

TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCÉDES 1

LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Grandeurs physico-chimiques et analyse dimensionnelle.

1) Les unités de base du système international :

1. L'énergie a pour unité le joule (J) dans le système international. Relier cette unité aux unités de base du système international.

Même question avec la force, dont l'unité est le newton (N) et la pression, dont l'unité est la pascal (Pa).

2. Quelle est l'unité, dans le système international, de la constante des gaz parfaits R ?

2) Equation aux dimensions :

1. En statique des fluides, on démontre que : $p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$ avec p_1 , p_2 : pression en deux points, ρ : masse volumique et z_1 , z_2 : altitudes.

Vérifier la cohérence de cette formule, en écrivant l'équation aux dimensions de chaque membre.

2. La viscosité dynamique d'un fluide est exprimée par la formule de Newton :

$$\mu = \frac{F}{S} \times \frac{z}{u}$$

Dans cette expression, F représente la force de glissement, S la surface de glissement, u la vitesse de glissement et z la distance entre deux couches de fluide. Déterminer les dimensions de la viscosité et son unité dans le système légal.

Chimie industrielle et environnement.

1) Le dioxyde de soufre (SO₂) un polluant atmosphérique :

Le dioxyde de soufre (SO_2), provenant de la combustion des combustibles fossiles (charbon, gaz naturel, dérivés du pétrole comme le fioul et le gazole) et des rejets de l'industrie chimique, est un des polluants atmosphériques responsables des pluies acides.

Pour lutter contre cette pollution, on peut agir de manière préventive en diminuant la teneur en soufre des produits pétroliers mais aussi de manière curative en traitant les effluents (fumées et rejets industriels) avant leur libération à l'atmosphère.

Contrôle chimique de la teneur en SO_2 (gaz) dans un effluent gazeux d'une cheminée

Le dioxyde de soufre étant très soluble dans l'eau, on fait barboter lentement un volume de 0.1 m^3 d'air, prélevé à proximité de la sortie de la cheminée, dans 50 mL d'eau distillée de façon à obtenir 50 mL d'une solution aqueuse incolore de dioxyde de soufre.

On réalise un dosage d'oxydoréduction de cette préparation par une solution acidifiée de permanganate de potassium (KMnO_4) de couleur violette et concentration molaire $C_1 = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$. le volume de la solution de KMnO_4 nécessaire pour obtenir l'équivalence est $V_{\text{éq}} = 12 \text{ mL}$.

a) Ecrire pour les deux couples $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ et $\text{SO}_4^{2-} / \text{SO}_2$ la demi-équation électronique correspondante.

b) Ecrire l'équation globale d'oxydoréduction intervenant au cours de ce dosage en justifiant son sens.

c) Expliquer le changement de couleur qui permet de repérer l'équivalence. Quel est le nombre de moles d'ions MnO_4^- contenus dans les 12 mL utilisés pour obtenir l'équivalence ?

d) En déduire le nombre de moles de SO_2 dans les 50 mL de solution préparée puis vérifier que l'effluent gazeux analysé contient $7.5 \cdot 10^{-4}$ mole de SO_2 par m^3 .

e) Sachant que les normes de la CEE fixent une teneur massique en SO_2 de $250 \mu\text{g.m}^{-3}$, comparer cette valeur à la teneur massique en SO_2 de l'effluent. Conclure.

Données : Potentiels standards E^0 en V : $\text{SO}_4^{2-} / \text{SO}_2$: 0.17 et $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$: 1.51. Masses molaires atomiques en g.mol^{-1} : S = 32 et O = 16.

Chimie industrielle et risque chimique.

1) A propos de l'acide chlorhydrique :

1. Une solution d'acide chlorhydrique est obtenue par dissolution dans l'eau du chlorure d'hydrogène (HCl).

a) Ecrire l'équation bilan de la réaction et justifier l'affirmation : "HCl est un acide fort dans l'eau".

b) Une solution de HCl a un pH égal à 2.1 à 25°C. Calculer sa concentration molaire C.

2. Dans un atelier de fabrication d'objets métalliques, on procède au décapage du métal dans une cuve (C1) remplie de HCl dilué puis au brunissage décoratif dans une cuve (C2), installée à côté de C1 et contenant une solution aqueuse de sulfure de sodium (Na_2S). Afin de renouveler le contenu de la cuve C2, tous les soirs avant la fermeture, un opérateur y ajoute 1.3 Kg de Na_2S .

a) Quelle précaution nécessite la dilution d'une solution de HCl concentrée ?

b) Un soir, troublé par l'arrivée d'un camion de livraison dans la cour de l'usine, l'opérateur se trompe de cuve et déverse le Na_2S dans la cuve de décapage C1 et ferme l'atelier pour la nuit.

Expliquer ce qui se produit dans la cuve C1. Indiquer la nature du gaz émis. Ecrire l'équation de la réaction. Montrer qu'il s'agit d'une réaction acide-base. Nommer les couples intervenant.

c) En supposant que tout le Na_2S ajouté réagit, calculer le volume de gaz dégagé.

d) Calculer la concentration en gaz polluant dans l'atelier le lendemain matin (i.e., pourcentage en volume).

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

Données : Masses molaires atomiques en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: Na = 23. Dimensions de l'atelier : L = 5.0 m, l = 4.0 m et h = 2.5 m. Volume molaire du gaz = $24 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ dans les conditions de l'atelier. Limites d'explosivité de H_2S dans l'air (% en volume) inférieure LIE = 4 et supérieure LSE = 46.

TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCÉDES 2

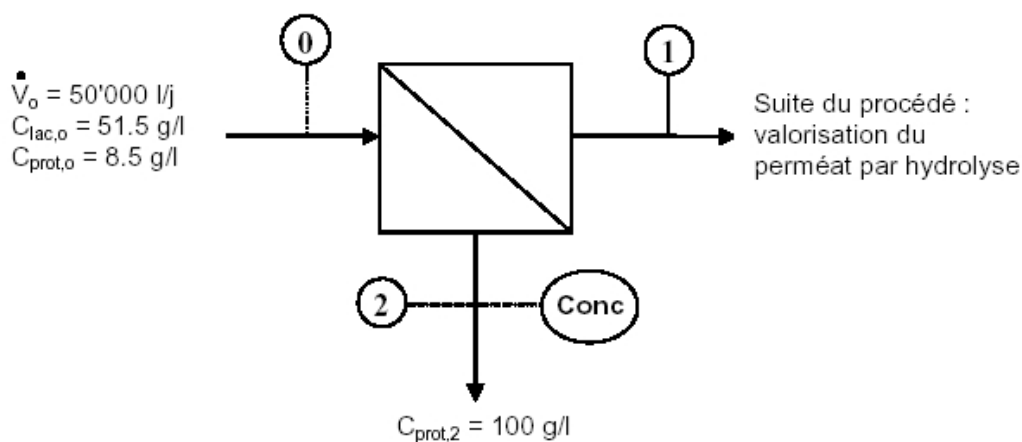
LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Bilans-Matière - stationnaires et sans réactions chimiques.

1) Les bilans pour la valorisation du lactosérum :

Une laiterie reçoit 50 000 litres de lactosérum par jour. Ce fluide contient 51.5 g/L de lactose, soit 150 mM, et 8.5 g/L de protéines solubles. Il est prévu d'en faire un concentrat de protéines par ultrafiltration, puis de valoriser le perméat en hydrolysant le lactose qu'il contient en glucose et galactose.

Afin de pouvoir vendre le concentrat de protéines sur le marché, celui-ci doit comporter une concentration de protéines de 100 g/L.



On s'intéresse en premier lieu uniquement à l'unité d'ultrafiltration (UF). En admettant que les membranes d'UF soient complètement perméables pour la lactose et 100% étanches pour les protéines, calculer :

- Le volume de rétentat et de perméat qu'il faut produire par jour.
- Le pourcentage de lactose perdu pour l'hydrolyse, occasionné par le fait que le concentrat de protéines contiendra également du lactose.

2) Bilan sur un mélangeur :

Une solution aqueuse de soude à 20% en masse est diluée dans une unité de mélange. Par mélange avec de l'eau, on désire produire une solution à 8% en masse.

Calculer :

a) La quantité d'eau nécessaire à cette opération par rapport à la quantité de solution à diluer ("feed").

b) La quantité de solution diluée par rapport à la quantité de solution concentrée.

c) Déterminer les flux massiques de la solution de soude à 20% et de l'effluent d'eau si l'unité produit 1000 kg/min de solution diluée à 8%.

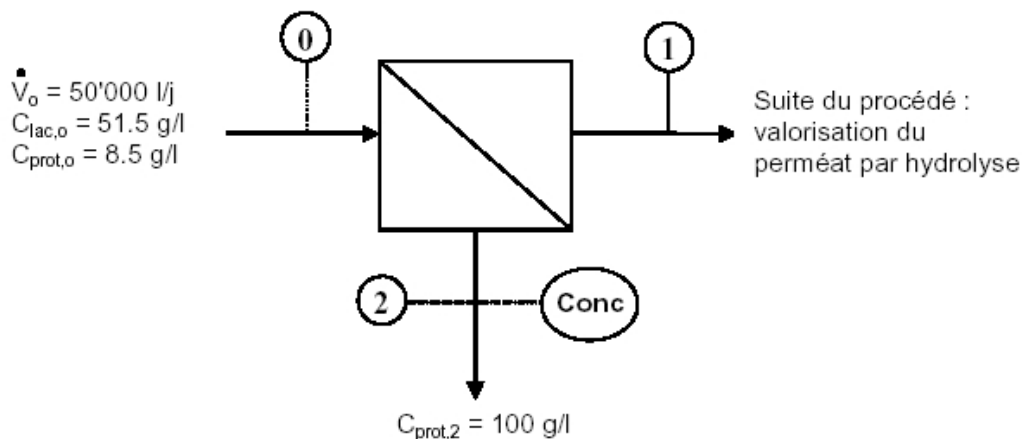
TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCEDES 2 (suite)
LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Bilans-Matière - stationnaires et sans réactions chimiques.

1) Les bilans pour l'unité d'ultrafiltration :

Pour rappel, une laiterie reçoit 50 000 litres de lactosérum par jour. Ce fluide contient 51.5 g/L de lactose, soit 150 mM, et 8.5 g/L de protéines solubles. Il est prévu d'en faire un concentrat de protéines par ultrafiltration, puis de valoriser le perméat en hydrolysant le lactose qu'il contient en glucose et galactose.

Afin de pouvoir vendre le concentrat de protéines sur le marché, celui-ci doit comporter une concentration de protéines de 100 g/L.



On s'intéresse en premier lieu uniquement à l'unité d'ultrafiltration (UF). La description de cette unité proposée dans le problème précédent n'est pas réaliste car les membranes d'ultrafiltration ne sont ni complètement perméables au lactose, ni 100% étanches pour les protéines. La concentration d'une espèce i qui apparaît dans le perméat dépend en règle générale de la concentration de i dans le rétentat selon :

$$S_i = \frac{C_{i,P}}{C_{i,R}}$$

Selon Foetisch (1983), les valeurs de S_i caractérisant des membranes du poids moléculaire de coupure de 20 000 Da (cut-off) sont environ de :

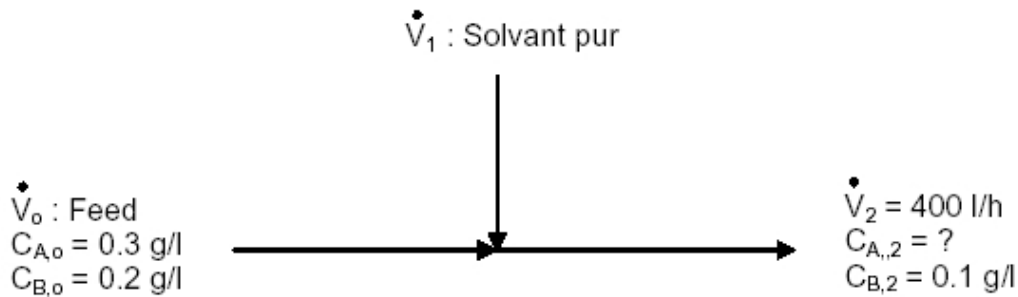
	$S [-]$
Protéines	0,0244
Lactose	0,875

En tenant compte de ces données, calculer :

- La quantité de rétentat et de perméat qu'il faut produire par jour.
- Le pourcentage de protéines perdues occasionné par le fait que le perméat contiendra également des protéines.
- Le pourcentage de lactose perdu pour l'hydrolyse dû aux pertes dans le rétentat.

2) Bilan sur une dilution :

Un mélangeur est utilisé comme unité de dilution. Le flux entrant contient deux solutés, A et B, comme indiqué sur la figure ci-dessous. Une addition de solvant pur donne un flux dilué dont on a mesuré la concentration en B ainsi que le flux volumique (voir figure ci-dessous) :



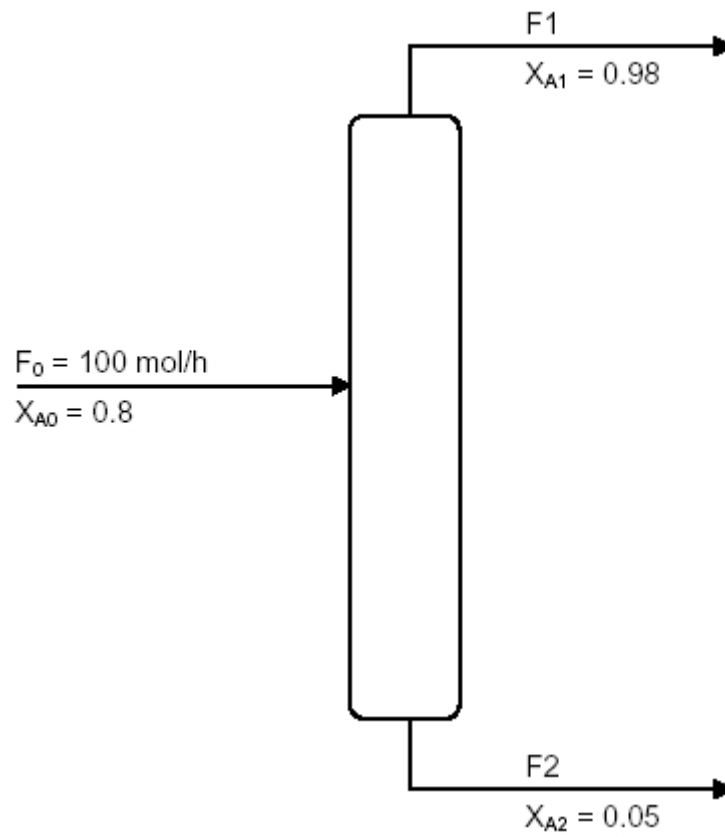
Calculer :

- Le flux volumique entrant.
- Le flux volumique de solvant pur utilisé pour cette dilution.
- La concentration de A dans le flux de sortie dilué.

3) Les bilans pour une unité de rectification :

Cent moles par heure d'un mélange binaire de 2 substances A et B sortant d'un réacteur doivent être séparées. La fraction molaire de A dans ce

mélange est de 0.8. La colonne fournit une fraction molaire de A dans le distillat (F1) de 0.98 et dans le résidu de 0.05.



Quelles sont les pertes de A dans le résidu en mol/h ?

c) La conversion obtenue dans le réacteur y compris la boucle de recirculation.

d) Les pertes de lactose dans le concentrat.

Installeriez-vous cette unité de séparation ? Justifiez votre réponse.

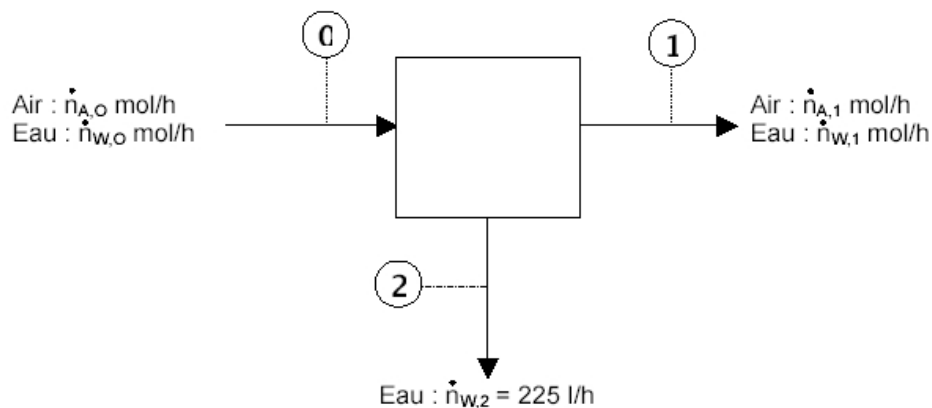
Cas des systèmes complexes : degré de liberté.

1) La valorisation globale du lactosérum avec boucle de recyclage :

Pour le problème précédent, vérifiez que l'information dont vous disposez suffit pour résoudre le problème en calculant le degré de liberté et en le comparant aux variables qui ont été spécifiées.

2) Degré de liberté d'un système : cas d'un condenseur :

Un flux d'air humide pénètre dans un condenseur, dans lequel 95% de l'eau est liquéfiée. Un débitmètre placé sur le condensat indique un débit de 225 L/h. On considère que l'air sec contient 21% d'oxygène, le reste étant de l'azote.



Est-ce possible de déterminer le débit et la composition du flux de gaz sec (flux n°1) ? Si oui, donner les valeurs numériques. Si non, prouvez-le en calculant le degré de liberté.

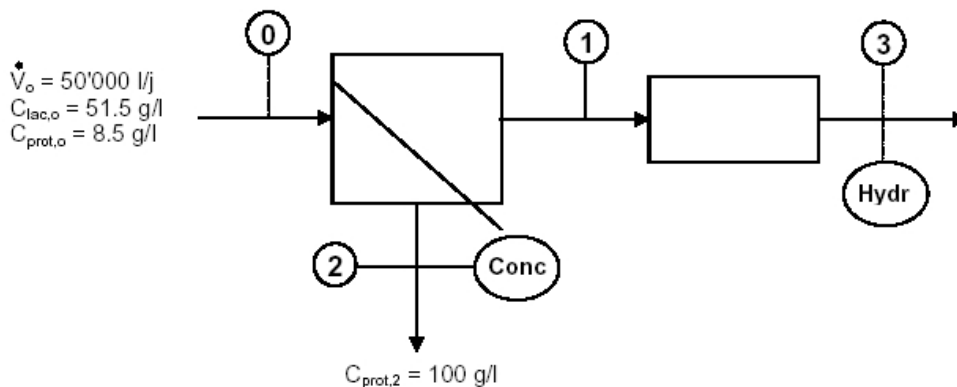
TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCÉDES 2 (compléments effectués en cours)

LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Bilans-Matière - stationnaires et sans réactions chimiques.

1) Valorisation du lactosérum - hydrolyse du perméat :

Pour rappel, une laiterie reçoit 50 000 litres de lactosérum par jour. Ce fluide contient 51.5 g/L de lactose, soit 150 mM, et 8.5 g/L de protéines solubles. Il est prévu d'en faire un concentrat de protéines par ultrafiltration, puis de valoriser le perméat en hydrolysant le lactose qu'il contient en glucose et galactose.



On s'intéresse maintenant à la valorisation du perméat. Le lactose qu'il contient est hydrolysé en galactose et en glucose (le lactose est un disaccharide : une mole donne après hydrolyse une mole de glucose plus une mole de galactose).

En admettant que le réacteur permet une hydrolyse à 80% du lactose, calculer la composition exacte de l'hydrolysat (flux 3) pour :

a) Une unité d'ultrafiltration comme décrite dans le TD 2, qui produit un perméat (flux 1) caractérisé par $C_{prot,1} = 0$ et $C_{lac,1} = 150 \text{ mM}$.

b) Une unité d'ultrafiltration comme décrite dans le TD 2 (suite), qui produit un perméat (flux 1) caractérisé par $C_{prot,1} = 2.44 \text{ g/L}$ et $C_{lac,1} = 149.3 \text{ mM}$.

TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCÉDES 3
LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Bilans Energétiques - Premier principe de la thermodynamique.

1) Bilans énergétiques et changement d'état :

1. De combien d'énergie avez-vous besoin pour chauffer 1 m³ deau, à 100 kPa, de 50°C à 500°C ?

Effectuer ce problème :

- a) En utilisant les tableaux de vapeur.
- b) Par calcul approximatif sans les tableaux.

Données :

Capacité thermique massique à pression constante de l'eau : $C_p = 4.18 \cdot 10^3 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Capacité thermique molaire à pression constante de la vapeur d'eau : $C_p = 29.12 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Enthalpie massique de vaporisation de l'eau : $H_{\text{vap}} = 2257 \cdot 10^3 \text{ J.Kg}^{-1}$.

2. Un bloc de 5 Kg de glace, à 0°C, est chauffé avec un corps de chauffe de 1.5 kW pendant 1000 secondes. Ce bloc se trouve dans une enceinte adiabatique.

Quelle sera la température finale ? Dans quel état l'eau sera-t-elle : solide, liquide ou sous forme vapeur ?

Données :

Capacité thermique massique à pression constante de la glace : $C_p = 2.09 \cdot 10^3 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Enthalpie massique de fusion de la glace : $H_{\text{fus}} = 334 \cdot 10^3 \text{ J.Kg}^{-1}$.

2) Le premier principe et la préparation du thé :

Un litre d'eau à 20°C est chauffé dans une bouilloire électrique qui est bien isolée thermiquement, et qui se met à siffler dès que l'eau commence à bouillir.

a) Combien de temps faut-il jusqu'à ce qu'elle se mette à siffler si la puissance électrique est de 1250 W ? le métal de la bouilloire peut être considéré comme équivalent à 0.2 L d'eau.

b) Admettons que l'on ne coupe pas l'alimentation électrique. Combien de temps le sifflement durera-t-il ? L'enthalpie de vaporisation de l'eau vaut 45 kJ.mol⁻¹.

3) Thermodynamique d'un accident de voiture :

Quelle est l'augmentation de température de la masse de deux voitures de 2 tonnes chacune, et qui entrent en collision frontale alors qu'elles roulent les deux à une vitesse de 200 km/h.

La capacité thermique massique moyenne est de $0.2 \cdot 10^3 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCEDES 3 (suite)
LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Bilans Energétiques - Premier principe de la thermodynamique.

1) Puissance d'une turbine :

500 Kg de vapeur par heure sont utilisés pour faire tourner une turbine. La vapeur entre à 44 bars et à 450°C à une vitesse de 60 m/s. A la sortie, qui se trouve 5 m plus bas que l'entrée, la vapeur est saturée, à pression atmosphérique, et à une vitesse de 360 m/s. La perte de chaleur est estimée à 11.6 kW.

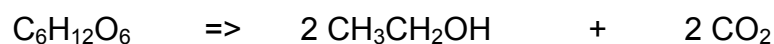


En se servant du tableau enthalpique, calculer la puissance dégagée à l'arbre.

2) Production de vin et bilan d'énergie :

Un vigneron en Argentine désirent améliorer la qualité de son vin aimerait contrôler la température de fermentation du moût de raisin. Son œnologue lui conseille de réaliser la fermentation à faible température pour obtenir des vins avec plus d'arôme et plus fruités. Il s'adresse à vous pour les questions suivantes :

a) Quelle est la chaleur de la réaction si cette dernière peut être décrite approximativement par l'équation :



Répéter le calcul en se servant une fois des enthalpies de formation et une fois des enthalpies de combustion.

b) Quelle est la température maximale que le moût pourrait atteindre ?

Données :

Levure	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Concentration de sucre	92° Oechsle = 210 g l ⁻¹
Température du raisin	20 °C
Volume de la cuve	10'000l
cp moût	4.18 kJ kg ⁻¹ K ⁻¹

Valeurs thermodynamiques pour certaines substances importantes en microbiologie technique [2]

TABLE A-1
Standard molar enthalpies of formation ($\Delta_f H^\circ$), standard molar enthalpy of combustion* or of non-standard combustion reactions, ($\Delta_{\text{comb}} H^\circ$, $\Delta_{\text{comb}} H_c^\circ$), for calculating metabolic enthalpy changes, and heat capacity (C_p) for selected compounds at 25°C
The heat capacity values were obtained from Willhoit [35]. Units $\Delta_f H^\circ$ and $\Delta_{\text{comb}} H^\circ$ (kJ/mol); $\Delta_{\text{comb}} H_c^\circ$ (kJ/C-mol); C_p (J/K mol)

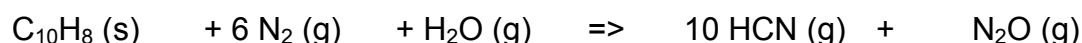
Substance	Formula	State	$\Delta_f H^\circ$	$\Delta_{\text{comb}} H^\circ$	$\Delta_{\text{comb}} H_c^\circ$	C_p	Ref
Oxygen	O ₂	g	0.0	0.0 *		29.4	def
		aq	-12.1	+12.1			36
Hydrogen ion	H ⁺	aq	0.0	0.0			def
Water	H ₂ O	l	-285.83	0.0 *		75.3	34
Carbon dioxide	CO ₂	g	-393.51	0.0 *		37.1	37
		aq	-413.3	+19.8			37
Carbonic acid	H ₂ CO ₃	eq,b	-405.8				37
		aq	-699.1	+19.8			37
		eq,b	-691.6				37
Bicarbonate ion	HCO ₃ ⁻	aq	-689.9	+10.6			37
Ammonia	NH ₃	g	-45.8	-383.6 *			38
		aq	-81.1	-348.2			38
Ammonia ion	NH ₄ ⁺	aq	-133.1	-295.6		79.9	38
α -D-Glucose	C ₆ H ₁₂ O ₆	c	-1273.0	-2803.0 *	-467.2		34
α , β -D-Glucose		aq	-1262.4	-2813.6	-468.9	305.4	34,35
Ethanol	C ₂ H ₅ O	l	-277.7	-1366.8 *	-683.4	112.0	34
		aq	-287.7	-1356.8	-678.4		34,35
Glycerol	C ₃ H ₈ O ₃	l	-689.6	-1654.3 *	-551.4		39
		aq	-675.4	-1648.5	-549.5	238.5	39
Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	l	-484.1	-874.5 *	-437.3		34
		aq	-485.2	-873.4	-436.7	154.8	34,35
		aq	-485.5	-873.1	-436.6		34,35
Acetate ion	C ₂ H ₃ O ₂ ⁻	aq	-485.5	-873.1	-436.6		34,35
l-Lactic acid	C ₃ H ₅ O ₃	c	-694.1	-1344.0 *	-448.0		40
l-Lactic acid		aq	-686.3	-1351.8	-450.6		40
l-Lactate ion	C ₃ H ₅ O ₃ ⁻	aq	-686.5	-1351.6	-450.5		40
Succinate acid	C ₄ H ₄ O ₄	c	-940.5	-1491.0 *	-372.8		34
		aq	-912.2	-1519.3	-379.8		35
Hydrogen-Succinate ion	C ₄ H ₅ O ₄ ⁻	aq	-908.9	-1522.6	-380.7		35
		aq	-908.7	-1522.8	-380.7		35

TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCEDES 3 (fin) LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Bilans Energétiques.

1) Cynique materiel de guerre :

Incroyable et fabuleux ! Il semblerait que les services secrets des Etats-Unis ont mis au point un catalyseur remarquable, qui permet de mener la réaction suivante à température ambiante :



Cela représente un aboutissement pour la recherche d'armes et de poisons, puisque cette réaction produit un mélange d'acide cyanhydrique et de gaz hilarant : vos ennemis meurent en rigolant !

Mais avant de construire l'usine pour produire ce "merveilleux" mélange, il faut d'abord connaître l'enthalpie de cette réaction, afin de savoir si il sera nécessaire de chauffer ou refroidir le réacteur.

Calculer cette enthalpie de réaction par mole de naphthalène (C_{10}H_8) consommé.

Données : enthalpie de combustion du naphthalène $\Delta_c H^\circ = -5157 \text{ kJ/mole}$, enthalpie de formation standard de HCN $\Delta_f H^\circ = 130.54 \text{ kJ/mole}$, enthalpie de formation standard de N_2O $\Delta_f H^\circ = 81.5 \text{ kJ/mole}$.

2) Bilan thermique sur réacteur :

Fabrication en continu du nitrobenzène (procédé Biazzi simplifié)



On supposera que tous les réactifs sont injectés à 25°C .

On supposera que l'émulsion sortant à 60°C du réacteur contient 1.6 kg/s de phase organique et 1.9 Kg/s de phase aqueuse.

Le contenu du réacteur parfaitement agité est à 60°C .

- a) Calculer la puissance thermique dégagée par la réaction à 25°C
- b) Calculer la puissance thermique à évacuer par l'eau de refroidissement pour maintenir la température du réacteur à 60°C.
- c) Calculer le débit d'eau de refroidissement entrant à 15°C et sortant à 25°C du serpentin.
- d) Calculer le diamètre du tube formant le serpentin pour que l'eau y circule à 3 m/s.
- e) Calculer la surface d'échange nécessaire.
- f) Calculer le nombre de spires de 1 m de diamètre à donner au serpentin.

Données :

Enthalpie de réaction $\Delta H_r = -110$ kJ/mole à 25°C.
 Coefficient global de transfert de chaleur du serpentin = 1000 W/m².K.

	C ₆ H ₆	HNO ₃	C ₆ H ₅ NO ₂	H ₂ O	H ₂ SO ₄ pur	Phase aqueuse	Phase organique
M g / mol	78	63	123	18	98		
$\rho_{25^\circ\text{C}}$ kg / m ³				1000		1583	1096
Cp kJ / kg . K				4,18		2	1,575

TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCÉDES 4

LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Mécanique des Fluides.

1) Conservation de la masse - Relation de continuité :

a) De l'eau s'écoule dans une conduite de 30.0 cm de diamètre à la vitesse de $0,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer le débit-volume en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ et L/min ; donner la valeur numérique du débit-masse.

b) Dans une conduite de 30.0 cm de diamètre, l'eau circule avec un débit-volume de 1800 L/min. Calculer la vitesse moyenne d'écoulement. Le diamètre devient égal à 15.0 cm ; calculer la nouvelle vitesse moyenne.

c) De l'air circule dans une conduite de 15.0 cm de diamètre à la vitesse moyenne $v_1 = 4,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer le débit-volume q_v .

d) La pression manométrique est de 2.10 bar, la pression atmosphérique normale vaut 1013 mbar et la température est de 38°C . Exprimer le débit-masse q_m en fonction des pressions et des températures puis faire le calcul numérique.

Données : masse molaire de l'air $29.0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, constante du gaz parfait : $R = 8.32 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, relation donnant la masse volumique ρ d'un gaz (en fonction de la pression p et de la température T :

$$\rho = \rho_0 \frac{p T_0}{p_0 T}$$

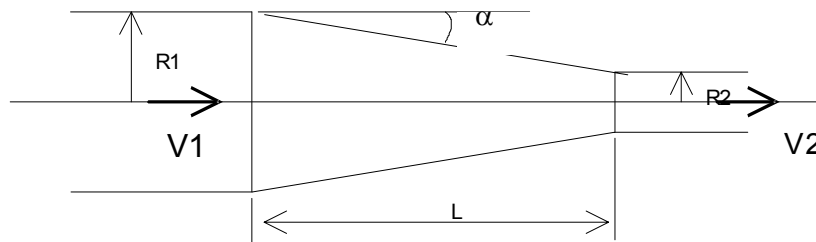
avec $P_0 = 760 \text{ mm Hg}$ et $\rho_0 = 1.293 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

2) Écoulement permanent et convergent :

On veut accélérer la circulation d'un fluide parfait dans une conduite de telle sorte que sa vitesse soit multipliée par 4. Pour cela, la conduite comporte un convergent caractérisé par l'angle α (schéma ci-dessus).

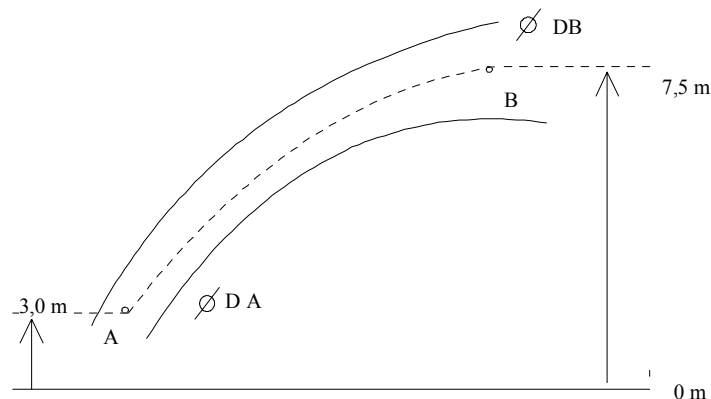
a) Calculer le rapport des rayons R_1/R_2 . Application numérique.

b) Calculer $(R_1 - R_2)$ en fonction de L et α . En déduire la longueur L . ($R_1 = 50$ mm, $\alpha = 15^\circ$).



3) Conservation de l'énergie - Relation de Bernoulli :

De l'eau (supposé fluide parfait) s'écoule du point A au point B avec un débit-volume de 350 L/s. La pression en A vaut 0.70 bar.



Calculer la pression en B (détailler les calculs littéraux, puis les applications numériques).

Données : Diamètres aux points A et B : $D_A = 35.0$ cm, $D_B = 64.0$ cm.

4) Application - Ecoulement dans un réservoir :

Dans la figure ci-dessous, R est un réservoir rempli d'eau, de très large section et dont le niveau Z_0 est maintenu constant. AC est une conduite de diamètre D. En C se trouve une courte tuyère de diamètre d. C et D sont sur la même horizontale.

a) Etablir l'expression de la vitesse v_D de l'eau à la sortie de la tuyère (justifier les approximations effectuées). Exprimer le débit volume q en fonction de v_D , d, et g. En déduire l'expression de la vitesse v dans la conduite AC. Calculer v_D , q et V .

Données : $Z_0 = 4.0$ m, $D = 5.0$ cm, $d = 2.0$ cm.

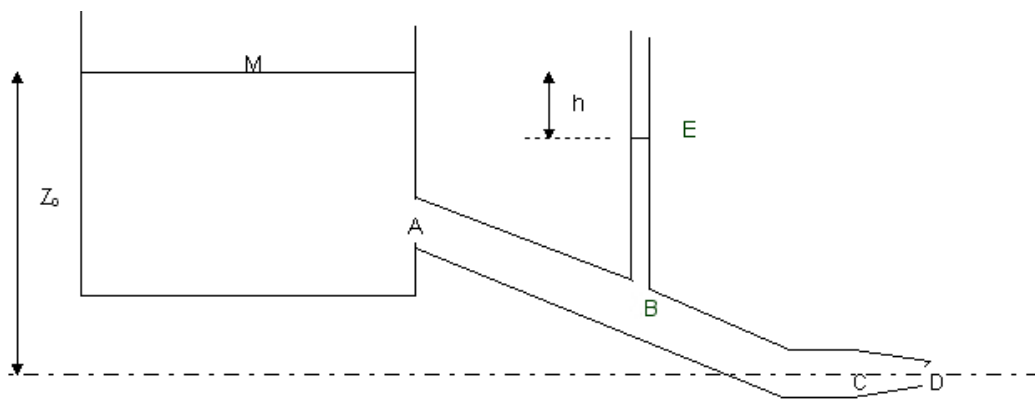
b) Un tube est placé en B en liaison avec la conduite.

b.1) En utilisant la relation de Bernoulli, exprimer littéralement la pression au point B.

b.2) Par application de la loi de l'hydrostatique dans le tube vertical, calculer littéralement la pression p_B .

b.3) En déduire l'expression de h , différence des niveaux des surfaces libres du réservoir et du tube en fonction de v et g . Pouvaient-on prévoir aisément ce résultat ?

c) Représenter la ligne de charge et la ligne piézométrique effective de l'installation.



TD D'INITIATION AU GENIE DES PROCEDES 4 (fin)
LICENCE 1 Chimie, MPM, - S2UE02 -

Mécanique des Fluides.

1) Application - Ecoulement dans une canalisation :

On considère une canalisation AB où s'écoule de l'eau, considérée comme un fluide parfait. Les diamètres respectifs des canalisations en A et B sont respectivement $D_A = 11.0$ cm et $D_B = 9.0$ cm. Le point B se trouve placé 10 m plus haut que le point A par rapport au niveau du sol. La pression en A est $p_A = 5.0$ bars.

a) La vitesse moyenne de l'eau en A est $v_A = 4.0$ m.s⁻¹. En utilisant l'équation de continuité déterminer la vitesse v_B du fluide en B.

b) La vitesse en A est inchangée et la vitesse en B est de 6.0 m.s⁻¹. Evaluer la pression statique p_B en B.

Données : $g = 9.81$ m.s⁻² et ρ (eau) = 1000 kg.m⁻³.

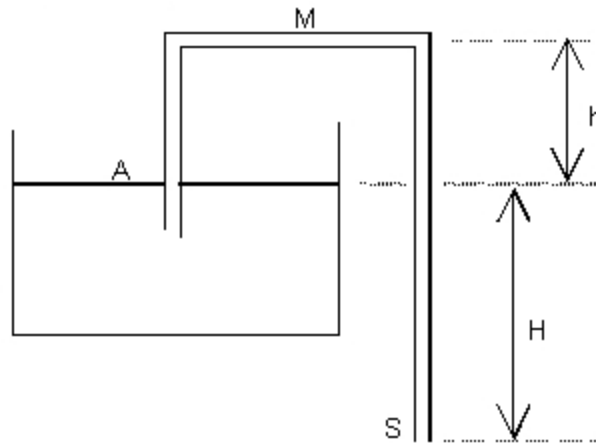
2) Etude d'un siphon :

Soit un siphon de diamètre d ($d = 10.0$ mm) alimenté par un récipient rempli d'eau, de grande dimension par rapport à d et ouvert à l'atmosphère ($p_{atm} = 1.0$ bar).

a) Calculer la vitesse moyenne du fluide en S puis le débit-volume q_v du siphon. (A.N : $H = 3.0$ m).

b) Donner l'expression de la pression p_M au point M en fonction de h .

c) Représenter l'allure de la pression p_M en fonction de h . h peut-il prendre n'importe quelle valeur ?



3) Nombre de Reynolds :

a) Pour quelles limites du nombre de Reynolds Re a-t-on un écoulement laminaire ? Quelles sont les limites pour un écoulement intermédiaire (ou critique) et pour un écoulement turbulent ?

b) Calculer la vitesse critique pour de l'eau circulant dans un tuyau de diamètre 3.0 cm ($\nu = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

c) Montrer littéralement que, dans les hypothèses d'un écoulement laminaire, la perte de charge Δp est proportionnelle au débit-volume q_v . Exprimer également Δh .

d) On considère un écoulement d'air dans une conduite rectiligne cylindrique, de diamètre D , sous une pression p et à la température θ ($^{\circ}\text{C}$).

d.1) Calculer la valeur du nombre de Reynolds Re correspondant aux conditions expérimentales ci-dessous. En déduire le type d'écoulement.

d.2) Quels sont les autres écoulements que vous connaissez. Comment les distinguez-vous ? Précisez.

d.3) Schématiser les lignes de courant dans les différents cas. Qu'appelle-t-on profil de vitesse ? Donner un exemple.

Données : Débit-volume de l'air $q_v = 1.50 \text{ m}^3 / \text{heure}$. Diamètre $D = 90.0 \text{ mm}$. température θ ($^{\circ}\text{C}$) = 25°C . Viscosité dynamique de l'air à 25°C : $\eta = 1.80 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Pression $p = 900 \text{ mm}$ de mercure.

4) Écoulement laminaire :

a) On pompe de l'huile de densité 0.86 par un tuyau horizontal de diamètre $D = 5.0 \text{ cm}$, de longueur $L = 300 \text{ m}$, avec un débit-volume de 1.20 L/s ; la différence de pression entre les extrémités du tuyau vaut $20.6 \times 10^4 \text{ Pa}$.

Calculer la viscosité cinématique et dynamique de l'huile (on fera l'hypothèse d'un écoulement laminaire que l'on justifiera à posteriori).

b) Pour du fuel lourd, on donne les valeurs numériques suivantes :

$$\rho = 912 \text{ kg.m}^{-3} ; \nu = 2.05 \times 10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1} ; q_v = 20.0 \text{ L.s}^{-1} ; L = 1.0 \text{ km}.$$

b.1) Pour une canalisation de longueur L, la perte de charge vaut 2.0 bar. Exprimer Δp en Pascal et en mCF.

b.2) En faisant l'hypothèse d'un écoulement laminaire, en déduire le diamètre D de la canalisation.

b.3) Calculer ensuite le nombre de Reynolds Re et *vérifier* que l'hypothèse de l'écoulement laminaire est bien vérifiée.