

José OUIN
Ingénieur INSA Toulouse
Professeur Agrégé de Mathématiques
Professeur Agrégé de Génie Civil

TRANSFERTS THERMIQUES PAR LA PRATIQUE

Rappels de cours et exercices corrigés

Du même auteur aux Editions Ellipses et Educavivres



ISBN : 978-2-9592760-2-6

© José OUIIN



Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause, est illicite" (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sans autorisation de l'auteur ou du Centre français du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins 75006 Paris), constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

www.joseouin.fr

Avant-propos

L'étude des transferts thermiques est cruciale pour appréhender les phénomènes technologiques au cœur des grandes branches industrielles telles que le génie civil, le génie énergétique, le génie électrique et le génie mécanique. Ces transferts thermiques, englobant le rayonnement, la convection et la conduction, sont des mécanismes omniprésents dans notre quotidien et revêtent une importance particulière dans des domaines aussi variés que la conception de bâtiments, la production d'énergie, l'électromagnétisme et la mécanique des fluides.

Cet ouvrage a été conçu dans le but de faciliter la compréhension de ces phénomènes complexes. Il propose des rappels de cours concis et des exercices variés, offrant ainsi aux enseignants, aux étudiants et à tous les passionnés la possibilité d'approfondir leurs connaissances dans le vaste domaine des transferts thermiques.

J'espère que cet ouvrage sera une ressource précieuse pour ceux qui cherchent à maîtriser les fondements physiques essentiels régissant ces processus thermiques.

Cordialement.
José OUIN

SOMMAIRE

Notations	7
-----------------	---

Première partie - Rappels de cours

1 - TRANSFERT THERMIQUE PAR RAYONNEMENT	13
1-1. Emission d'un corps.....	13
1-1.1 Expression du flux émis par unité de surface	13
1-1.2 Définitions	14
• Luminance totale	14
• Emittance monochromatique.....	14
• Emittance totale	15
1-1.3 Emission d'un corps noir.....	15
• Distribution spectrale de l'émittance d'un corps noir	16
1-1.4 Relation entre la luminance monochromatique d'un corps réel et la luminance monochromatique d'un corps noir.....	17
1-1.5 Emission d'une surface diffuse ou isotrope	17
1-2. Absorption d'un corps.....	18
1-2.1 Expression du flux absorbé par unité de surface.....	18
1-2.2 Relation entre l'émissivité et l'absorptivité de la surface d'un corps	19
1-3. Réflexion d'un corps.....	19
1-3.1 Expression du flux réfléchi par unité de surface	19
1-4. Définition du flux radiatif par unité de surface	20
1-4.1 Définitions	20
• Flux incident par unité de surface.....	20
• Flux partant par unité de surface.....	20
1-4.2 Flux radiatif par unité de surface	21
1-5. Expression du flux radiatif d'une surface.....	21
1-5.1 Hypothèses.....	21
1-5.2 Expression du flux radiatif d'une surface en fonction des luminances monochromatiques	22
1-5.3 Définition du facteur de forme.....	22
1-5.4 Définition de la radiosité monochromatique et de l'éclairement monochromatique	24
• Radiosité monochromatique.....	25
• Eclairement monochromatique.....	25
1-5.5 Expression du flux radiatif d'une surface	25
1-5.6 Expression du flux radiatif d'une surface dans le cas de N surfaces grises	26
• Expression de la radiosité totale.....	26
• Expression de l'éclairement total	26
• Expression du flux radiatif d'une surface	26
1-6. Analogie électrique	27

2 - TRANSFERT THERMIQUE PAR CONVECTION.....	31
2-1. Loi de Newton.....	31
2-2. Définition des nombres caractéristiques.....	32
2-2.1 Nombre de Reynolds	32
2-2.2 Nombre de Prandtl.....	32
2-2.3 Nombre de Grashof	32
2-2.4 Nombre de Nusselt	33
3 - TRANSFERT THERMIQUE PAR CONDUCTION	34
3-1. Définitions.....	34
3-1.1 Densité de flux thermique	34
3-1.2 Flux thermique	35
3-2. Etude des modèles élémentaires	35
3-2.1 Modèle du mur	35
• Cas d'une seule couche	35
• Cas de N couches en série.....	37
• Cas de N couches en parallèle.....	39
3-2.2 Modèle du cylindre creux	41
• Cas d'un seul matériau	41
• Cas de N matériaux différents	43
3-2.3 Modèle de la sphère creuse.....	44
• Cas d'un seul matériau	44
• Cas de N matériaux différents	47
4 - TRANSFERT THERMIQUE MIXTE	49
4-1. Etude des modèles élémentaires	50
4-1.1 Modèle du mur (cas de N couches en série).....	50
• Expression du flux thermique et de la résistance thermique	50
• Analogie électrique	51
4-1.2 Modèle du cylindre (cas de N matériaux différents).....	51
• Expression du flux thermique et de la résistance thermique	51
• Analogie électrique	52
4-1.3 Modèle de la sphère (cas de N matériaux différents).....	53
• Expression du flux thermique et de la résistance thermique	53
• Analogie électrique	54
4-1.4 Modèle de l'ailette	54
• Hypothèses.....	54
• Expression de la température de l'ailette à l'abscisse x et du flux dissipé par l'ailette	55

Deuxième partie - Applications

TRANSFERT THERMIQUE PAR RAYONNEMENT

Etude d'un thermocouple	65
Etude d'une conduite d'alimentation en azote liquide	70
Etude d'un four	74
Etude de la paroi d'un local	81
Etude d'une station expérimentale	84
Etude d'un cryostat	89

TRANSFERT THERMIQUE MIXTE

Transfert thermique sans thermogénèse

Etude de la paroi d'un four	94
Etude d'une paroi composite	96
Etude d'un plancher chauffant	99
Etude d'un cryostat	102
Etude d'une conduite d'alimentation en eau chaude	106

Transfert thermique avec thermogénèse

Etude d'une station expérimentale	110
Etude d'un massif de béton	119
Etude d'une paroi composite	127
Etude d'un fil électrique	133

Modèle de l'ailette

Etude d'une batterie de refroidissement	139
Etude d'un banc expérimental	145
Etude de la manutention de plaques	154
Etude d'un fil électrique	158

Echangeurs de chaleur

Etude d'un échangeur	164
Etude d'un échangeur tubulaire	175
Etude d'un réacteur nucléaire	186
Etude de l'influence des débits dans un échangeur tubulaire	193

Cet ouvrage a été achevé en mars 2024
Dépôt légal : mars 2024
Déposé auprès de la BnF (Bibliothèque Nationale de France)