

SOMMAIRE

NOTIONS FONDAMENTALES	1
OBJECTIFS POURSUIVIS	1
NOTION DE TEMPERATURE	2
NOTION DE CHALEUR	3
<i>DÉFINITIONS</i>	3
<i>ECHANGE DE CHALEUR À TRAVERS UNE SURFACE</i>	3
<i>UNITÉS SI ET UNITÉS PRATIQUES</i>	4
EXEMPLES DE RELATIONS TEMPERATURE-CHALEUR	5
<i>CHAUFFAGE D'UN CORPS HOMOGENE</i>	5
<i>INTERACTION ENTRE DEUX CORPS</i>	5
MODES DE TRANSFERT DE CHALEUR	6
<i>CONDUCTION</i>	6
<i>RAYONNEMENT</i>	6
<i>CONVECTION</i>	6
<i>EXEMPLE FAMILIER</i>	7
EXEMPLES CONCRETS DE PROBLEMES THERMIQUES	9
TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION	11
FORMULATION GENERALE	11
<i>ETABLISSEMENT DE L'ÉQUATION DE LA CHALEUR</i>	11
<i>HYPOTHÈSE FONDAMENTALE DE FOURIER</i>	14
<i>LIGNES DE FLUX DANS UN MATÉRIAU ISOTROPE</i>	17
<i>EQUATION GÉNÉRALE DE LA CONDUCTION</i>	17
<i>CONDITIONS AUX LIMITES</i>	19
<i>SIMILITUDE DES PROBLÈMES DE CONDUCTION</i>	22
CONDUCTION EN REGIME PERMANENT	23
<i>DÉFINITION</i>	23
<i>ECOULEMENT UNIDIRECTIONNEL</i>	24
<i>ANALOGIE ÉLECTRIQUE</i>	25
<i>PROBLÈME DU TUBE - TUBE COMPOSÉ</i>	28
<i>ETUDE D' AILETTE - BILAN THERMIQUE</i>	31
<i>DIFFÉRENCES FINIES - PROBLÈME BIDIRECTIONNEL</i>	34
<i>TD CONDUCTION EN RÉGIME PERMANENT</i>	37

CONDUCTION EN REGIME VARIABLE	41
<i>PROBLÈME GÉNÉRAL</i>	41
<i>PROBLÈME UNIDIRECTIONNEL</i>	42
<i>MÉTHODES DE RÉOLUTION DU PROBLÈME</i>	44
<i>MILIEU À TEMPÉRATURE UNIFORME</i>	48
<i>MASSIF SEMI INFINI</i>	49
<i>MASSIF SEMI INFINI EN RÉGIME PÉRIODIQUE</i>	54
<i>MUR PLAN INFINI</i>	56
<i>CYLINDRE PLEIN INFINI</i>	59
<i>SPHÈRE PLEINE</i>	61
<i>TD CONDUCTION EN RÉGIME VARIABLE</i>	63
TRANSFERT DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT	65
LOIS PHYSIQUES DU RAYONNEMENT	65
<i>EMISSION D'ÉNERGIE PAR RAYONNEMENT</i>	65
<i>RÉCEPTION D'ÉNERGIE PAR RAYONNEMENT</i>	67
<i>DÉFINITIONS RELATIVES AUX CORPS OPAQUES</i>	68
<i>CORPS À ÉMISSION DIFFUSE ISOTROPE</i>	72
<i>LOIS DE RAYONNEMENT DU CORPS NOIR</i>	75
<i>CORPS GRIS À DIFFUSION ISOTROPE</i>	83
<i>CORPS COLORÉS ET QUELQUES DONNÉES</i>	85
<i>TD RAYONNEMENT</i>	89
RAYONNEMENT MUTUEL DE SURFACES OPAQUES	92
<i>PROBLÈME GÉNÉRAL</i>	92
<i>PLANS PARALLÈLES INFINIS</i>	92
<i>PROBLÈME DE L'ÉCRAN</i>	94
<i>SPHÈRES CONCENTRIQUES</i>	95
<i>SURFACES NOIRES FACTEURS DE FORME</i>	98
<i>EVALUATION DES FACTEURS DE FORME</i>	103
<i>SURFACES GRISES - MÉTHODE DES RADIOSITÉS</i>	105
<i>TD RAYONNEMENT ENTRE SURFACES</i>	108

TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONVECTION	111
ETUDE PHYSIQUE ET DÉFINITIONS	111
<i>COEFFICIENT LOCAL DE CONVECTION</i>	111
<i>GÉOMÉTRIE FERMÉE OU OUVERTE</i>	111
<i>RÉGIMES D'ÉCOULEMENT LAMINAIRE OU TURBULENT</i>	113
<i>CONVECTION NATURELLE ET CONVECTION FORCÉE</i>	114
<i>EQUATIONS GÉNÉRALES - SIMILITUDES</i>	115
<i>CONDITIONS AUX LIMITES</i>	120
<i>RÉCAPITULATIF DES NOMBRES SANS DIMENSION</i>	122
<i>INTERPRÉTATION CORPUSCULAIRE</i>	123
RÉSULTATS CONCERNANT LA CONVECTION FORCÉE	127
<i>LE LONG D'UNE PLAQUE EN RÉGIME LAMINAIRE</i>	127
<i>LE LONG D'UNE PLAQUE EN RÉGIME TURBULENT</i>	131
<i>ÉCOULEMENT PERPENDICULAIRE À UN TUBE</i>	131
<i>GÉOMÉTRIE OUVERTE – RÉCAPITULATIF</i>	133
<i>DANS LES CONDUITES EN RÉGIME LAMINAIRE</i>	134
<i>DANS LES CONDUITES EN RÉGIME TURBULENT</i>	140
<i>DANS LES CONDUITES – RÉCAPITULATIF</i>	146
<i>AUTOUR DE PLUSIEURS TUBES PARALLÈLES</i>	147
<i>ORDRE DE GRANDEUR EN CONVECTION FORCÉE</i>	150
RÉSULTATS CONCERNANT LA CONVECTION NATURELLE	151
<i>PLAQUE PLANE VERTICALE</i>	151
<i>CYLINDRE VERTICAL</i>	156
<i>PLAQUE HORIZONTALE</i>	158
<i>CYLINDRE HORIZONTAL</i>	161
<i>CONVECTION EN ESPACE CONFINÉ</i>	162
<i>ORDRE DE GRANDEUR EN CONVECTION NATURELLE</i>	166
<i>CONVECTION NATURELLE – RÉCAPITULATIF</i>	167
CONVECTION EN ÉCOULEMENT DIPHASIQUE	168
<i>MÉCANISME LOCAL DE L'ÉCOULEMENT DIPHASIQUE</i>	168
<i>EBULLITION DANS UN TUBE VERTICAL</i>	174
<i>LA CONDENSATION</i>	180
<i>ORDRE DE GRANDEUR</i>	181
<i>APPLICATION PRATIQUE : LE CALODUC</i>	181
<i>TD CONVECTION</i>	183

INTRODUCTION AUX ECHANGEURS DE CHALEUR	185
GENERALITES ET HYPOTHESES PRINCIPALES	185
<i>GÉNÉRALITÉS</i>	185
<i>HYPOTHÈSES ET NOTATIONS</i>	184
RELATIONS FONDAMENTALES - TYPES D'ECHANGEUR	186
<i>RELATIONS FONDAMENTALES</i>	186
<i>ECART MOYEN LOGARITHMIQUE</i>	189
<i>EFFICACITÉ / NUT ECHANGEUR CONTRE COURANT</i>	190
<i>ALLURE DES TEMPÉRATURES - CONTRE COURANT</i>	190
<i>EFFICACITÉ / NUT - ECHANGEUR CO COURANT</i>	194
<i>ALLURE DES TEMPÉRATURES - CO COURANT</i>	194
<i>ECHANGEURS QUELCONQUES</i>	195
<i>TD ECHANGEURS</i>	198
INDEX	200
BIBLIOGRAPHIE	203
ANNEXE Propriétés thermo-physiques des matériaux	205

NOTATIONS PRINCIPALES

Symboles latins	Symboles grecs
A - surface [m^2]	α - absorptivité
a - diffusivité thermique [m^2s^{-1}]	β - coef. dilatation volumique [K^{-1}]
b - effusivité thermique [$J.m^{-2}K^{-1}s^{-1/2}$]	δ - épaisseur de couche limite [m]
c - capacité thermique [$J.kg^{-1}K^{-1}$]	δ - épaisseur de pénétration [m]
c_p - capacité thermique à p cste [$J.kg^{-1}K^{-1}$]	Δ - direction
c_v - capacité thermique à v cst [$J.kg^{-1}K^{-1}$]	ΔT_{LM} - écart moyen logarithmique [K]
C - débit de capacité thermique massique [$W.K^{-1}$]	ε - émissivité
D - diamètre [m]	Φ - flux thermique [W]
$E_{\lambda\Delta}$ - éclairement monochromatique directionnel [$W.\mu m^{-1}m^{-2}sr^{-1}$]	φ - densité de flux [$W.m^{-2}$]
E - efficacité d'un échangeur	λ - conductivité [$W.m^{-1}K^{-1}$]
F_{ij} - facteur de forme	λ - longueur d'onde [μm]
G - débit massique unitaire [$kg.m^{-2}s^{-1}$]	μ - viscosité dynamique [$kg.m^{-1}s^{-1}$]
H - hauteur [m]	ν - viscosité cinématique [m^2s^{-1}]
h - coefficient de transfert superficiel [$W.m^{-2}K^{-1}$]	ν - fréquence [Hz]
h - enthalpie massique [$J.kg^{-1}$]	ρ - masse volumique [$kg.m^{-3}$]
i - angle d'incidence [rad]	τ - transmittivité
$I_{\lambda\Delta}$ - intensité monochromatique directionnelle [$W.\mu m^{-1}sr^{-1}$]	Ω - angle solide [sr]
K - énergie cinétique [J]	Ω - dissipation visqueuse [$W.m^{-3}$]
K - matrice des conductivités [$W.m^{-1}K^{-1}$]	π - puissance volumique [$W.m^{-3}$]
ℓ - longueur caractéristique [m]	Σ - aire de section droite [m^2]
$L_{\lambda\Delta}$ - luminance monochromatique directionnelle [$W.\mu m^{-1}m^{-2}sr^{-1}$]	θ_r - température de mélange [K]
M_λ - émittance monochromatique [$W.\mu m^{-1}m^{-2}$]	
M - masse molaire [$kg.mole^{-1}$]	
m - masse [kg]	
\dot{m} - débit massique [$kg.s^{-1}$]	
\vec{n} - vecteur normal à une surface	
P - périmètre [m]	
Q - quantité de chaleur [J]	
\dot{Q} - puissance thermique [W]	
R - résistance thermique [$K.W^{-1}$]	
S - section droite [m^2]	
t - temps [s]	
t - température du fluide froid (échangeur) [K]	
T - température [K]	
	Indices
	λ - relatif à une longueur d'onde
	Δ - relatif à une direction
	e - entrée échangeur
	s - sortie échangeur
	Exposant

U - énergie interne [J]	θ - relatif au corps noir
V - volume [m ³]	
- puissance mécanique [W]	

Nombres sans dimension

Bi - nombre de Biot
Ec - nombre de Eckert
Fo - Nombre de Fourier
Gr - nombre de Grashof
Gz - nombre de Graetz
Nu - nombre de Nusselt
NUT - nombre d'unités de transfert
Pe - nombre de Péclet ($Re.Pr$)
Pr - nombre de Prandtl
Ra - nombre de Rayleigh ($Gr.Pr$)
Re - nombre de Reynolds
Ri - nombre de Richardson
St - nombre de Stanton
Ja - nombre de Jakob

Constantes

c_0 - vitesse de la lumière dans le vide - 299 792 458 m.s ⁻¹
h - constante de Planck - 6,626176.10 ⁻³⁴ J.s
k - constante de Boltzmann - 1,380662.10 ⁻²³ J.K ⁻¹
σ - constante de Stefan Boltzmann - 5,67032.10 ⁻⁸ W.m ⁻² .K ⁻⁴