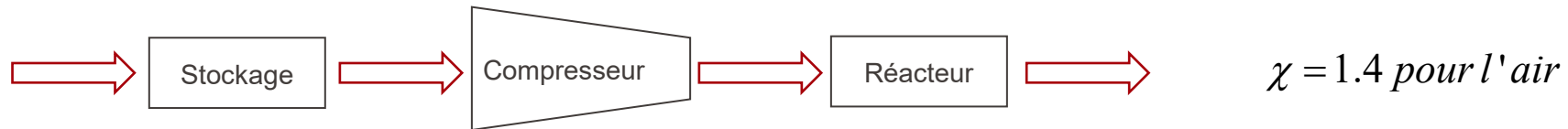


Exercices

Problèmes

Une réaction d'oxydation d'une graisse végétale nécessite une alimentation en réactif gazeux à 60 bars. L'air traité, utilisé comme réactif oxydant, est stocké à 3 bars et 20 °C. La réaction demande une alimentation en conditions standard de 350 m³/h.



- 1) Quelle serait la puissance utile d'un compresseur pour une alimentation à 20°C sachant que le compresseur a un rendement de 80% ?
- 2) Calculer la puissance utile à fournir au compresseur afin qu'il effectue la transformation désirée (compression d'un gaz de 3 à 60 bars) dans le mode de fonctionnement adiabatique. Déterminer alors le débit de chaleur à évacuer pour permettre le fonctionnement en mode isotherme.

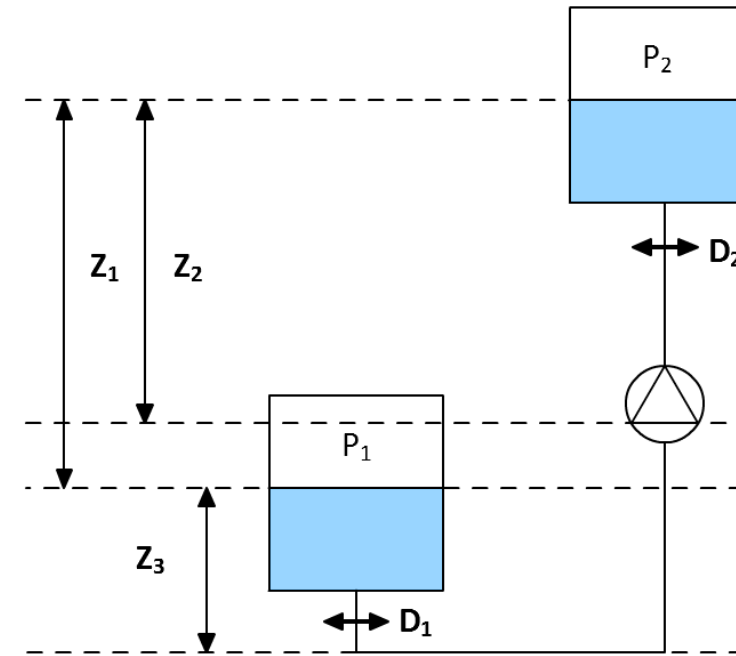
On désire transporter un liquide du réservoir de stockage 1 vers le réacteur 2. La perte de charge, due à la tuyauterie est pour le côté de refoulement de la pompe de 1.5 bar et de 0.4 bar pour celui de l'aspiration (perte de charge pour l'aspiration). La pompe est de type centrifuge tournant à une vitesse de 2000 t/min dont la roue à un diamètre de 20 cm. Sa dépression maximum (donc l'aspiration) est de 0.5 bar.

- 1) Quelle est la pression minimum dans le réservoir 1 pour que le système puisse être prêt à fonctionner? Etablir un bilan d'énergie en termes de pression.
- 2) Quelle est la puissance utile que la pompe doit fournir ? (On définit que $p_1 = 1.5$ bars)
- 3) A quelle vitesse doit-elle tourner pour fournir la même puissance si la roue a un diamètre de 15cm?

NB : Hauteur manométrique = pression fournie pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre.

Pression d'aspiration = dépression que peut fournir la pompe.

Dans le bilan, les termes favorables sont à soustraire, défavorables à additionner.



Données	
D_1	10 cm
D_2	25 cm
p_2	2 bar
z_1	50 m
z_2	35 m
z_3	10 m
ρ	1000 kg/m ³
\dot{V}	25 m ³ /h

Un procédé fournit une suspension contenant, par kilogramme, 15 g de cristaux, dans un liquide de masse volumique $1020 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et de viscosité $1.2 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Un examen des cristaux au microscope a montré que leur forme était approximativement isométrique; des essais de tamisage ont permis de calculer que leur diamètre moyen en surface était de $85 \text{ }\mu\text{m}$. Leur masse volumique, relevée dans une table des constantes, est de 2630 kg m^{-3} .

En filtrant sur Büchner ($A = 0.5 \text{ m}^2$ et $\Delta p = 0.8 \text{ bar}$) un échantillon de suspension, on obtient un gâteau de 145 cm^3 qui, après séchage, accuse une masse de 0.236 kg . Des essais de tassement sur ce gâteau ont montré qu'il était sensiblement incompressible.

- 1) On voudrait estimer les caractéristiques (épaisseur du gâteau, volume du filtrat) après 5 minutes d'une filtration discontinue sous pression constante, qui permettrait de récupérer ce gâteau. Constante de Kozeny, $h_k=5$.

On considère un bassin de décantation de section rectangulaire ($h=1$ m de hauteur de liquide et $l=4$ m de largeur), dont la longueur est $L=10$ m. Une suspension contenant des particules de diamètre allant de 1 à 100 microns est alimentée à raison de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à la surface du bassin, à une de ses extrémités.

On considère l'écoulement de liquide comme étant uniforme sur toute la section verticale du bassin. Le liquide clarifié sort par débordement à l'autre extrémité du bassin.

1. Calculer la section de l'écoulement, le temps de séjour moyen, la vitesse horizontale du liquide.
2. Calculer la vitesse de sédimentation que doit avoir une particule pour qu'elle se retrouve au fond du bassin à l'aplomb du débordement (cette particule aura donc parcouru 10 m horizontalement et 1 m verticalement).
3. Calculer le diamètre minimal des particules qui seront sédimentées dans ce bassin.

Données : $h=1$ m, $l=4$ m, $L=10$ m, $\rho_S=1700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\rho_L=1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et $\mu_L=10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

On désire fluidiser de la farine de blé ayant 500 microns de diamètre moyen avec les propriétés suivantes:

$$\rho_{\text{farine}} = 1380 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{air}} = 1.23 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\mu_{\text{air}} = 1.81 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$$

1. Quelle est la vitesse minimum de fluidisation nécessaire?
2. Quelle est la vitesse limite de fluidisation?

Suite à sa fabrication, une solution aqueuse est produite à 60°C avec un flux de $\dot{m} = 200 \text{ g s}^{-1}$. On aimerait la refroidir à 30°C avant de pouvoir la conditionner et conserver.

Pour cela, on utilisera un échangeur de chaleur tubulaire. Le liquide de refroidissement utilisé (de l'eau) qui entre à 15°C et sort à 25°C.

Données utiles :

$$U = 300 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$C_{p,\text{eau}} = 4.2 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- 1) Dimensionnez l'échangeur minimal pour satisfaire la demande.
- 2) Trouvez le flux massique d'eau de refroidissement.

Module 3.2: L'évaporation

On souhaite concentrer à 2% une solution de sel dans de l'eau initialement à 1%. La solution à 1% est alimentée à 50°C sous 1 bar dans un évaporateur. Elle sort concentrée de l'évaporateur à 1 bar et à son point d'ébullition. Le restant d'eau est éliminé sous forme de vapeur saturante à 1 bar.

La chaleur nécessaire à l'évaporation est amenée par de la vapeur saturante sous 2 bars condensant à l'intérieur d'un serpentin. En admettant que les deux solutions salines aient les mêmes propriétés thermiques que l'eau pure, calculer la quantité de vapeur 2 bars à condenser pour évaporer 1 kg d'eau.

On admettra également que la capacité calorifique de l'eau est constante entre 0 et 100°C, et égale à 4.18 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹.

On utilisera les tables de la vapeur ou les formules $P_{\text{vap}} = (T_{\text{eb}}/100)^4 \text{ bar}_{\text{abs}}$ et $\Delta H_v(T_{\text{eb}}) = 2535 - 2.9 T_{\text{eb}} \text{ kJ.kg}^{-1}$, T_{eb} en °C, valables pour l'eau.

Extrait des tables de la vapeur d'eau saturante				
Pression bar absolus	Température °C	Enthalpie vapeur kJ.kg ⁻¹	Chaleur latente kJ.kg ⁻¹	Enthalpie liquide kJ.kg ⁻¹
0.04	29	2553.3	2432.3	121.36
1.00	99.63	2673.8	2266.5	417.33
1.50	111.37	2691.6	2224.7	466.95
2.00	120.33	2704.6	2200.1	504.52
3.00	133.54	2723.2	2161.9	561.2

Module 3.3: Les réacteurs cuves agitées

On désire réaliser une fermentation à 58°C de 6500 kg de brassin de bière arrivant de la cave à 12°C dans une cuve agitée de 3 m de diamètre au moyen d'une ancre ayant un rapport des rayons de 0.95 et tournant à une vitesse de 1 Hz. Quelle devrait être la surface des demi-tubes en contact nécessaire pour y arriver en 1 heure ?

La cuve peut être chauffée au moyen de demi-tubes soudés.

Les caractéristiques du brassin sont:

Masse volumique : 990 kg m³

Viscosité dynamique: 2 Pa s (identique à la paroi)

Chaleur spécifique: 5 J g⁻¹ K⁻¹

Conductivité thermique: 0.55 W m⁻¹ K⁻¹

Température du demi-tube en contact : 70°C

Temps de mélange: 15 minutes

Hauteur de la cuve : 4.5 m

Le transfert limitant est celui du film interne.

Module 4.5: Le séchage

Préchauffeur: de l'air ambiant déshumidifié entre à une température de 20°C et une humidité relative $\epsilon_E=5\%$. Son débit global est $1.08 \cdot 10^4 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, son C_p $1.01 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, et sa masse volumique 1.2 kg.m^{-3} . La puissance du préchauffeur est 295 kW.

- 1) Déterminer l'humidité absolue de l'air à l'entrée YE et à la sortie Y'E du préchauffeur.
- 2) Calculer le débit massique d'air humide.
- 3) Calculer la température de l'air en sortie du préchauffeur. En déduire son humidité relative ϵ'_E et son enthalpie H'_E .

Sécheur: l'air chaud alimente un sécheur rotatif à tambour à contre-courant. Le débit de solide humide entrant dans le sécheur est 35000 kg.h^{-1} , et son titre massique en eau est $x_E = 1\%$. On admet que le séchage s'effectue dans des conditions isenthalpiques pour l'air, et que son humidité relative en sortie est $\epsilon_S=85\%$.

- 4) Connaissant ϵ_S , déterminer la température et l'humidité absolue Y_S de l'air en sortie du sécheur.
- 5) Calculer l'humidité du solide entrant X_E , et le débit de solide sec M.
- 6) Déterminer, pour le solide en sortie, son humidité X_S .

Données: Tableaux des propriétés de l'air
extraites du diagramme de l'air humide.

Y humidité absolue en g d'eau/kg d'air sec
H enthalpie de l'air en kJ/kg d'air sec
 ϵ humidité relative en %
T température en °C

Tableau 1		
ϵ	Y	T
5	0.2	5
5	0.3	10
5	0.4	15
5	0.7	20
5	1	25
5	1.3	30
5	1.7	35
5	2.3	40
5	3	45
5	3.9	50
5	5	55

Tableau 2			
Y	T	ϵ	H
0.7	76	50	78
0.7	81	30	82
0.7	86	25	87
0.7	91	20	93
0.7	96	15	97
0.7	101	10	102
0.7	106	<10	108
0.7	111	<10	113
0.7	116	<10	118
0.7	121	<10	123
0.7	126	<10	128

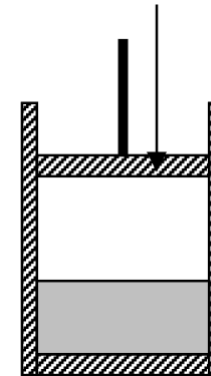
Tableau 3			
ϵ	H	Y	T
85	74	18.5	26.3
85	78	19.8	27.4
85	82	20.8	28.3
85	86	22	29.2
85	90	23.1	30
85	94	24.3	30.9
85	98	25.8	32
85	102	26.9	32.5
85	106	28.1	33.2
85	110	29.3	34
85	114	30.4	34.8

1) On désire détendre de la vapeur ayant un titre de 1 de 21 à 6 bars.
Quelle sera la température de la vapeur détendue ?

2) Même question mais avec un titre de 0.96.

$$\begin{aligned}H_{\text{vap,tot}} \text{ à 6 bars} &= 2756.9 \text{ kJ kg}^{-1} \\H_{\text{vap,tot}} \text{ à 21 bars} &= 2800.5 \text{ kJ kg}^{-1} \\c_{p, \text{ vap. surch}} &= 2.0 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \\T_{\text{vap, 21 bars}} &= 215 \text{ }^{\circ}\text{C} \\T_{\text{vap, 6 bars}} &= 159 \text{ }^{\circ}\text{C} \\T_{\text{vap, 1 bar}} &= 100 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Piston mobile permettant de diminuer ou d'augmenter le volume du cylindre



Les parois du cylindre ne laissent pas passer la chaleur

Du sucre est broyé afin que 80% des cristaux passent un tamis de initial 500 μm (tamis standard n ° 35), jusqu'à une taille acceptable lorsque 80% passe un tamis de 88 μm (tamis standard n ° 170). Un moteur d'une puissance 5 kW se trouve juste suffisant pour le débit requis.

Si les exigences sont modifiées de sorte que le broyage est seulement de 80% à travers un tamis de 125 μm (No.120), mais que le débit doit être augmenté de 50%, le moteur existant aurait-il une puissance suffisante pour faire fonctionner le broyeur?

Une hélice marine de 30 cm de diamètre ($N=6 \text{ s}^{-1}$, est utilisée dans une cuve ayant les caractéristiques suivantes: $d_a/D=1/3$, hauteur 3 m et contenant un liquide de masse volumique $\rho = 1\,200 \text{ kg/m}^3$ et de viscosité $\eta = 3,6 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

- 1) Quelle est la puissance dissipée par unité de volume?
- 2) Quelle est la vitesse périphérique de l'hélice?
- 3) Quel est le débit de pompage?
- 4) Quel est le temps de mélange?