume $q = 139$ m³/heure.
- Masse volumique $\rho = 1\,000$ kg/m³
- Viscosité cinématique $\nu = 0,897 \times 10^{-6}$ m²/s
- La température de l'eau ne pouvant dépasser 30 °C dans le canal, on prendra pour pression de vapeur saturante $p_{vs} = 2\,930$ Pa.
- Pression atmosphérique $p_0 = 101\,000$ Pa
- $g = 10$ m/s²

Rappels :

(*) NPSH (Net Power Suction Head) :

Le NPSH disponible en E est donné par la formule :

$$\text{NPSH}_{\text{dispo}} = \left(\frac{p_E}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right) - \frac{p_{vs}}{\rho g}$$

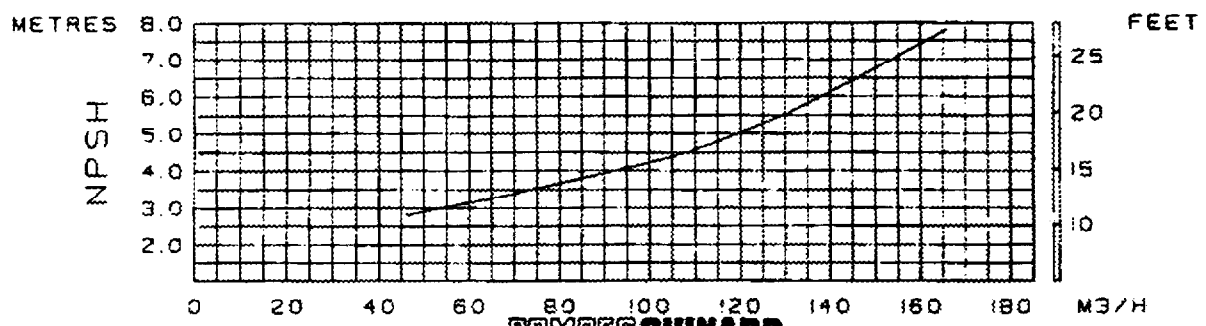
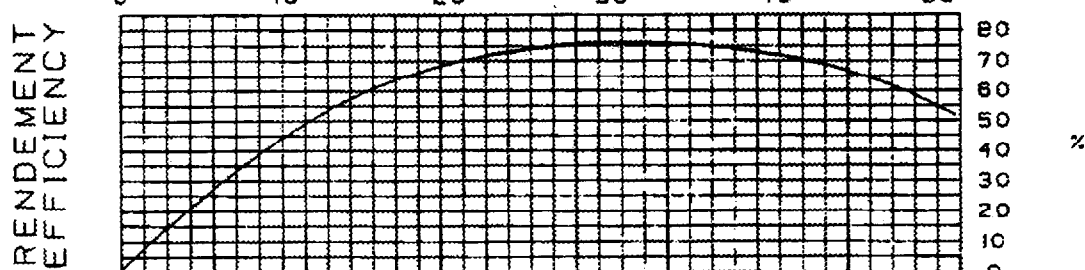
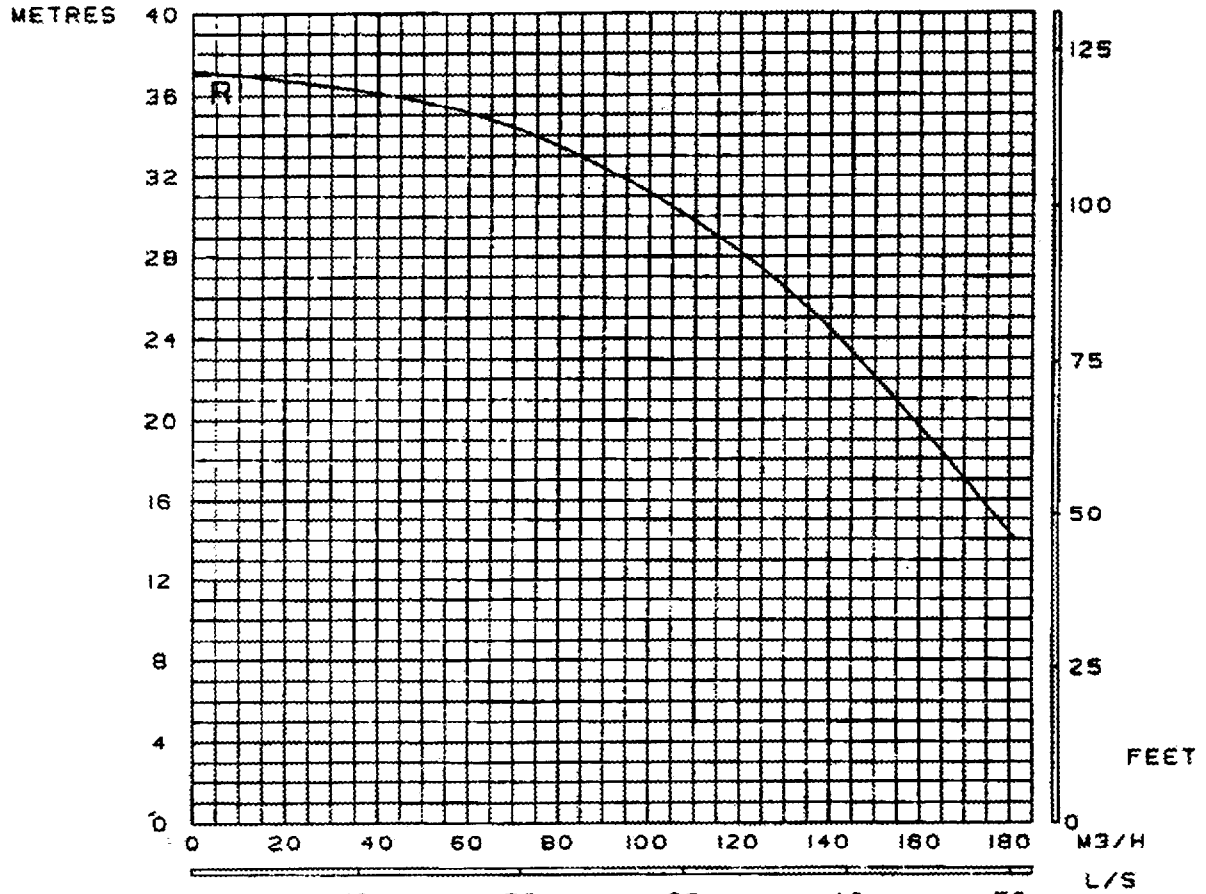
CAE3CI

Expression des pertes de charges singulières :

$$|J_{\text{sing}}| = \frac{Kv^2}{2g}, \text{ K est le coefficient de pertes de charge et v la vitesse moyenne.}$$

- 1- Expliquer le phénomène de cavitation.
- 2- Calculer la vitesse moyenne v du fluide.
- 3- Calcul des pertes de charge totales Δp_{tot} dans la **conduite d'aspiration** :
 - 3.1- Calculer les pertes de charges singulières J_{sing} .
 - 3.2- En utilisant les tables de valeurs figurant dans l'**annexe 2**, calculer les pertes de charges régulières J_R .
 - 3.3- Vérifier que $|J_{\text{tot}}| = 3,54$.
- 4- En appliquant la relation de Bernoulli généralisée, calculer la pression totale en E, puis le NPSH disponible dans les conditions d'utilisation ci-dessus.
- 5- Vérification du bon fonctionnement de la pompe :
 - 5.1- En utilisant les caractéristiques de la pompe fournies dans l'**annexe 1**, déterminer le NPSH requis.
 - 5.2- La pompe est-elle adaptée au circuit ? Justifiez votre réponse.

POMPE CENTRIFUGE CENTRIFUGAL PUMP		NORBLOC 6x16-15 MBX 6x16 RI-15			
Densité=1 viscosité=1 cpo	TOLERANCE ISO 2548 CLASSE C	Moteur 2 Poles	ROGNAGE-TRIMMING RI=166	ASP.=80 SUC REF.=85 DEL	50HZ



POMPES GUINARD

Tableau des pertes de charge : cas particulier PVC rigide.

Les pertes de charge sont données en mètres de colonne de fluide par mètre de longueur de conduite (m/m).

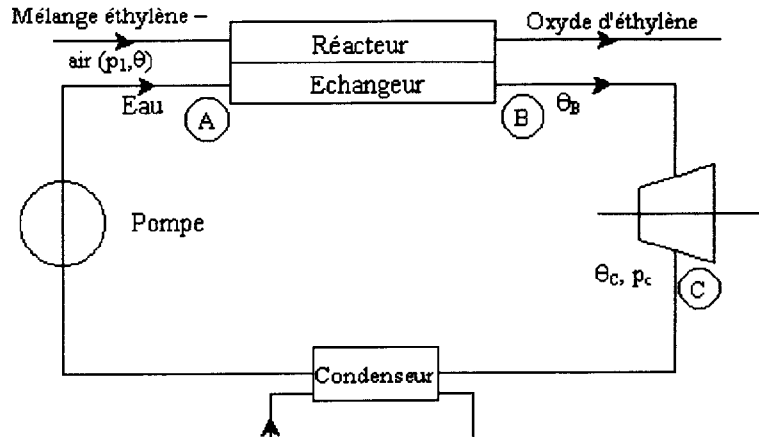
Ex : diamètre intérieur 179 mm, rugosité 0,1 mm, vitesse moyenne 1,00 m/s

Perte de charge 0,00564 m/m

Vitesse moyenne m/s	Diamètre intérieur 143,2 mm Section 0,016 106 m ²			Diamètre intérieur 179 mm Section 0,025 165 m ²			Diamètre intérieur 187 mm Section 0,027 465 m ²		
	Pertes de charge		Débit l/s	Pertes de charge		Débit l/s	Pertes de charge		Débit l/s
	k = 0,03 mm	k = 0,1 mm		k = 0,03 mm	k = 0,1 mm		k = 0,03 mm	k = 0,1 mm	
	m/m*	m/m*		m/m*	m/m*		m/m*	m/m*	
0.10	0.00011	0.00011	1.611	0.000082	0.000084	2.516	0.000077	0.000079	2.746
0.15	0.00022	0.00023	2.416	0.00017	0.00017	3.775	0.00016	0.00016	4.120
0.20	0.00037	0.00038	3.221	0.00028	0.00029	5.033	0.00026	0.00027	5.493
0.25	0.00055	0.00057	4.026	0.00041	0.00043	6.291	0.00039	0.00041	6.866
0.30	0.00075	0.00080	4.832	0.00057	0.00060	7.549	0.00054	0.00057	8.239
0.35	0.00099	0.00105	5.637	0.00075	0.00080	8.808	0.00072	0.00076	9.613
0.40	0.00126	0.00135	6.442	0.00096	0.00102	10.07	0.00091	0.00097	10.99
0.45	0.00156	0.00167	7.247	0.00119	0.00127	11.32	0.00113	0.00120	12.36
0.50	0.00189	0.00203	8.053	0.00144	0.00154	12.58	0.00136	0.00146	13.73
0.55	0.00224	0.00242	8.858	0.00171	0.00184	13.84	0.00162	0.00174	15.11
0.60	0.00263	0.00285	9.663	0.00200	0.00216	15.10	0.00190	0.00205	16.48
0.65	0.00304	0.00331	10.47	0.00231	0.00251	16.36	0.00219	0.00238	17.85
0.70	0.00348	0.00380	11.27	0.00265	0.00286	17.62	0.00251	0.00273	19.23
0.75	0.00394	0.00432	12.08	0.00300	0.00328	18.87	0.00285	0.00311	20.60
0.80	0.00443	0.00488	12.88	0.00338	0.00370	20.13	0.00320	0.00351	21.97
0.85	0.00495	0.00547	13.69	0.00377	0.00415	21.39	0.00358	0.00393	23.34
0.90	0.00550	0.00609	14.49	0.00419	0.00462	22.65	0.00398	0.00438	24.72
0.95	0.00607	0.00674	15.30	0.00463	0.00512	23.91	0.00439	0.00485	26.09
1.00	0.00667	0.00743	16.11	0.00509	0.00564	25.16	0.00482	0.00534	27.46
1.05	0.00730	0.00815	16.91	0.00557	0.00619	26.42	0.00528	0.00586	28.84
1.10	0.00795	0.00890	17.72	0.00606	0.00676	27.68	0.00575	0.00640	30.21
1.15	0.00863	0.00968	18.52	0.00658	0.00735	28.94	0.00624	0.00697	31.58
1.20	0.00933	0.01050	19.33	0.00712	0.00797	30.20	0.00675	0.00756	32.96
1.25	0.01007	0.01135	20.13	0.00768	0.00862	31.46	0.00728	0.00817	34.33
1.30	0.01082	0.01223	20.94	0.00825	0.00929	32.71	0.00783	0.00880	35.70
1.35	0.01161	0.01314	21.74	0.00885	0.00998	33.97	0.00840	0.00946	37.08
1.40	0.01241	0.01409	22.55	0.00947	0.01070	35.23	0.00898	0.01014	38.45
1.45	0.01325	0.01506	23.35	0.01011	0.01144	36.49	0.00959	0.01064	39.82
1.50	0.01411	0.01607	24.16	0.01077	0.01221	37.75	0.01021	0.01157	41.20
1.55	0.01499	0.01711	24.96	0.01144	0.01300	39.01	0.01085	0.01232	42.57
1.60	0.01591	0.01819	25.77	0.01214	0.01382	40.26	0.01151	0.01309	43.94
1.65	0.01684	0.01929	26.57	0.01286	0.01466	41.52	0.01219	0.01389	45.32
1.70	0.01781	0.02043	27.38	0.01359	0.01552	42.78	0.01289	0.01471	46.69
1.75	0.01880	0.02160	28.18	0.01435	0.01641	44.04	0.01361	0.01555	48.06
1.80	0.01981	0.02261	28.99	0.01512	0.01732	45.30	0.01434	0.01642	49.44
1.85	0.02065	0.02404	29.80	0.01592	0.01826	46.55	0.01510	0.01731	50.81
1.90	0.02191	0.02531	30.60	0.01673	0.01923	47.81	0.01587	0.01822	52.18
1.95	0.02300	0.02661	31.41	0.01756	0.02021	49.07	0.01666	0.01916	53.56
2.00	0.02412	0.02794	32.21	0.01842	0.02122	50.33	0.01747	0.02011	54.93
2.05	0.02526	0.02930	33.02	0.01929	0.02226	51.59	0.01830	0.02110	56.30
2.10	0.02643	0.03070	33.82	0.02018	0.02332	52.85	0.01914	0.02210	57.68
2.15	0.02762	0.03212	34.63	0.02109	0.02441	54.10	0.02001	0.02313	59.05
2.20	0.02884	0.03358	35.43	0.02202	0.02552	55.36	0.02069	0.02416	60.42
2.25	0.03008	0.03508	36.24	0.02297	0.02665	56.62	0.02179	0.02526	61.79
2.30	0.03135	0.03660	37.04	0.02394	0.02781	57.88	0.02271	0.02635	63.17
2.35	0.03264	0.03816	37.85	0.02493	0.02899	59.14	0.02365	0.02747	64.54
2.40	0.03396	0.03975	38.65	0.02593	0.03020	60.40	0.02460	0.02862	65.91
2.45	0.03530	0.04137	39.46	0.02696	0.03143	61.65	0.02558	0.02979	67.29
2.50	0.03667	0.04302	40.26	0.02801	0.03268	62.91	0.02657	0.03098	68.66

Deuxième exercice : Étude d'une unité de fabrication en continu d'oxyde d'éthylène

L'oxyde d'éthylène est obtenu par oxydation directe sous pression, de l'éthylène par le dioxygène de l'air. Cette réaction est exothermique et l'énergie thermique correspondante Q_1 est transférée à un circuit d'eau, dans un « réacteur échangeur ». Voir schéma ci-dessous.



La quantité de chaleur Q_1 est égale à $5,48 \cdot 10^5$ kJ pour 1 kmol d'oxyde d'éthylène fabriqué.

La pression p dans l'échangeur est égale à 10 bar.

Dans l'échangeur l'eau sort à la température $\theta_B = 300$ °C (point B). Elle subit une détente isentropique dans la turbine jusqu'à une pression p_c . La teneur en liquide en sortie de turbine (C) est égale à 4 %. La liquéfaction se termine dans un condenseur, et l'eau est renvoyée en entrée d'échangeur (A) à l'aide d'une pompe.

Documentation : diagramme de Mollier.

Données : enthalpie massique de l'eau en A : $h_A = 310$ kJ.kg⁻¹
constante des gaz parfaits : $R = 8,32$ J.mol⁻¹.K⁻¹.

1. Échangeur

- 1.1 En utilisant le diagramme de Mollier, expliquer que l'eau en B est à l'état de vapeur sèche surchauffée.
- 1.2 Déterminer la variation d'enthalpie massique de l'eau entre A et B.
- 1.3 Utiliser le résultat précédent pour montrer que la masse m de vapeur sortant de l'échangeur par kmol d'oxyde d'éthylène fabriqué, est environ égale à 200 kg.

2. Turbine

- 2.1 Représenter sur le diagramme de Mollier la transformation BC.
- 2.2 Déterminer les valeurs de p_c et θ_c en sortie de turbine.

2.3 Calculer le travail massique échangé entre le fluide et la turbine, le rendement étant de 70 %.

2.4 En déduire le travail correspondant à la fabrication d'1 kmol d'oxyde d'éthylène.

3. Étude de la compression du mélange éthylène-air.

Le mélange éthylène-air est disponible à la pression $p_1 = 1,0$ bar. Il est comprimé à la température constante $\theta = 25$ °C jusqu'à une pression $p_2 = 15,3$ bar.

Le travail de compression pour une transformation réversible, à la température constante T , d'une quantité de matière n d'un gaz parfait, d'une pression p_1 à une pression p_2 , est donné par la relation suivante :

$$W = n R T \ln \frac{P_2}{P_1}$$

3.1 Sachant que la fabrication d'1 kmol d'oxyde d'éthylène nécessite une quantité de matière totale en mélange éthylène-air égale à 12,3 kmol, en déduire le travail de compression isotherme de ce mélange. Le mélange sera assimilé à un gaz parfait.

3.2 Les compresseurs utilisés ayant un rendement égal à 60 %, quel travail doivent-ils réellement fournir ?

Diagramme de Mollier de la vapeur d'eau

