

# Table des matières

<b>THERMIQUE ET THERMODYNAMIQUE .....</b>	<b>7</b>
BREF APERÇU HISTORIQUE DE LA THERMIQUE .....	7
<b>PREMIERE PARTIE : RESUME DE COURS</b>	
<b>BILAN THERMIQUE .....</b>	<b>11</b>
1. TEMPERATURE .....	11
2. FLUX ET DENSITE DE FLUX THERMIQUE .....	12
3. PRODUCTION ET STOCKAGE DE L'ENERGIE THERMIQUE .....	13
4. EQUATION FONDAMENTALE DE LA THERMIQUE .....	15
5. EXEMPLES D'APPLICATION .....	16
1. <i>Temps de réponse d'un fusible</i> .....	16
2. <i>Débit de vapeur d'une tranche de centrale nucléaire PWR</i> .....	17
<b>TRANSFERTS THERMIQUES PAR CONDUCTION ET CONVECTION .....</b>	<b>19</b>
1. CONDUCTION THERMIQUE .....	19
1. <i>Mécanismes du transfert conductif</i> .....	19
2. <i>Aspect phénoménologique : loi de Fourier</i> .....	19
3. <i>Equation de propagation de l'énergie thermique par conduction</i> .....	21
2. CONVECTION THERMIQUE .....	22
1. <i>Ecoulement laminaire, écoulement turbulent</i> .....	22
2. <i>Convection forcée, convection libre</i> .....	23
3. <i>Coefficient d'échange convectif : loi de Newton</i> .....	23
4. <i>Théorie de la similitude</i> .....	24
5. <i>Analyse dimensionnelle</i> .....	28
3. EXEMPLES D'APPLICATION .....	29
1. <i>Emballage de packs de bouteilles dans une fardeleuse</i> .....	29
2. <i>Influence de la température sur la résistivité électrique du nichrome</i> .....	30
3. <i>Vérification de la loi de Wiedemann-Franz</i> .....	32
4. <i>Temps d'inertie d'une thermistance CTN</i> .....	33
<b>TRANSFERT THERMIQUE PAR RAYONNEMENT .....</b>	<b>36</b>
1. RAYONNEMENT THERMIQUE ET FLUORESCENCE .....	36
2. GRANDEURS PHOTO-ENERGETIQUES .....	37
2.1. <i>Luminance d'une source</i> .....	37
2.2. <i>Exitance (ou émittance) d'une source</i> .....	38
2.3. <i>Eclairement d'un récepteur</i> .....	39
2.4. <i>Radiosité totale d'une surface</i> .....	39
3. L'ETALON DE RAYONNEMENT : LE CORPS NOIR .....	40
3.1. <i>Loi de Planck : luminance et exitance spectrales du corps noir</i> .....	41
3.2. <i>Loi de déplacement de Wien</i> .....	42
3.3. <i>Loi de Stefan : exitance totale du corps noir</i> .....	43
3.4. <i>Fraction d'exitance du corps noir : <math>F(x)</math></i> .....	43
4. EMISSIVITE SPECTRALE, EMISSIVITE TOTALE .....	44
5. REFLECTIVITE, TRANSMITTIVITE ET ABSORPTIVITE .....	46
6. LOI DE KIRCHHOFF .....	49
7. COEFFICIENT D'ECHANGE « CONVECTO-RADIATIF » .....	49
8. TEMPERATURES CARACTERISTIQUES DU RAYONNEMENT .....	50
8.1. <i>Température de luminance totale (ou « de corps noir ») <math>T_N</math></i> .....	50
8.2. <i>Température de luminance spectrique <math>T_{\lambda p}</math></i> .....	50
8.3. <i>Température de couleur <math>T_C</math></i> .....	51
9. EXEMPLES D'APPLICATION .....	51

9.1.	<i>L'expérience de M. de Buffon</i> .....	51
9.2.	<i>Dimensionnement du filament d'une lampe halogène</i> .....	53
9.3.	<i>Chauffage du scaphandre d'un astronaute</i> .....	55
9.4.	<i>Arc de soudage, coup d'arc</i> .....	58
<b>ECHANGES RADIATIFS ENTRE SURFACES OPAQUES.....</b>		<b>60</b>
1.	FACTEURS DE FORME .....	60
1.1.	<i>Définition et expression</i> .....	60
1.2.	<i>Règles de réciprocité et de complémentarité</i> .....	62
2.	FLUX RADIATIF NET .....	62
3.	ECHANGES RADIATIFS ENTRE SURFACES GRISES SEPARÉES PAR UN MILIEU TRANSPARENT .....	63
3.1.	<i>Calcul des radiosités, températures et flux radiatifs nets</i> .....	63
3.2.	<i>Facteur de forme gris. Analogie électrique</i> .....	65
4.	ECHANGES RADIATIFS ENTRE SURFACES GRISES SEPARÉES PAR UN MILIEU SEMI-TRANSPARENT .....	67
5.	EXEMPLES D'APPLICATION .....	68
5.1.	<i>Cryostat à azote liquide</i> .....	68
5.2.	<i>Coût énergétique d'un recuit d'homogénéisation</i> .....	71
5.3.	<i>Vitrification de déchets d'incinération</i> .....	73
<b>RESISTANCES THERMIQUES.....</b>		<b>79</b>
1.	ANALOGIE ENTRE LA LOI DE FOURIER ET LA LOI D'OHM .....	79
2.	VALIDITE DES SCHEMAS ELECTRIQUES EQUIVALENTS .....	80
3.	EXPRESSION DE QUELQUES RESISTANCES THERMIQUES .....	80
4.	EXEMPLES D'APPLICATION .....	81
4.1.	<i>Chauffage « basse température » par le sol</i> .....	81
4.2.	<i>Maintien du sodium en phase liquide</i> .....	82
4.3.	<i>Encrassement d'un élément de combustible nucléaire</i> .....	83
<b>AILETTES ET SURFACES AILETTÉES .....</b>		<b>86</b>
1.	GENERALITES .....	86
2.	EQUATION FONDAMENTALE DES AILETTES.....	87
3.	RESISTANCE ET EFFICACITE DES AILETTES.....	88
4.	EXEMPLES D'APPLICATION .....	92
4.1.	<i>Protection mécanique et thermique d'un transistor</i> .....	92
4.2.	<i>Radiateur tubulaire à ailettes</i> .....	93
4.3.	<i>Implantation d'ailettes dans un échangeur eau/air</i> .....	95
4.4.	<i>Refroidissement d'un ordinateur sous capot</i> .....	96
<b>CONDUCTION THERMIQUE EN REGIME INSTATIONNAIRE.....</b>		<b>99</b>
1.	MILIEUX THERMIQUEMENT MINCES : $Bi < 0,1$ .....	99
1.1.	<i>Critère de Biot</i> .....	99
1.2.	<i>Relaxation thermique d'un système mince</i> .....	101
2.	MILIEUX THERMIQUEMENT EPAIS : $Bi > 0,1$ .....	101
2.1.	<i>Trempe d'une plaque</i> .....	102
2.2.	<i>Trempe d'un cylindre de grande longueur</i> .....	105
2.3.	<i>Trempe d'une sphère</i> .....	106
2.4.	<i>Trempe de systèmes simples 2D et 3D</i> .....	106
3.	MILIEUX SEMI-INFINIS .....	107
3.1.	<i>Modèle du milieu semi-infini</i> .....	107
3.2.	<i>Transformée de Laplace de l'« équation de la chaleur »</i> .....	108
3.3.	<i>Chocs thermiques</i> .....	109
3.4.	<i>Propagation de signaux thermiques périodiques</i> .....	113
4.	EXEMPLES D'APPLICATION .....	114
4.1.	<i>Stérilisation d'une boîte de conserve</i> .....	114
4.2.	<i>Fermentation d'une couche de compost</i> .....	116
4.3.	<i>Double choc thermique</i> .....	120
4.4.	<i>Préchauffage du sable à l'entrée d'un four de verrier</i> .....	121

<b>LES ECHANGEURS THERMIQUES.....</b>	<b>125</b>
1. ENTHALPIE MASSIQUE D'UN FLUIDE.....	125
2. DEBIT CALORIFIQUE ET COEFFICIENT D'ECHANGE GLOBAL .....	126
3. ENCRASSEMENT : « FOULING FACTOR » .....	127
4. ECHANGEUR DE REFERENCE .....	127
4.1. <i>Écoulements de même sens (co-courant)</i> .....	128
4.2. <i>Écoulements de sens contraires (contre-courant)</i> .....	130
5. EFFICACITE D'UN ECHANGEUR.....	131
6. METHODE DU NTU (NUMBER OF TRANSFER UNITS).....	132
7. DIFFERENCE DE TEMPERATURE MOYENNE LOGARITHMIQUE (LMTD).....	133
8. EXEMPLES D'APPLICATION .....	134
8.1. <i>Régulation thermique d'un transformateur industriel</i> .....	134
8.2. <i>Préchauffage du fuel</i> .....	136
8.3. <i>Economiseur d'une chaudière industrielle</i> .....	137
8.4. <i>Refroidissement d'un moteur à combustion interne</i> .....	139
 <b>SECONDE PARTIE : PROBLEME DE THERMIQUE EN MILIEU INDUSTRIEL</b>	
 P1. TRANSISTOR DE PUISSANCE EN REGIME IMPULSIONNEL.....	143
P2. DIMENSIONNEMENT D'UN RECHAUFFEUR A AIR INDUSTRIEL .....	147
P3. RESISTANCE AU FEU DE STRUCTURES EN ACIER .....	152
P4. MODELE THERMIQUE D'UN COMPRESSEUR ELECTRIQUE .....	156
P5. ABSORPTION D'UN FLUX DE NEUTRONS RAPIDES.....	161
P6. CARACTERISATION D'UNE SONDE A HUILE .....	166
P7. REFROIDISSEMENT DE LA CATHODE D'UN ARC DE SOUDAGE .....	173
P8. MODELISATION D'UN CAPTEUR PHOTOVOLTAÏQUE HYBRIDE .....	178
P9. REGULATION DU REFROIDISSEMENT D'UNE PLAQUE DE VERRE .....	185
P10. PRECHAUFFAGE D'UNE PILE A COMBUSTIBLE.....	190
P11. FREIN A DISQUES AILETTES .....	196
P12. MONTEE EN TEMPERATURE D'UNE LIGNE D'ÉCHAPPEMENT .....	201
P13. COMBUSTION DE DECHETS ENFOUIS .....	208
P14. EMPRISONNEMENT DU RAYONNEMENT ENTRE DEUX AILETTES.....	214
P15. RISQUE D'AUTO-INFLAMMATION SOUS CAPOT AUTOMOBILE.....	220
P16. TREMPE DU CLINKER DANS UN REFROIDISSEUR A GRILLE.....	225
P17. ECHAUFFEMENT DU CARBURANT D'UN VEHICULE HYBRIDE .....	229
P18. CHAUFFAGE DE FERRAILLES DANS UN FOUR ELECTRIQUE .....	234
P19. ENCRASSEMENT D'UNE CHAUDIERE D'INCINERATION .....	240
P20. DECOUPAGE LASER D'UNE PLAQUE EN ALUMINIUM .....	246

**ANNEXES****Annexe A : Propriétés physiques**

A.1 PROPRIETES PHYSIQUES DE SOLIDES METALLIQUES .....	253
A.2 PROPRIETES PHYSIQUES DE SOLIDES NON-METALLIQUES .....	254
A.3 PROPRIETES PHYSIQUES DE L'EAU LIQUIDE SATUREE .....	255
A.4 PROPRIETES PHYSIQUES DE LA VAPEUR D'EAU SATUREE .....	256
A.5 PROPRIETES PHYSIQUES DE L'AIR SEC A LA PRESSION ATMOSPHERIQUE .....	257

**Annexe B : Relations et fonctions mathématiques**

B.1 COEFFICIENTS DE FOURIER.....	258
B.2 FONCTIONS DE BESSEL DE PREMIERE ESPECE.....	259
B.3 TABLE DE TRANSFORMEES DE LAPLACE.....	260
B.4 FONCTION « ERREUR » ET SA COMPLEMENTAIRE .....	261
B.5 FONCTIONS HYPERBOLIQUES .....	262
B.6 METHODES DE RUNGE-KUTTA.....	263

**Annexe C : Tables numériques**

C.1 : FRACTION D'EXITANCE DU CORPS NOIR .....	264
C.2 : TREMPE D'UNE PLAQUE D'EPAISSEUR $2\delta$ .....	265
C.3 : TREMPE D'UN LONG CYLINDRE DE RAYON R.....	266
C.4 : TREMPE D'UNE SPHERE DE RAYON R.....	267
C.5 : FONCTIONS DE BESSEL DE 1 <sup>ERE</sup> ESPECE, D'ORDRES 0 ET 1 .....	268
C.6 : FONCTION « ERREUR » ET SA COMPLEMENTAIRE .....	269

**Annexe D : Corrélations entre nombres adimensionnels**

D.1 CONVECTION LIBRE EXTERNE.....	270
D.2 CONVECTION FORCEE EXTERNE .....	271
D.3 CONVECTION FORCEE INTERNE .....	271

**Annexe E : Références bibliographiques**

E. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	272
--------------------------------------	-----

<b>INDEX.....</b>	<b>273</b>
-------------------	------------