

Table des matières

Avant-propos	11
Introduction	13
Chapitre 1. Équations fondamentales de la conduction.	15
1.1. Introduction	15
1.2. Les équations générales de la conduction	16
1.2.1. Expression du terme $(E - S)$	16
1.2.1.1. Expression de ϕ_x	17
1.2.1.2. Expression de ϕ_y	17
1.2.1.3. Dans la direction z	17
1.2.1.4. Pour les trois directions	17
1.2.2. Le terme « génération »	18
1.2.3. Le terme « accumulation »	18
1.2.4. Équation du bilan énergétique	18
1.3. Équations de la conduction dans différents systèmes de coordonnées	21
1.3.1. Lorsque λ n'est pas constant	22
1.3.2. Lorsque λ est constant	23
1.3.3. Coordonnées cylindriques et sphériques simplifiées	23
1.3.4. Conduction unidimensionnelle	24
1.4. Lecture : trempe des métaux	24

Chapitre 2. Conduction en régime permanent et applications . . .	27
2.1. Introduction	27
2.2. Équations de la conduction en régime permanent	27
2.2.1. Expressions dans les différents systèmes de coordonnées	28
2.2.2. Simplifications dans le cas de la conduction unidimensionnelle	28
2.3. Application aux murs simples	29
2.4. Notion de résistance thermique	31
2.5. Application aux murs composites ou multicouches	31
2.6. Application aux parois cylindriques	34
2.7. Application aux parois cylindriques composées	37
2.8. Application aux parois sphériques	38
2.9. Cas des parois sphériques composées	40
2.10. Conditions aux limites du type convectif : cas du mur simple	42
2.10.1. Résistance à la convection interne	43
2.10.2. Résistance à la convection externe	44
2.10.3. Résistance à la conduction	44
2.10.4. Expression du flux en fonction de T_i et T_e	44
2.10.4.1. Illustration : calcul des pertes thermiques à travers un mur de bâtiment	45
2.11. Murs composites avec conditions aux limites convectives	47
2.11.1. Illustration : calcul des pertes thermiques à travers les parois d'un four industriel	48
2.12. Résistances en parallèle avec conditions aux limites convectives	54
2.12.1. Illustration : mur composite avec des résistances thermiques en parallèle.	55
2.13. Canalisations cylindriques composites avec conditions aux limites convectives	63
2.13.1. Illustration : transfert à travers une paroi cylindrique composite	65
2.14. Installations sphériques composites avec conditions aux limites convectives	68
 Chapitre 3. Applications de la conduction au calorifugeage des parois	 71
3.1. Introduction	71
3.2. Les principaux matériaux isolants	72
3.2.1. Le liège	72
3.2.2. La sciure de bois et la laine de bois	73

3.2.3. Le chanvre	74
3.2.4. La cellulose	75
3.2.5. Les laines de verre et de roche	76
3.2.6. La mousse polyuréthane	78
3.2.7. Le polystyrène expansé	79
3.3. Choix de l'isolant thermique approprié	80
3.3.1. Épaisseur optimale de calorifuge pour les parois planes	83
3.3.1.1. Illustration : coût des pertes thermiques à travers les parois d'un four industriel	85
3.3.2. Calorifugeage des parois cylindriques	94
3.3.2.1. Détermination de l'épaisseur critique du calorifuge	94
3.3.2.2. Détermination de l'épaisseur optimale du calorifuge	99
3.3.2.3. Illustration : épaisseur optimale de calorifuge pour une conduite de vapeur	102
3.3.3. Calorifugeage des parois sphériques	109
3.3.3.1. Illustration : calorifugeage d'un réservoir sphérique	112

Chapitre 4. Applications de la conduction à la réduction des pertes thermiques dans le bâtiment

121

4.1. Introduction	121
4.2. La réglementation thermique des bâtiments	122
4.3. Calcul des pertes à travers les parois des bâtiments	127
4.3.1. Expression du flux des pertes d'énergie	128
4.3.2. Notations spécifiques à la thermique du bâtiment	129
4.3.3. Calcul des pertes à travers des parois composites : murs, planchers et toitures	130
4.4. Calcul des pertes à travers les parois vitrées	131
4.4.1. Illustration : résistances thermiques minimales pour les parois d'un hôtel à construire	135
4.5. Optimisation des choix énergétiques pour l'isolation thermique des bâtiments	139
4.5.1. Illustration : pertes d'énergie à travers les fenêtres d'un bâtiment	141
4.6. Lecture : financement des rénovations énergétiques, des schémas novateurs	146

Chapitre 5. Conduction avec génération d'énergie

149

5.1. Introduction	149
5.2. Conducteur plan avec génération	149
5.2.1. Illustration : génération dans un conducteur plan	151

5.3. Conducteur cylindrique avec génération	157
5.3.1. Illustration : thermique du cœur d'un réacteur nucléaire	159
5.4. Conduction dans les ailettes rectangulaires	168
5.4.1. Illustration : gain d'efficacité grâce à une ailette.	172

Chapitre 6. Conduction en régime transitoire 175

6.1. Introduction.	175
6.2. Méthodes de résolution de l'équation de la conduction	176
6.3. Discrétisation de l'équation de la chaleur	177
6.4. Mise en œuvre de l'équation discrète de la chaleur	179
6.4.1. Algorithme de résolution	180
6.4.2. Choix des incréments Δx et Δt	181
6.4.3. Simplifications dans le cas du régime stationnaire	181
6.4.4. Simplifications dans le cas bidimensionnel.	182
6.4.4.1. Illustration : profil bidimensionnel de température dans une plaque en cuivre	183
6.4.5. Simplifications dans le cas unidimensionnel	186
6.5. Développement de solutions analytiques exactes dans le cas unidimensionnel.	186
6.6. Solutions analytiques approximatives	192
6.6.1. Pour $Bi = 0$	192
6.6.2. Pour $0 < Bi < 0,1$	193
6.6.3. Pour $Bi = 0,1$	196
6.6.4. Pour $Bi > 0,1$	198
6.7. Méthode graphique de résolution de l'équation de la chaleur	200
6.7.1. Profil de la température au centre du solide	203
6.7.2. Utilisation des abaques pour la détermination du profil de la température au centre du solide	205
6.7.3. Distribution de la température à l'intérieur du solide	206
6.7.4. Utilisation des figures 6.8 à 6.10 afin de déterminer la distribution de la température à l'intérieur du solide.	208
6.7.5. Calcul des flux échangés.	209
6.7.5.1. Remarque générale sur l'utilisation de la méthode graphique	213
6.7.5.2. Illustration : trempe d'un câble.	213
6.7.5.3. Illustration : trempe d'une sphère	217
6.8. Étude de cas : comparaison entre les méthodes graphique et numérique.	223
6.8.1. Résolution par la méthode graphique	225
6.8.2. Résolution par la méthode numérique	229

6.8.3. Comparaison des résultats numériques et graphiques	233
6.8.4. Comparaison avec la solution analytique	234
6.9. Lecture : Jean-Baptiste Biot	240
Chapitre 7. Exercices et solutions	243
Annexe. Base de données	413
Bibliographie	457
Index	467