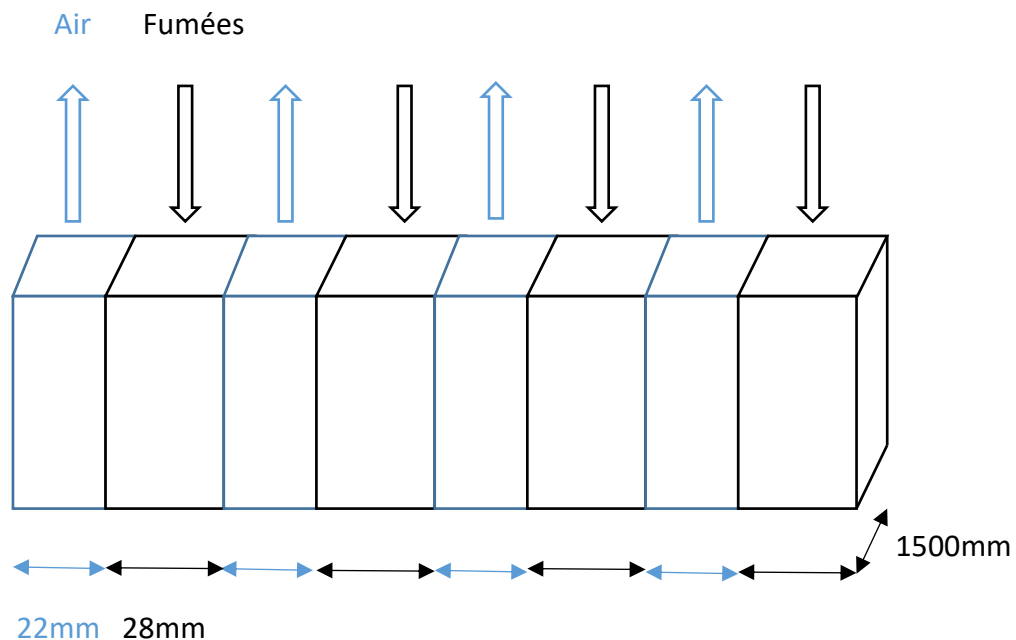


Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

TD N°1

Enoncé :

On veut refroidir un débit de fumées de 20 000 kg/h de 300°C à 150°C en réchauffant un débit d'air de 15 000 kg/h pris à 20°C. Pour cela, on utilise un réchauffeur à plaques schématisés ci-dessous qui comprend 19 cellules « fumées » alternée avec 20 cellules « air »



Les cellules « fumées » ont une section de 28mmx1500mm, les cellules « air » ont une section de 22mmx1500mm. Les circulations d'air et de fumées se font à contre-courant. Les plaques sont métalliques de faible épaisseur. On admettra qu'à la même température, les propriétés physiques de l'air et des fumées sont identiques

- 1) Calculer le flux de chaleur échangé et la température de sortie de l'air
- 2) Calculez les vitesses moyennes de l'air et des fumées. Ces vitesses sont-elles les même à l'entrée et à la sortie de la cellule ?
- 3) Calculer le coefficient d'échange par convection h_a coté air et h_f coté fumées.
- 4) Quelle est la surface d'échange et donc la longueur de réchauffeur nécessaire eu transfert ?
- 5) Quelle serait cette longueur si l'encrassement des plaques a pour effet de multiplier le coefficient d'échange coté fumées par un facteur 0,85.
- 6) Quelle serait cette longueur pour un échangeur encrassé fonctionnant à contre-courant ?

Tableau 1: propriété de l'air à 1 atm

T	ρ	c_p	λ	μ	α	Pr
°C	kg/m ³	J.kg ⁻¹ K ⁻¹	W.m ⁻¹ K ⁻¹	10 ⁻⁵ Pa.s ⁻¹	10 ⁻⁷ m ² .s ⁻¹	
0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	1,127	1007	0,0272	1,90	2,40	0,70
60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,70
80	0,999	1010	0,0302	2,09	3,00	0,70
100	0,946	1012	0,0318	2,18	3,32	0,69
120	0,898	1014	0,0333	2,27	3,66	0,69
140	0,854	1016	0,0345	2,34	3,98	0,69
160	0,815	1019	0,0359	2,42	4,32	0,69
180	0,779	1022	0,0372	2,50	1,67	0,69
200	0,746	1025	0,0386	2,57	5,05	0,68
220	0,700	1028	0,0399	2,64	5,43	0,68
240	0,688	1032	0,0412	2,72	5,80	0,68
260	0,662	1036	0,0425	2,79	6,20	0,68
280	0,638	1040	0,0437	2,86	6,59	0,68
300	0,616	1045	0,0450	2,93	6,99	0,68

Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

TD N°2

On veut utiliser un échangeur de chaleur pour refroidir en continu un débit de 20 000 kg/h d'un fluide caloporteur de 90°C à 50°C. On dispose pour cela d'un débit d'eau de 15 000 kg/h à 15°C.

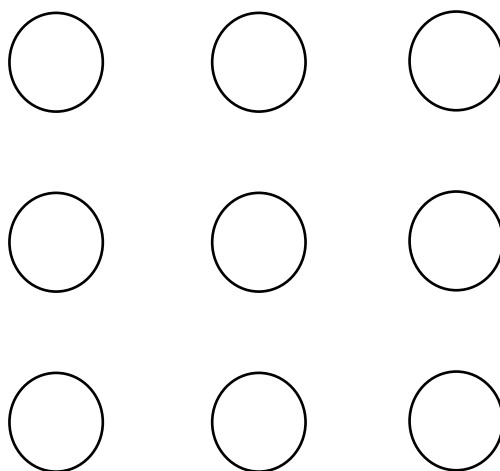
- 1) Calculer la température de sortie de l'eau et la surface d'échange nécessaire dans les cas suivants en utilisant la méthode ε -NUT
 - a. Echangeur tubulaire simple co-courant
 - b. Echangeur tubulaire simple à contre-courant
 - c. Echangeur de type 1-2
 - d. Echangeur de type 2-4
 - e. Echangeur à courant croisé à deux fluides non brassés
- 2) Reprendre 1a) pour le caloporteur à 40°C en sortie. Calculer la température limite que l'on peut obtenir avec un échangeur à co-courant

Données : $C_p = 2100 \text{ J/kg/K}$ et $h = 2000 \text{ W/m}^2/\text{K}$

Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

TD N°3 : calcul d'un évaporateur noyé

On considère un échangeur tubulaire, supposé parfaitement isolé, comportant 100 tubes de cuivre de 2,4m de long de 10mm de diamètre intérieur et 13mm de diamètre extérieur, répartis dans la section de l'échangeur suivant un pas carré d'entraxe 20mm.



A l'intérieur des tubes se vaporise un fluide frigorigène, à l'extérieur des tubes et parallèlement à ceux-ci circule de l'air à refroidir.

1. Calculer le diamètre équivalent coté air
2. Pour quelle valeur du débit d'air y a-t-il passage du laminaire au turbulent ?
3. Un débit d'air de 900 kg/h pénètre à 30°C dans l'échangeur et on veut qu'il en sorte à 10°C. Quelle doit être la température d'évaporation du fluide frigorigène ?
4. Calculer alors le rendement de l'échangeur

Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

TD N°4 : dimensionnement d'un condenseur

On veut récupérer la chaleur extraite du condenseur d'une machine frigorifique pour chauffer un débit d'eau de 2m³/h de 40°C à 80°C. La température de condensation du fluide frigorigène (R114) est 85°C. Calculer les dimensions d'un échangeur de chaleur capable d'assurer ce chauffage.

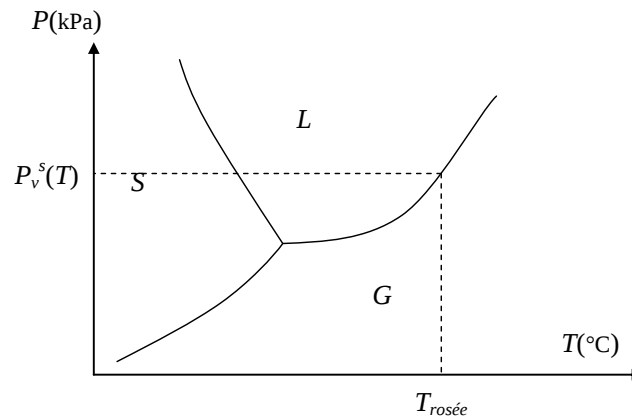
Données :

- L'eau circule dans des tubes en cuivre de diamètre 10/12mm.
- La vitesse de l'eau dans les tubes doit être de l'ordre de 1m/s pour limiter les pertes de charge tout en garantissant un bon coefficient de transfert de chaleur par convection.
- La longueur de l'échangeur doit être inférieure à 3m pour des raisons d'encombrement.
- Propriétés physiques du R114 liquide entre 60°C et 85°C :
 - $\rho_L = 1578,3 - 3,9468T \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$
 - $\lambda_L = 0,0762 - 0,000296T \text{ (W.m}^{-1}.K^{-1}\text{)}$
 - $\mu_L = (0,4155 - 0,0026T) \cdot 10^{-3} \text{ (kg.m}^{-1}.s^{-1}\text{)}$
 - $\Delta H = 140,46 - 0,431T \text{ (kJ.kg}^{-1}\text{)}$

Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

TD N°5 : Condensation de fumées

Le problème de recondensation des fumées dans le conduit d'évacuation (cheminée, échangeurs) est important d'un point de vue industriel en termes de sécurité, car en présence de soufre, il se condense également de l'acide sulfurique qui peut ronger les installations. Le point de rosée s'obtient par la consultation des « Steam Tables Table A1 ci-jointes.



Exercice :

On considère la combustion de propane avec 50% d'excès d'air. On obtient des fumées à la pression $P_f = 97 \text{ kPa}$.

1. Composition des fumées
2. Température de rosée des fumées
3. Fraction de vapeur qui se condense si $T_{\text{paroi}} = 20^\circ\text{C}$

Echangeurs de chaleur et récupération de la chaleur fatale

TD N°6 : Ecoulements diphasiques en conduites

Exercice n°1 : Application des méthodes de Taitel-Dukler et Lockhart-Martinelli

Un écoulement eau-air circule en régime permanent établi dans une conduite horizontale lisse de diamètre $D = 6 \text{ cm}$. Les masses volumiques et viscosités dynamiques de l'air et de l'eau sont, respectivement, de 1.2 kgm^{-3} et 1000 kgm^{-3} , et de $1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$ et 10^{-3} Pa s . La vitesse superficielle de l'eau est $J_L = 10 \text{ ms}^{-1}$ et le débit d'air est de $0.014 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. On prendra $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

1. Calculer le paramètre de Martinelli X (les coefficients de perte de charge λ_G et λ_L seront évalués par la formule de Blasius)
2. Identifier le régime d'écoulement
3. Evaluer la chute de pression par unité de longueur de conduite
4. Evaluer la fraction volumique α_G

Exercice n°2 : Ecoulement en conduite horizontale : comparaison de méthodes

On s'intéresse à un écoulement air-eau établi, stationnaire en moyenne, en conduite horizontale lisse de diamètre $D = 50 \text{ mm}$. Le débit d'air est fixé à $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. La tension superficielle eau/air est de 0.075 Nm^{-1} , les autres propriétés physiques de l'air et de l'eau sont les mêmes que dans l'exercice précédent. On prendra $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$.

1. Quels régimes d'écoulements va-t-on rencontrer en augmentant progressivement le débit d'eau ? Faire un schéma clair pour chaque cas, en indiquant approximativement le débit d'eau correspondant.

2. Estimer la perte de charge par unité de longueur dans le cas où le débit massique d'eau est de 2 kg.s^{-1} , en comparant les résultats obtenus par les méthodes de Lockhart-Martinelli, de Storek-Brauer et de Garcia.

Exercice n°3 : Analyse d'un écoulement en conduite verticale

On considère un écoulement air-eau établi en conduite verticale. L'écoulement est co-courant ascendant. La conduite, de diamètre $D = 30 \text{ mm}$, est supposée lisse. Le débit d'air est de 0.025 kg.s^{-1} , le débit d'eau est de 0.2 kg.s^{-1} . Les propriétés physiques des deux fluides sont les mêmes que dans l'exercice précédent, et on prendra $g = 9.8 \text{ m.s}^{-2}$.

1. Quel est le régime d'écoulement ?
2. En utilisant l'abaque de Martinelli, déterminer :
 - (a) le gradient de pression dû au frottement ;
 - (b) le gradient de pression total ;
 - (c) le "taux de vide" ;
 - (d) en déduire l'épaisseur du film liquide à la paroi (en supposant qu'on soit en régime d'écoulement annulaire...).

Exercice n°4 : Ecoulement liquide-vapeur

Etablir l'expression générale de la différence de pression $\Delta p = p(0) - p(L)$ entre l'entrée ($z = 0$) et la sortie ($z = L$) d'une conduite dans laquelle circule un mélange liquide-vapeur en cours de changement de phase, en fonction du coefficient multiplicateur $\Phi_{L0}(x)$ et du titre massique $x(z)$, où z désigne la coordonnée axiale de la conduite.

En admettant que la fonction $x(z)$ est linéaire, montrer que la chute de pression due au frottement,

Δp_f , s'exprime par :

$$\Delta p_f = - \left(\frac{dp}{dz} \right)_{L0} \frac{L}{x(L) - x(0)} \int_{x(0)}^{x(L)} \Phi_{L0}^2(x) dx$$