# Université de Carthage \*\*\*\*



### Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria

Année Universitaire 2022-2023

# **EXAMEN**

# Session principale

Matière: Transfert thermique Documents Autorisés: NON

Classes: 2TA Enseignants: Dr.. Dorra Lounissi

Dr. Sana Kordoghli

**Durée :** 1h30 **Date :** 04/01/2023

### Exercice 1 (6 points)

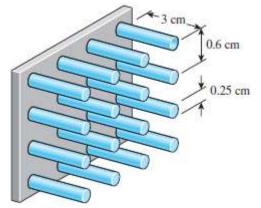
Une surface chaude à 100 ° C est refroidie en attachant des ailettes en aluminium de 3 cm de long et de 0,25 cm de diamètre chacune ( $\lambda = 237$  W / m. K), La distance entre les centres des ailettes est de 0,6 cm (voir figure)

Si la température du milieu environnant est de 30  $^{\circ}$  C, et le coefficient de convection entre les surfaces et le milieu ambiant est de 35 W /  $m^2$ .K.

1- Déterminer le flux de chaleur dégagée par une surface carrée de section S = 1m\*1mde la plaque.

2- Déterminer alors ces ailettes.

l'effectivité globale de



### Exercice 2 (8 points)

Un collecteur solaire est constitué d'un tube de cuivre horizontal de diamètre 5 cm et d'épaisseur négligeable enfermé dans un mince tube de verre concentrique de 9 cm de diamètre. Le collecteur reçoit un flux de chaleur radiatif de source solaire. L'eau est chauffée en traversant

### Université de Carthage

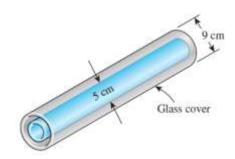


## Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria

#### Année Universitaire 2022-2023

le tube, et l'espace annulaire entre le tube de cuivre et de verre est rempli d'air immobilisé à une pression de 1 atm. Par temps clair, à une température extérieur est égale à 25°C les températures des surfaces du tube de cuivre et de verre sont mesurées être 65°C et 35°C, respectivement.

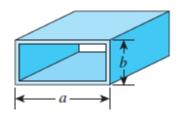
- 1- Déterminer le flux de chaleur  $\Phi_{cv\ ext}$  par unité de longueur perdu par convection vers l'extérieur ?
- 2- Pour un débit de circulation d'eau égale à 10<sup>-5</sup> kg/s, déterminer le coefficient de convection à l'intérieur du tube de cuivre si la température moyenne de l'eau à l'intérieur du tube est estimée être 35°C. En déduire le flux de chaleur par unité de longueur Φ<sub>cv int</sub> transféré par le tube en cuivre à l'eau.
- 3- Comparer les deux flux et interpréter.



### Exercice 3 (6 points)

Considérons un tube rectangulaire lisse de 10 m de long, avec a = 50 mm et b = 25 mm, qui est maintenu à une constante température de surface. L'eau liquide entre dans le tube à  $20^{\circ}$ C avec un débit massique de 0,01 kg/s.

Déterminez la température nécessaire de la surface du tube pour chauffer l'eau jusqu'à la température de sortie souhaitée de 80°C. (On utilisera les propriétés de l'eau à la température moyenne entre l'entrée et la sortie).





### Université de Carthage

\*\*\*\*

# Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria \*\*\*\*

### Année Universitaire 2022-2023

#### Annexe 1

### Empirical correlations for the average Nusselt number for natural convection over surfaces

Geometry	Characteristic length L <sub>c</sub>	Range of Ra	Nu			
Vertical plate	L	104-109 1010-1013 Entire range	$\begin{array}{ll} \text{Nu} = 0.59 \text{Ra}_L^{\text{jris}} & \text{(9-}\\ \text{Nu} = 0.1 \text{Ra}_L^{\text{in}} & \text{(9-}\\ \text{Nu} = \left\{0.825 + \frac{0.387 \text{Ra}_L^{\text{jris}}}{1 + (0.492 \text{Pr})^{\text{Oto}} 1^{\text{NCI}}}\right\}^2 & \text{(9-}\\ \text{(complex but more accurate)} \end{array}$			
Inclined plate	L		Use vertical plate equations for the upper surface of a cold plate and the lower surface of a hot plate ${\rm Replace}\ g\ {\rm by}\ g\ {\rm cos}\theta  {\rm for} 0<\theta<60^\circ$			
Horizontal plate (Surface area A and perimeter p) (a) Upper surface of a hot plate (or lower surface of a cold plate)  Hot surface  T,	<b>A</b> <sub>*</sub> /p	10*-10* 10*-10*1	$\begin{aligned} Nu &= 0.59 Ra_L^{10} \\ Nu &= 0.1 Ra_L^{25} \end{aligned}$	(9-22) (9-23)		
(b) Lower surface of a hot plate (or upper surface of a cold plate)  Hot surface		10=-10:1	$Nu=0.27Ra_{\chi}^{1r4}$	(9-24)		
Vertical cylinder	L		A vertical cylinder can be treated as a vertical plate when $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{36}}$			
Horizontal cylinder	D	$Ra_D \le 10^{12}$	$Nu = \left\{0.6 + \frac{0.387Ra_0^{18}}{[1 + (0.559/Pr)^{(816)}]^{8377}}\right\}^2$	(9-25)		
Sphere	D	$Ra_B \le 10^{11}$ (Pr $\ge 0.7$ )	$Nu = 2 + \frac{0.589 R u_0^{346}}{[1 + (0.4699 Pr)^{916}]^{40}}$	(9–26)		

### Propriétés de l'eau à la pression atmosphérique 1atm

Topricies de l'eau à la pression atmospherique fatin								
Temp °C	Masse volumique ρ(kg/m3)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	Conductivité λ (W/m.K)	Viscosité dynamique μ (kg/m.s)	Viscosité Cinématique ν (m²/s)	Pr		
10	999,7	4,1952	0,57878	1305,9×10 <sup>-6</sup>	13,063×10 <sup>-7</sup>	9,4656		
20	998,21	4,1841	0,59801	1001,6×10 <sup>-6</sup>	10,034×10 <sup>-7</sup>	7,0078		
30	995,65	4,1798	0,61439	797,22×10 <sup>-6</sup>	8,0071×10 <sup>-7</sup>	5,4236		
40	992,22	4,1794	0,62849	652,73×10 <sup>-6</sup>	6,5785×10 <sup>-7</sup>	4,3406		
50	988,04	4,1813	0,64062	546,52×10 <sup>-6</sup>	5,5313×10 <sup>-7</sup>	3,5671		
60	983,2	4,185	0,651	466,04×10 <sup>-6</sup>	$4,74\times10^{-7}$	2,9959		
70	977,76	4,1901	0,65976	403,55×10 <sup>-6</sup>	4,1273×10 <sup>-7</sup>	2,5629		
80	971,79	4,1968	0,66699	354,05×10 <sup>-6</sup>	3,6433×10 <sup>-7</sup>	2,2277		
90	965,31	4,2052	0,67279	314,18×10 <sup>-6</sup>	3,2547×10 <sup>-7</sup>	1,9637		





# Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria

#### Année Universitaire 2022-2023

### Annexe 2

Amicac 2							
Properties of	air at 1 atm pre	ssure					
		Specific	Thermal	Thermal	Dynamic	Kinematic	Prandt
Temp.	Density	Heat	Conductivity	Diffusivity	Viscosity	Viscosity	Numbe
<i>T</i> , °C	ρ, kg/m³	c <sub>p</sub> , J/kg⋅K	k, W/m⋅K	α, m²/s	μ, kg/m-s	ν, m²/s	Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 <sup>-6</sup>	8.636 × 10 <sup>-6</sup>	3.013 × 10=6	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10=6	1.189 × 10 <sup>-5</sup>	5.837 × 10 <sup>-6</sup>	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 <sup>-5</sup>	1.474 × 10 <sup>-5</sup>	9.319 × 10 <sup>-6</sup>	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356 × 10 <sup>-5</sup>	1.527 × 10 <sup>-5</sup>	1.008 × 10 <sup>-5</sup>	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465 × 10 <sup>-5</sup>	1.579 × 10 <sup>-5</sup>	1.087 × 10 <sup>-5</sup>	0.7425
-20	1.394	1004	0.02134	1.578 × 10 <sup>-5</sup>	1.630 × 10 <sup>-5</sup>	1.169 × 10 <sup>-5</sup>	0.7423
-10	1.341	1005	0.02211	1.696 × 10 <sup>-5</sup>	1.680 × 10 <sup>-5</sup>	1.252 × 10 <sup>-5</sup>	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818 × 10 <sup>-5</sup>	1.729 × 10 <sup>-5</sup>	1.338 × 10 <sup>-5</sup>	0.7362
5	1.269	1006	0.02364	1.880 × 10 <sup>-5</sup>	1.754 × 10 <sup>-5</sup>	1.382 × 10 <sup>-5</sup>	0.7352
10	1.246	1006	0.02439	1.944 × 10 <sup>-5</sup>	1.778 × 10 <sup>-5</sup>	1.426 × 10 <sup>-5</sup>	0.7336
		1006		2.009 × 10 <sup>-5</sup>	1.802 × 10 <sup>-5</sup>	1.426 × 10 -5	0.7323
15	1.225 1.204		0.02476	2.074 × 10 <sup>-5</sup>	1.802 × 10 ° 1.825 × 10 ° 5	1.516 × 10 <sup>-5</sup>	0.7323
20		1007	0.02514				
25	1.184	1007	0.02551	2.141 × 10 <sup>-5</sup>	1.849 × 10 <sup>-5</sup>	1.562 × 10 <sup>-5</sup>	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208 × 10 <sup>-5</sup>	1.872 × 10 <sup>-5</sup>	1.608 × 10 <sup>-5</sup>	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277 × 10 <sup>-5</sup>	1.895 × 10 <sup>-5</sup>	1.655 × 10 <sup>-5</sup>	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346 × 10 <sup>-5</sup>	1.918 × 10 <sup>-5</sup>	1.702 × 10 <sup>-5</sup>	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416 × 10 <sup>-5</sup>	1.941 × 10 <sup>-5</sup>	1.750 × 10 <sup>-5</sup>	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487 × 10 <sup>-5</sup>	1.963 × 10 <sup>-5</sup>	1.798 × 10 <sup>-5</sup>	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632 × 10 <sup>-5</sup>	2.008 × 10 <sup>-5</sup>	1.896 × 10 <sup>-5</sup>	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780 × 10 <sup>-5</sup>	2.052 × 10 <sup>-5</sup>	1.995 × 10 <sup>-5</sup>	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931 × 10 <sup>-5</sup>	2.096 × 10 <sup>-5</sup>	2.097 × 10 <sup>-5</sup>	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	2.139 × 10 <sup>-5</sup>	2.201 × 10 <sup>-5</sup>	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	2.181 × 10 <sup>-5</sup>	2.306 × 10 <sup>-5</sup>	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	2.264 × 10 <sup>-5</sup>	2.522 × 10 <sup>-5</sup>	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	2.345 × 10 <sup>-5</sup>	2.745 × 10 <sup>-5</sup>	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	2.420 × 10 <sup>-5</sup>	2.975 × 10 <sup>-5</sup>	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	2.504 × 10 <sup>-5</sup>	3.212 × 10 <sup>-5</sup>	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	2.577 × 10 <sup>-5</sup>	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	2.760 × 10 <sup>-5</sup>	4.091 × 10 <sup>-5</sup>	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871 × 10 <sup>-5</sup>	2.934 × 10 <sup>-5</sup>	4.765 × 10 <sup>-5</sup>	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	3.101 × 10 <sup>-5</sup>	5.475 × 10 <sup>-5</sup>	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	3.261 × 10 <sup>-5</sup>	6.219 × 10 <sup>-5</sup>	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	6.997 × 10 <sup>-5</sup>	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	3.563 × 10 <sup>-5</sup>	7.806 × 10 <sup>-5</sup>	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	3.846 × 10-5	9.515 × 10=5	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	4.111 × 10-5	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855 × 10-4	4.362 × 10 <sup>-5</sup>	1.326 × 10-4	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122 × 10 <sup>-4</sup>	4.600 × 10 <sup>-5</sup>	1.529 × 10-4	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398 × 10 <sup>-4</sup>	4.826 × 10 <sup>-5</sup>	1.741 × 10-4	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908 × 10 <sup>-4</sup>	5.817 × 10 <sup>-5</sup>	2.922 × 10-4	0.7478

On donne pour les écoulements forcés internes :

- Régime Turbulent :  $Nu_D = 0.023$ .  $Re^{0.8}$ .  $Pr^{1/3}$  pour  $0.5 \le Pr \le 100$ - Régime laminaire :  $Nu_D = 1.86$ .  $(Re. Pr)^{0.33}$ .  $\left(\frac{D}{L}\right)^{0.33}$ .  $\left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.14}$  pour  $Re. Pr. \frac{D}{L} > 1.86$ 10



## Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria

#### Année Universitaire 2022-2023

#### **Correction Examen 2022-2023**

### Exercice 1:

**1-** Le nombre d'ailette pour S=1 m<sup>2</sup>:  $\frac{1}{0.006}$  = 166.66  $\Rightarrow N_{ail}$  = 166 \* 166 = 27556 ailettes

Le flux dégagé par une seule ailette :

$$\Phi = \eta_{ail} * A_{ail} * h * (T_b - T_{\infty}) \text{ or } \eta_{ail} = \frac{\tanh(m*L_c)}{m*L_c}$$
 D'après les abaques.

Avec: 
$$m = \sqrt{\frac{4*h}{(\lambda*D)}}$$
;  $L_c = L + D/4$  et  $A_{ail} = \pi D L_c$ 

Ainsi le flux total dégagé par la surface S est  $\Phi_T = \Phi * N_{ail}$ 

A.N : m= 15,3716271 m-1; 
$$L_c$$
 =0,030625 m ;  $A_{ail}$  =0,00024041 m-2;  $\eta_{ail}$  = 0,932

$$\Phi = 0,549 \,\mathrm{W} , \Phi_T = 15128,94 \,\mathrm{W}$$

2. 
$$\varepsilon = \frac{\mathit{Flux}\,\mathit{d\'egag\'e}\,\mathit{par}\,\mathit{les\,ailettes}}{\mathit{flux}\,\mathit{d\'egag\'e}\,\mathit{sans\,ailettes}}$$
  $\Phi_{\mathit{sans\,ail}} = s*h*(T_b-T_\infty)$ 

A.N : 
$$\varepsilon = 6,175$$

#### Exercice 2

1- 
$$\Phi_{cv \, ext} = h * S * (T_{verre} - T_{\infty})$$

 $Convection\ naturelle\ autour\ d'un\ cyclindre\ horizontal$ 

$$Ra = Gr * Pr = \frac{g \cdot \beta}{v^2} \cdot (T_{verre} - T_{\infty}) \cdot D^3$$

$$T_f = \frac{T_{verre} - T_{\infty}}{2} = 30^{\circ}C : \beta = \frac{1}{T_f} = 0.0033; \nu = 1.608 \frac{10^{-5}m^2}{s}; Pr$$

$$k = 0.02588 W/(m.K)$$

$$\Rightarrow Ra = 6.77 \ 10^5 \le 10^{12}$$

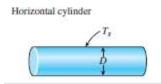


### Université de Carthage

\*\*\*\*

## Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria

#### Année Universitaire 2022-2023



D

$$Nu = \left\{0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right\}^2$$

Nu = 13.08

$$h = 3.7612 \frac{W}{m^2.K}$$

$$\Rightarrow \Phi_{cv \ ext} = 10.63 \ W/m$$

2- 
$$T_f = \frac{T_{cuivre} - T_m}{2} = 50^{\circ}C$$
;  $\rho = 988,04 \frac{\text{kg}}{\text{m3}}$ ;  $k = 0,64062 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ ;  $\mu = 546,52 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ ;  $P_r = 3,5671$ 

$$Re = \frac{4 * \dot{m}}{\pi . D. \nu} = 460.6 \implies régime la minaire$$

Régime laminaire : 
$$Nu_D = 1.86$$
.  $(Re. Pr)^{0.33}$ .  $\left(\frac{D}{L}\right)^{0.33}$ .  $\left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.14}$  pour  $Re. Pr. \frac{D}{L} > 10$ 

Condition vérifiée,  $Nu_D = 8.22 \ (\mu_s (65^{\circ}C) = 434.795 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})$ 

$$h = 101.09 \frac{W}{m^2. K}$$

$$\Rightarrow \Phi_{cv int} = 555.49 W/m$$

### Exercice 3

$$Tm = (Te+Ts)/2 = 50^{\circ}C$$
,

$$\dot{Q} = \text{h. S}_{\text{latérale}}.(\text{Tsurface-Tm}) = \dot{m}.\text{Cp.}(\text{Ts-Te})$$

Cp = 4,1813 kJ/(kg.K), 
$$\lambda = 0.64062$$
 (W/m.K),  $\nu = 5.5313 \times 10^{-7}$  (m<sup>2</sup>/s), Pr = 3.5671

$$\dot{Q} = 0.01 * 4.1813 * (80 - 20) = 2.5 \, kW$$

$$Tsurface = \frac{\dot{Q}}{h. S_{latérale}} + Tm$$

h? Re = 12075.28 avec Lc = 4S/P =0.033 m et v =  $\dot{m}/(S*\rho)$ = 0.2024 m/s régime turbulent (Re >2300)

$$Nu = 64,7665403$$
,  $h = 1257,29518 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ 



# Université de Carthage \*\*\*\*

# Ecole Nationale des Sciences et Technologies Avancées de Borj Cedria \*\*\*\*

Année Universitaire 2022-2023