

Table des matières

Avant-propos	1
Chapitre 1. Transfert de chaleur par rayonnement entre surfaces.	3
1.1. Généralités : définitions	3
1.1.1. Nature du rayonnement	3
1.1.2. Définitions	4
1.1.2.1. Classification	4
1.1.2.2. Définitions relatives aux sources.	5
1.1.2.3. Définitions relatives à un récepteur	8
1.1.2.4. Corps noir, corps gris	9
1.2. Lois du rayonnement	10
1.2.1. Loi de Lambert	10
1.2.2. Lois physiques.	11
1.2.2.1. Rayonnement du corps noir.	11
1.2.2.2. Rayonnement des corps non noirs	13
1.2.2.3. Loi de Kirchhoff	14
1.3. Rayonnement réciproque de plusieurs surfaces.	14
1.3.1. Radiosité et flux net perdu.	14
1.3.2. Facteur de forme géométrique	15
1.3.3. Calcul des flux.	17
1.3.3.1. Méthode de résolution.	17
1.3.3.2. Exemple d'application : cas de deux plans parallèles infinis.	18
1.3.4. Analogie électrique	18

1.3.4.1. Flux net perdu par une surface	18
1.3.4.2. Flux net échangé entre plusieurs surfaces	19
1.3.4.3. Application : échange entre deux surfaces grises	20
1.3.4.4. Utilisation des schémas analogiques	20
1.3.4.5. Exemple d'application : cas d'une surface S_1 convexe complètement entourée par une surface S_2	21
1.3.4.6. Cas particulier d'une surface S_1 petite devant la surface S_2	21
1.4. Émission et absorption des gaz	21
1.5. Le rayonnement solaire	22
1.5.1. Introduction	22
1.5.1.1. Le contexte	22
1.5.1.2. Aperçu de la ressource.	23
1.5.2. Aspects géométriques	24
1.5.2.1. Mouvements de la Terre.	24
1.5.2.2. Mouvement apparent du Soleil.	25
1.5.2.3. Heures et temps.	27
1.5.2.4. Durée et taux d'ensoleillement.	30
1.5.3. Rayonnement de l'atmosphère	31
1.5.3.1. Composition de l'atmosphère terrestre	31
1.5.3.2. Rayonnement du ciel et de l'atmosphère	32
1.5.4. Rayonnement solaire au sol	33
1.5.4.1. Rayonnement solaire sur une surface horizontale.	33
1.5.4.2. Rayonnement solaire sur un plan quelconque	37
1.5.4.3. Variations types du rayonnement	38
1.6. Exercices corrigés	41
1.6.1. Éclairement solaire	41
1.6.2. Transmission du rayonnement	42
1.6.3. Formation de la rosée.	43
1.6.4. Influence du rayonnement sur les mesures de température.	45
1.6.5. Mesure de la température de l'air extérieur.	46
1.6.6. Émissivité apparente d'une rainure	48
1.6.7. Équilibre thermique d'un satellite	49
1.6.8. Échauffement d'une ampoule à filament	50
1.6.9. Transfert de chaleur par rayonnement dans une vitrine réfrigérée.	52
1.6.10. Échauffement d'une paroi par rayonnement	54
1.6.11. Refroidissement d'une théière.	57
1.6.12. Étude du confort thermique	62
1.6.13. Calcul du coefficient global de pertes d'un double vitrage	64

Chapitre 2. Transfert de chaleur par rayonnement dans les milieux semi-transparents	69
2.1. Généralités	69
2.2. Définitions	71
2.2.1. Coefficients monochromatiques	71
2.2.2. Luminance et vecteur densité de flux radiatif	73
2.3. Bilan radiatif	77
2.3.1. Équation du bilan radiatif	77
2.3.2. Divergence du vecteur densité de flux radiatif	80
2.3.3. Exemple de bilan radiatif : le mur semi-transparent	82
2.3.4. Forme intégrale de l'équation du bilan radiatif ou solution formelle	84
2.4. Cas particuliers	85
2.4.1. Milieu non diffusant 1D (à symétrie azimutale)	85
2.4.1.1. Cas particulier du milieu froid	85
2.4.2. Milieu ni absorbant ni émissif	87
2.4.3. Milieu optiquement épais	88
2.5. Conditions aux limites	91
2.5.1. Limites transparentes	92
2.5.2. Limites opaques et noires	93
2.5.3. Limites opaques, à émission et réflexion diffuses	93
2.5.4. Limites opaques, émission diffuse, réflexion spéculaire	96
2.5.5. Interface semi-transparente	97
2.6. Exemple de solution approchée : approximation des deux flux ou de Schuster-Schwarzschild	99
2.6.1. Bilan radiatif	99
2.6.2. Cas particulier du milieu gris	100
2.6.3. Cas particulier du milieu gris et froid	101
2.7. Couplage conduction-rayonnement	104
2.7.1. Milieu optiquement épais, gris et à diffusion isotrope	105
2.7.2. Milieu diffusant pur	106
2.7.3. Modèle du film mince (faible épaisseur optique)	108
2.7.4. Quadripôle pour un milieu semi-transparent non diffusant	108
2.8. Exercices corrigés	109
2.8.1. Luminance d'un milieu semi-infini	109
2.8.2. Mesure de la température d'un four à travers une vitre	110
2.8.3. Transfert radiatif entre deux plaques opaques	112

2.8.4. Caractérisation d'un milieu semi-transparent froid	118
2.8.5. Caractérisation d'un milieu semi-transparent mince par méthode flash	122
2.8.6. Modélisation de la conductivité thermique équivalente de la laine de verre	125
2.8.7. Modélisation d'une mesure de conductivité thermique par plaques chaudes	127
2.8.8. Calcul des propriétés radiatives d'une paroi plane	131

Chapitre 3. Introduction aux échangeurs de chaleur 137

3.1. Les échangeurs tubulaires simples	137
3.1.1. Généralités : définitions	137
3.1.1.1. Description	137
3.1.1.2. Hypothèses	138
3.1.1.3. Conventions	138
3.1.2. Expression du flux échangé	138
3.1.2.1. Coefficient global de transfert	138
3.1.2.2. Cas h constant	140
3.1.2.3. Cas h variable	144
3.1.3. Efficacité d'un échangeur	145
3.1.3.1. Définition et calcul	145
3.1.3.2. Signification du rendement	146
3.1.4. Nombre d'unités de transfert	147
3.1.4.1. Définition	147
3.1.4.2. Relation entre NUT et efficacité	147
3.1.5. Calcul d'un échangeur	148
3.1.5.1. Températures de sorties connues	148
3.1.5.2. Températures de sortie inconnues	149
3.2. Les échangeurs à faisceaux complexes	149
3.2.1. Généralités	149
3.2.2. Échangeur 1-2	149
3.2.3. Échangeur 2-4	150
3.2.4. Échangeur à courants croisés	151
3.2.5. Échangeurs frigorifiques	152
3.2.5.1. Condenseurs	153
3.2.5.2. Évaporateurs	153
3.3. Exercices corrigés	155
3.3.1. Comparaison de différents types d'échangeurs	155
3.3.2. Calcul d'un échangeur à courants croisés	158

3.3.3. Calcul d'un échangeur à plaques	160
3.3.4. Calcul d'un évaporateur noyé.	163
3.3.5. Dimensionnement d'un condenseur	165
Chapitre 4. Les capteurs solaires plans	171
4.1. Principe	171
4.2. Bilan thermique global	172
4.2.1. Rendements d'un capteur solaire.	173
4.3. Bilans thermiques des différents constituants	175
4.3.1. Capteur solaire couvert de type 1.	175
4.3.1.1. Pertes thermiques vers le haut	176
4.3.1.2. Pertes thermiques vers le bas	177
4.3.1.3. Pertes thermiques totales	177
4.3.2. Capteur solaire couvert de type 2.	180
4.3.3. Capteur solaire non couvert de type 3	181
4.3.4. Capteur solaire non couvert de type 4	183
4.3.5. Méthode de résolution	184
4.4. Relations flux cédé au fluide/températures	185
4.4.1. Capteurs de types 1 et 3	185
4.4.2. Capteurs de types 2 et 4	187
4.4.2.1. Profil de température dans le sens de l'écoulement du fluide	189
4.4.2.2. Calcul du flux utile.	190
4.5. Autres grandeurs caractéristiques.	191
4.5.1. Rayonnement de seuil	191
4.5.2. Température limite	192
4.5.3. Pertes de charge	192
4.6. Méthode de calcul d'un capteur solaire	193
4.6.1. Simulation d'un capteur solaire.	193
4.6.2. Simulation d'un capteur solaire couplé à un stockage	194
4.6.3. Dimensionnement.	195
4.6.4. Calcul approché	195
4.7. Exercices corrigés	196
4.7.1. Calcul du coefficient de pertes de différents types de capteurs	196
4.7.2. Échauffement de l'air dans un capteur solaire	199
4.7.3. Chauffe-eau solaire avec capteur couvert à tubes	203
4.7.4. Chauffe-eau solaire capteur-stockeur	207
4.7.5. Chauffe-eau solaire à éléments séparés	213
4.7.6. Capteur avec couverture semi-transparente aux IR	215

Annexes	221
Nomenclature	255
Bibliographie	259
Index	263
Sommaire de <i>Transfert de chaleur 1</i>	267