

Cet ouvrage est une réimpression du livre « La transmission de la chaleur » complétée par trois nouveaux chapitres sur la convection de la chaleur d'une part, et par une cinquième partie entièrement nouvelle sur les échangeurs compacts d'autre part, construite à partir de la version intégrale des articles de l'auteur publiés dans la revue CFP, postérieurement à la précédente édition.

Malgré les quelque 1800 formules qu'il contient, il ne s'agit pas d'un simple formulaire de thermique. La majorité de ces formules résulte de théories entièrement explicitées et développées, souvent originales.

L'Ingénieur comme le Technicien, le Thermicien et le Frigoriste y trouveront :

- des formules pratiques de calcul, dont l'emploi est dans la majeure partie des cas, illustré par un abaque ou par un exemple concret,
- des méthodes de calcul et de raisonnement permettant de comprendre et de résoudre des problèmes similaires, dans les cas où la littérature classique ne donne que peu d'éléments.

Dans cet esprit, ce livre toujours original et cohérent conserve toute sa valeur.

Il offre également dans le domaine très spécialisé des échangeurs ailetés et du transfert de chaleur en général, des méthodes et des formules «manuelles» que le développement intensif de programmes de calcul informatisés (logiciels et progiciels de type «boîte noire»), propre à notre civilisation industrielle moderne, tend à occulter et remplacer, en privant l'ingénieur et le technicien de la perception «quasi-physique» du phénomène d'échange réel. Cet ouvrage contient les fondements théoriques de nos techniques d'échange thermique dites aujourd'hui «avancées», car revenues d'Extrême Orient ou d'ailleurs, et souvent redécouvertes par des professionnels exerçant leur activité dans un marché avide de nouveautés, par exemple : tubes à ailettes intégrales, ailettes à persiennes...

Cinq parties distinctes composent ce livre:

- 1) Les ailettes dans l'échange thermique
- 2) Les tours de refroidissement d'eau
- 3) La condensation des vapeurs
- 4) La convection de la chaleur
- 5) Les échangeurs compacts

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE : LES AILETTES DANS L'ÉCHANGE THERMIQUE

CHAPITRE 1 ÉTUDE DE LA RÉPARTITION DE TEMPÉRATURE DANS L'AILETTE 9

Généralités

Étude générale

Théorie

Ailettes longitudinales minces

- 1) À section constante
- 2) À section variable
- 3) Ailettes minces ramifiées

Ailettes linéaires de sections diverses

- 1) À section constante
- 2) À section variable

Ailettes transversales minces

- 1) À section constante (ailettes circulaires)
- 2) À section variable

Ailettes carrées ou rectangulaires

Ailettes spirales ou hélicoïdales

CHAPITRE 2 CALCUL DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE DES AILETTES APPLICATION À LA RECHERCHE DE L'EFFICACITÉ DE L'AILETTE 27

Définition de l'efficacité de l'ailette

Recherche de l'efficacité

- 1) Ailettes longitudinales, linéaires, hélicoïdales
 - a) À section constante
 - b) À section variable
- 2) Ailettes transversales

Échange global d'une surface munie d'ailettes

- Rendement de la surface ailetée
- Coefficient global d'échange d'une surface ailetée

CHAPITRE 3 AILETTES À PROFIL « OPTIMAL » CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES 37

Considérations économiques pour la recherche d'un profil optimal de l'ailette

- a) Ailettes à section constante
- b) Ailettes à section variable

Considérations thermiques pour la recherche d'un profil optimal de l'ailette

Étude du profil

Application : Ailette à gradient constant Surface isotherme plane

- a) ailette longitudinale
- b) ailette linéaire
- c) ailette transversale

Influence du lien « ailette-paroi » (rendement de sertissage)

CHAPITRE 4 INTRODUCTION À L'ÉTUDE DES AILETTES ÉPAISSES ET DES AILETTES LONGITUDINALES À SURFACE CARRÉE OU RECTANGULAIRE 47

Étude de base

- Répartition de température
- Température moyenne de l'ailette épaisse
- Efficacité de l'ailette épaisse ou carrée

CHAPITRE 5 INFLUENCE DE LA CONVECTION NATURELLE SUR LES AILETTES 52

Théorie

Influence de la convection naturelle sur l'efficacité

- 1^{er} cas : la base de l'ailette est verticale
- 2^e cas : la base de l'ailette est horizontale

Convection naturelle laminaire entre des ailettes planes verticales proches les unes des autres

Exemple de calcul

CHAPITRE 6 CALCUL DU COEFFICIENT D'ÉCHANGE EN CONVECTION FORCÉE POUR DIVERS TYPES D'AILETTES 71

Généralités

Étude du mouvement

Couches limites

Formules de base

Vitesses et températures dans la couche limite

Nombre de NÜSSELT locaux et moyens

Recherche du coefficient local en convection forcée turbulente pour une ailette plane

- Théorie
- Nombre de NÜSSELT locaux et moyens

Convection forcée entre des ailettes planes proches les unes des autres

- Théorie
- Nombre de NÜSSELT

Convection forcée entre des ailettes parallèles Étude

Coefficient moyen de convection forcée Rendement de convection

Nombre de NÜSSELT pour des empilages d'ailettes épaisses

Emploi du nombre de NÜSSELT pour la détermination de la chaleur échangée par une ou plusieurs ailettes

Tableau récapitulatif des nombres de NÜSSELT moyens relatifs aux ailettes planes

Les ailettes transversales

Les ailettes linéaires

Les ailettes continues

Les ailettes intégrales

Analyse
Exemple

CHAPITRE 7

INFLUENCES GÉOMÉTRIQUES DIVERSES

SUR L'AILETTE PLANE

OPTIMUM GÉOMÉTRIQUE D'UNE AILETTE 120

Les ailettes internes

Influences géométriques diverses sur l'ailette plane

Bord d'attaque
Morcelage d'une ailette

Optimum géométrique d'une ailette aux différents régimes de convection

a) en convection naturelle
b) en convection forcée

Abaque du nombre de REYNOLDS

NOTA :

Liste des symboles employés : page 8 et dans le texte.

DEUXIÈME PARTIE : LES TOURS DE REFROIDISSEMENT D'EAU

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS 123

Étude théorique. Équation générale des tours

Équations de la conservation de la masse d'eau
Équations de la conservation d'énergie
Équations de transfert de chaleur
Équation de transfert de masse
Relation de LEWIS

CHAPITRE 2

MÉTHODES DE CALCUL 132

Résolution (1)

Calcul de la droite de fonctionnement
Calcul du débit d'air nécessaire
Calcul du débit d'eau

Résolution (2)

Calcul du nombre de MERKEL
Calcul de la hauteur de l'empilage
Méthode approchée

Résolution (3)

Solution de MERKEL
Intégration graphique
Calcul du nombre de MERKEL

Résolution (4)

Solution de NOTTAGE
Construction graphique
Exemple de calcul

Résolution (5)

Prise en compte de la température de surface

Résolution (6)

Méthode des différences finies
Méthode graphique de MICKLEY

Résolution (7)

Représentation de l'évolution de l'air sur le diagramme de l'air humide
1^{er} cas : Température de surface égale à la température moyenne de l'eau
2^e cas : On donne à la température de surface de l'eau sa vraie valeur

NOTA :

Liste des symboles employés : pages 122, 134 et dans le texte

TROISIÈME PARTIE : LA CONDENSATION DES VAPEURS

CHAPITRE 1

CONDENSATION « MORTE »

CONDENSATION EN FILM ET EN GOUTTELETTES . 155

1) Condensation « morte

Étude théorique

2) Condensation en film

1^{er} cas : Surface plane verticale ou inclinée

Étude théorique

Régime laminaire du condensat

Régime turbulent du condensat

2^e cas : Tube cylindrique horizontal

Étude théorique

Superposition de plusieurs tubes horizontaux

3^e cas : Tube cylindrique vertical

Comparaison entre l'échange thermique
d'un tube cylindrique horizontal et vertical
Influences diverses sur la condensation en film

a) Rides du film de condensat
b) Influence des gaz incondensables
c) Influence de la vitesse de la vapeur
d) Température du condensat recueilli

3) Condensation en gouttelettes

Annexe 1. Exemple de calcul

Annexe 2. Table des valeurs caractéristiques pour l'eau
et la vapeur saturante

NOTA :

Liste des symboles employés page 154 et dans le texte.

QUATRIÈME PARTIE : LA CONVECTION DE LA CHALEUR

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS 178

La convection naturelle

La convection forcée

1) Régime laminaire
2) Régime turbulent

Analyse dimensionnelle

Convection naturelle
Convection forcée

CHAPITRE 2

LA CONVECTION CONSIDÉRÉE COMME
UNE CONDUCTION EN RÉGIME « MOBILE » 183

Étude générale

Théorie

Intégrale de CAUCHY

Formule de BOUSSINESQ

Convention naturelle
Convection forcée

CHAPITRE 3

L'ÉCART DE TEMPÉRATURE 192

Recherche de l'écart moyen de température
entre deux fluides en convection forcée

Comparaison des divers écarts de température

Cas du coefficient global d'échange variable le long de l'échangeur
Cas où la température d'un des fluides est constante
Cas où la température des deux fluides est constante
Cas du condenseur réel

Évolution de la température dans l'échangeur

- a) échange à équicourant
- b) échange à contre-courant

Représentation graphique de l'évolution des températures

CHAPITRE 4

LA CONVECTION FORCÉE EN RÉGIME D'ÉCOULEMENT TURBULENT 220

L'écoulement turbulent au voisinage d'une surface

- a) surface plane
- b) Intérieur d'un tube cylindrique

Théories de la convection forcée turbulente

- 1) Expression de PRANDTL-RIBAUD
- 2) Expression de REYNOLDS

Valeurs du coefficient des aérodynamiciens

Prise en compte de la sous-couche limite laminaire

NOTA :

Liste des symboles employés pages 193, 289, et dans le texte.

CHAPITRE 5

LA CONVECTION MIXTE 231

CHAPITRE 6

LA CONVECTION AUX GRANDES VITESSES 240

Notion de température de stagnation (ou d'arrêt)

Coefficient de récupération

Température adiabatique

Transmission de la chaleur aux grandes vitesses

CHAPITRE 7

CONVECTION FORCÉE POUR DE FAIBLES PRESSIONS 247

Généralités

Théorie

Types d'écoulements aux faibles pressions

Chute de pression à l'intérieur de tubes pour un écoulement de gaz à une faible pression.

CINQUIÈME PARTIE : LES ÉCHANGEURS COMPACTS

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS 255

Étude générale des échangeurs compacts

Caractéristiques géométriques d'un échangeur compact muni d'ailettes continues lisses ou ondulées

CHAPITRE 2

LOIS D'ÉCHANGE THERMIQUE 265

Sens de circulation des fluides primaire et secondaire

Passage du fluide primaire dans les tubes

Lois de l'échange thermique dans un échangeur compact

CHAPITRE 3

CARACTÉRISTIQUES DE L'AIR À LA SORTIE DE L'ÉCHANGEUR 271

Prédétermination des caractéristiques de l'air à la sortie de l'échangeur compact

Coefficient de « by-pass » B

Représentation graphique du coefficient de « by-pass » B sur le diagramme de l'air humide

CHAPITRE 4

DIAMÈTRE HYDRAULIQUE D'UN ÉCHANGEUR COMPACT 277

Diamètre « équivalent », « fictif » ou « hydraulique » d'un échangeur compact

1^{er} cas : section de passage du fluide secondaire constante le long de l'écoulement

2^e cas : section de passage du fluide secondaire variable le long de l'écoulement.

CHAPITRE 5

VITESSE ET DÉBIT D'AIR 283

Vitesse et débit d'air caractéristiques

Nombre de REYNOLDS. Exemple de calcul

Équations sans dimension donnant les nombres de Nusselt et permettant le calcul des coefficients de convection externe moyens.

CHAPITRE 6

COEFFICIENT GLOBAL D'ÉCHANGE Kg 290

Définition du coefficient global d'échange Kg d'un échangeur compact

Coefficient global d'échange

Exemple de calcul

CHAPITRE 7

EFFICACITÉ DE LA SURFACE AILETÉE 295

Répartition de la température au sein de l'ailette

Décomposition des ailettes continues en ailettes transversales circulaires simples.

Efficacité globale de l'ailette continue

Exemple de calcul complet

CHAPITRE 8

CALCUL D'UN ÉCHANGEUR COMPACT EN CHAUFFAGE 308

Exemple complet de calcul

CHAPITRE 9

ÉCHANGEURS REFROIDISSEURS D'AIR 318

Définition des échangeurs, refroidisseurs d'air

Échange thermique d'un échangeur compact refroidisseur d'air

CHAPITRE 10

THÉORIE DE L'ÉCHANGE THERMIQUE D'UN ÉCHANGEUR-REFROIDISSEUR-D'AIR 327

CHAPITRE 11

LE GIVRAGE DES ÉVAPORATEURS 341

Théorie élémentaire du givrage des échangeurs compacts-refroidisseurs d'air

Influence du givrage sur l'échange thermique

CHAPITRE 12

CONTENANCE EN FLUIDE D'UN ÉVAPORATEUR EN DÉTENTE DIRECTE 357