

H. Rietschel W. Raiss

**traité  
de chauffage  
et de  
climatisation**

tome 2

Dunod

# TABLE DES MATIÈRES

Introduction .....	1
Principaux symboles et unités utilisés .....	5

## TROISIÈME PARTIE PROCÉDÉS DE CALCUL ET EXEMPLES

Chapitre 8. <b>Transfert de la chaleur</b> .....	9
I. <i>Généralités</i> .....	9
II. <i>Conduction calorifique</i> .....	10
A. Conduction en régime permanent .....	10
1. La paroi plane .....	11
2. La paroi tubulaire .....	13
B. Ecoulement de chaleur non stationnaire .....	14
C. Conductivité calorifique .....	17
III. <i>Transmission de la chaleur</i> .....	18
A. Le coefficient de transmission de la chaleur .....	18
1. La notion de coefficient de transmission de la chaleur .....	18
2. Valeurs caractéristiques de la transmission de la chaleur .....	20
B. Equations pour la détermination du coefficient de transmission de la chaleur pour convection .....	21
1. Ecoulement accéléré .....	22
2. Ecoulement naturel .....	24
C. Condensation et vaporisation .....	26
1. Condensation .....	27
2. Vaporisation .....	29
D. Exemples de détermination du coefficient de transmission superficielle .....	30
IV. <i>Transmission de la chaleur à travers un corps</i> .....	32
A. Détermination du coefficient de transmission global .....	32
1. Paroi plane .....	32
2. Paroi tubulaire .....	35
B. Détermination de l'écart moyen des températures et des dimensions des échangeurs de chaleur .....	36
1. Courants de même sens et courants de sens contraire .....	37
2. Courants croisés .....	40
3. Combinaisons de courants croisés et de courants parallèles .....	42
C. Calcul des températures de sortie et de la puissance d'échangeurs de chaleur dans diverses conditions d'exploitation .....	43
1. Courants de même sens .....	44

## X Table des matières

2. Courants de sens contraire .....	46
3. Courants croisés .....	47
4. Comparaison des modes de circulation .....	49
V. <i>Transmission de chaleur par rayonnement</i> .....	50
A. Lois fondamentales .....	51
1. Emission .....	51
2. Absorption et réflexion .....	54
3. Distribution dans l'espace du rayonnement .....	55
B. Echange calorifique par rayonnement .....	56
1. Surfaces planes parallèles .....	57
2. Corps dans une enveloppe .....	60
3. Disposition quelconque des surfaces. Facteur d'angle (coefficient de rayonnement) .....	61
C. La détermination du facteur angulaire .....	63
Chapitre 9. <b>Le calcul des installations de chauffage et les bases de la technique calorifique</b> .....	70
I. <i>Les besoins calorifiques</i> .....	70
A. Généralités .....	70
1. Les besoins calorifiques, caractéristique de la construction .....	70
2. Méthode de calcul unifiée .....	71
3. Calcul normal et cas particuliers .....	71
B. Les besoins calorifiques pour pertes par transmission .....	72
1. Les principes de calcul .....	72
2. Les déperditions calorifiques par transmission $\dot{Q}_0$ .....	73
3. Les coefficients $k$ des parois, fenêtres, planchers et toitures .....	73
4. Les hypothèses de température .....	73
C. Les majorations .....	74
1. Le coefficient $D$ .....	74
2. La majoration $z_U$ pour interruption d'exploitation .....	75
3. La majoration $z_A$ pour compensation des parois extérieures froides .....	75
4. Groupement des majorations $z_U$ et $z_A$ .....	76
5. La majoration $z_H$ pour orientation .....	76
D. Les besoins calorifiques pour pertes par ventilation .....	76
1. Les principes de calcul .....	76
2. Perméabilité des fenêtres et portes $\Sigma(al)$ .....	77
3. La caractéristique de local $R$ .....	78
4. La caractéristique d'immeuble $H$ .....	78
5. La majoration pour fenêtre d'angle $z_E$ .....	79
E. Conduite de calculs .....	79
1. Besoins calorifiques pour pertes par transmission .....	79
2. Besoins calorifiques pour pertes par ventilation .....	80
3. Bases de calcul .....	80
4. Exemple de calcul .....	81
F. Cas particuliers .....	85
1. Bâtiments chauffés rarement .....	85

2. Bâtiments de construction extraordinairement massive ou très légère .....	87
3. Déperditions calorifiques de grandes surfaces touchant le sol .....	87
4. Halls .....	89
G. Type de construction et besoins calorifiques .....	90
1. Influence des dimensions et de la forme du bâtiment .....	90
2. Utilisation du local .....	92
3. Isolation thermique des murs extérieurs .....	92
4. Besoins calorifiques spécifiques .....	93
5. Valeur limite des besoins calorifiques spécifiques .....	96
II. <i>Chaudière de chauffage</i> .....	96
A. Dimensions des chaudières .....	97
B. Mesures de puissance .....	98
III. <i>Corps de chauffe des locaux</i> .....	100
A. La cession de chaleur des corps de chauffe des locaux .....	100
1. Principes .....	100
2. Mesures de puissance .....	101
B. Calcul des surfaces de chauffe .....	102
1. Puissance des radiateurs .....	102
2. Puissance des corps de chauffe plats .....	103
3. Puissance des corps de chauffe de diverses exécutions .....	106
C. Relation entre la puissance et la température .....	107
1. Influence de la différence de température « fluide chauffant/ambiant » .....	107
2. Influence de la différence de température « entrée-sortie » .....	108
IV. <i>Chauffages par plafond et sol</i> .....	112
A. Généralités .....	112
1. Le problème .....	112
2. Cession de chaleur vers le haut ou vers le bas .....	112
3. Limites des températures de plafond et de sol .....	114
4. La cession de chaleur par les surfaces de plafond chauffées .....	115
5. La cession de chaleur par les surfaces de sol chauffées .....	117
6. Observations sur la conduite des calculs .....	118
B. Plafonds chauffants avec serpentins de chauffage incorporés dans le béton .....	120
1. La méthode de calcul d'après Rydberg et Hubert .....	120
2. Application de la méthode de calcul .....	124
3. La cession de la chaleur de la zone périphérique .....	128
4. Exemples de calcul .....	132
C. Plafonds chauffants à panneaux .....	140
1. Généralités .....	140
2. Le calcul d'ailettes minces .....	141
3. Détermination du coefficient de transmission calorifique $k$ .....	143
4. Plafonds chauffants à panneaux sans zone périphérique .....	149
5. Exemple numérique ; plafonds à panneaux avec enduit .....	150
D. Panneaux rayonnants .....	153

## XII Table des matières

V. <i>Calcul des échangeurs de chaleur</i> .....	154
VI. <i>Isolation des tuyauteries</i> .....	166
A. Calcul des déperditions calorifiques .....	166
1. Principes .....	166
2. Calcul simplifié .....	169
B. Détermination de l'épaisseur de l'isolant .....	170
1. Généralités .....	170
2. Détermination de l'épaisseur économique de l'isolant .....	170
Chapitre 10. <b>Problèmes d'écoulement</b> .....	175
I. <i>Les lois de l'écoulement dans les conduites</i> .....	175
A. L'écoulement d'un fluide idéal .....	175
II. <i>Les pertes de charge dans les réseaux de tuyauterie</i> .....	177
A. Pertes de charge dans les conduites rectilignes .....	178
B. L'état de l'écoulement et le coefficient de frottement des tubes $\lambda$ .....	178
C. Résistances particulières .....	186
1. Résistances particulières dans un tube rectiligne .....	187
2. Résistances particulières pour les changements de direction de l'écoulement (coudes) .....	194
3. Bifurcation de tuyauteries .....	196
III. <i>Phénomènes d'écoulement dans les ventilations par jets</i> .....	203
1. Le jet circulaire (isotherme) .....	203
2. Le jet plan (isotherme) .....	206
3. Influence de surfaces de limitation latérales .....	206
4. Jets non isothermes .....	207
IV. <i>Ventilateurs et pompes rotatives</i> .....	208
A. Equations principales .....	208
1. Puissance utile .....	208
2. Pression de refoulement .....	209
3. Représentation sans dimension .....	211
4. Influence de la vitesse de rotation .....	212
B. Tenue en exploitation .....	212
1. Courbe caractéristique des ventilateurs (ou pompes) .....	212
2. Courbe caractéristique du réseau .....	214
3. Point de fonctionnement .....	216
4. Réglage .....	216
5. Etat d'exploitation instable .....	218
6. Couplage en parallèle et en série .....	219
C. Choix d'un ventilateur .....	220
D. Choix d'une pompe .....	221
Chapitre 11. <b>Calcul des réseaux de tuyauteries</b> .....	225
I. <i>Bases de calcul</i> .....	225
A. Généralités .....	225
1. Les tronçons partiels et leurs pertes de charge .....	225
2. Deux groupes de problèmes .....	226

3. Calcul provisoire et calcul définitif .....	227
4. Hypothèses sur la vitesse .....	227
B. Planches pour le calcul des réseaux de chauffage.....	228
1. Conduites d'eau chaude .....	228
2. Conduites d'eau à haute et basse températures.....	231
3. Tuyauteries de vapeur basse pression.....	234
4. Résistances particulières .....	234
II. <i>Conduites à distance</i> .....	240
A. Conduites d'eau chaude et d'eau surchauffée.....	241
1. Généralités .....	241
2. Réalisation du calcul .....	241
B. Conduites de vapeur.....	245
1. Equation donnant le diamètre .....	245
2. Perte de pression dans un tronçon rectiligne.....	246
3. Perte de pression par résistances particulières.....	247
4. Détermination approximative du diamètre à partir de la vitesse de circulation de la vapeur.....	248
5. Calcul pratique d'une conduite à distance.....	250
C. Recherche du diamètre économique pour la conduite.....	254
1. Charges financières .....	254
2. Pertes calorifiques .....	255
3. Dépenses dues au fluide chauffant.....	256
4. Le prix minimal .....	257
III. <i>Chauffage à eau chaude par gravité</i> .....	266
A. Principes fondamentaux.....	266
1. Charge motrice .....	266
2. Equation fondamentale de la circulation de l'eau dans un réseau de tuyauteries .....	267
3. Détermination du diamètre du tuyau.....	268
B. Système à deux tubes sans déperdition par les tuyauteries.....	268
1. Calcul provisoire des diamètres des tubes .....	268
2. Calcul définitif des tuyauteries .....	269
3. Critère de mise en route .....	269
4. Exemples de calcul.....	270
C. Système à deux tubes tenant compte des pertes de chaleur des tuyauteries .....	283
1. Le refroidissement dans le réseau et son influence sur la pression de circulation .....	283
2. Rectification des grandeurs des radiateurs.....	286
3. Calcul du refroidissement dans le réseau.....	287
4. Calcul provisoire des diamètres des tuyauteries.....	288
5. Calcul définitif de la tuyauterie .....	289
6. Calcul définitif des surfaces chauffantes .....	290
7. Exemple de calcul .....	290
D. Chauffage à niveau.....	296
1. Choix des températures .....	296
2. Calcul approché pour la détermination du diamètre des tubes..	297
3. Calcul définitif .....	300

E. Système à un tube, compte non tenu des pertes de chaleur.....	305
1. Charge motrice.....	305
2. Calcul du réseau de distribution.....	307
F. Système à un tube, compte tenu des pertes de chaleur.....	309
<b>IV. Le chauffage par pompe.....</b>	<b>317</b>
A. Principes.....	317
B. Méthode de calcul.....	318
C. Exécutions spéciales de chauffage par pompe.....	323
1. Chauffage à un seul tuyau.....	323
2. Chauffage par parois.....	329
3. Installations de chauffage pour immeubles élevés.....	329
<b>V. Chauffage à vapeur basse pression.....</b>	<b>330</b>
A. Principes.....	330
B. Exécution du calcul du réseau de tuyauteries.....	331
1. Détermination provisoire des diamètres du réseau à vapeur.....	331
2. Calcul définitif des conduites de vapeur.....	332
3. Calcul des conduites d'eau condensée.....	333
C. Exemple de calcul.....	333
<b>VI. Calcul des chauffages à vapeur haute pression et à vapeur sous vide.....</b>	<b>335</b>
<b>Chapitre 12. Exploitation des installations de chauffage.....</b>	<b>337</b>
I. <i>Bilan thermique, définitions.....</i>	337
II. <i>Les besoins calorifiques et leur variabilité.....</i>	339
A. L'allure journalière des besoins calorifiques.....	339
B. Les besoins calorifiques en régime discontinu.....	342
C. La courbe de durée de charge.....	346
III. <i>Besoins calorifiques et consommation de chaleur.....</i>	349
A. Besoins calorifiques réels et besoins calorifiques calculés.....	349
B. Les besoins calorifiques annuels.....	350
C. Les besoins annuels de combustible.....	357
D. Consommation de calories et facturation.....	360
IV. <i>Exploitation d'une installation de chauffage.....</i>	362
A. Courbe caractéristique d'exploitation d'un chauffage à l'eau chaude.....	362
B. La consommation de combustible et sa surveillance.....	365
C. Détermination du rendement et de la puissance des chaudières en service.....	367
D. Caractéristiques de l'exploitation de chauffage.....	370
<b>Chapitre 13. Calcul des réseaux de gaines et des bouches de diffusion.....</b>	<b>373</b>
I. <i>Généralités.....</i>	373
II. <i>Bases du calcul.....</i>	374
A. Chute de pression dans les tronçons droits.....	375
1. Coefficient de frottement et perte de charge.....	375

2. Influence des joints des gaines.....	376
3. Gainés de section rectangulaire.....	378
B. Résistances localisées.....	378
1. Résistance des bouches de soufflage.....	379
2. Changements de direction.....	380
3. Dérivations.....	383
4. Organes de réglage.....	388
III. <i>Calcul de la puissance</i> .....	392
A. Introduction.....	392
B. Modes de calcul.....	392
1. Calcul des dimensions.....	393
2. Calcul de la perte de charge.....	393
3. Transformation de la pression lors de la réduction de vitesse.....	394
4. Sections de gaine de même pression statique.....	396
C. Exemples de calcul.....	397
IV. <i>Bouches d'air</i> .....	420
A. Ventilation par jet avec bouches murales.....	421
1. Vitesse au centre du jet.....	421
2. Portée du jet.....	423
3. Dilution du jet.....	424
B. Plafonds perforés.....	425
1. Conditions d'écoulement sous un plafond perforé.....	425
2. Régularité de la répartition d'air.....	430
C. Bouches d'évacuation d'air.....	430
D. Exemples de calcul.....	431
Chapitre 14. <b>Calculs des installations de climatisation</b> .....	435
I. <i>Puissance calorifique</i> .....	435
A. Charge calorifique d'un local $\dot{Q}_H$ .....	435
B. Chaleur de ventilation $\dot{Q}_L$ .....	436
C. Chaleur d'humidification $\dot{Q}_F$ .....	437
D. Pertes et gains de chaleur $\dot{Q}_V$ .....	438
E. Répartition de la puissance calorifique entre le préchauffeur et le réchauffeur.....	439
II. <i>Puissance frigorifique</i> .....	440
A. Charge frigorifique du local $\dot{Q}_K$ .....	440
1. Chaleur dégagée par les occupants $\dot{Q}_M$ .....	441
2. Chaleur dégagée par les appareils d'éclairage $\dot{Q}_B$ .....	441
3. Chaleur dégagée par les machines $\dot{Q}_N$ .....	442
4. Apport de chaleur par les produits traversant la salle $\dot{Q}_G$ .....	443
B. Réfrigération et dessiccation de l'air $\dot{Q}_{LE}$ .....	443
C. Apport de chaleur au cours du transport de l'air ( $\dot{Q}_V + \dot{Q}_{LN}$ ).....	444
D. Puissance frigorifique totale $\dot{Q}_{KL}$ .....	444
III. <i>Charge frigorifique extérieure</i> .....	445
A. Données climatiques.....	445

1. Température et humidité de l'air.....	445
2. Rayonnement .....	448
B. Flux calorifique à travers les fenêtres.....	449
1. Détermination des surfaces ensoleillées.....	449
2. Gain de chaleur instantané.....	456
3. Chaleur de rayonnement avec inertie thermique.....	457
C. Flux de chaleur au travers des parois non vitrées.....	467
1. Bases théoriques .....	468
2. Mode de calcul .....	475
D. Exemple de calcul .....	477
IV. <i>Débit d'air et état de l'air</i> .....	484
A. Généralités .....	484
B. Bilan thermique et bilan d'humidité.....	484
C. Détermination des éléments des centrales de climatisation.....	486
1. Réchauffeur d'air .....	486
2. Réfrigérants de surface .....	489
3. Chambre d'humidification avec buses.....	492
4. Séparateur de gouttes .....	495
D. Exemples de calcul .....	495
Chapitre 15. <b>Régulation des installations de climatisation</b> .....	503
I. <i>Considérations générales sur les phénomènes de transfert</i> .....	503
A. Eléments de transfert toujours linéaires.....	503
1. Caractéristiques des éléments de transfert.....	503
2. Comportement de transition .....	504
3. Régime harmonique.....	505
4. Formes-types de comportement au transfert.....	506
B. Eléments de transfert non linéaires.....	511
1. Comportement non linéaire .....	511
2. Fonction de description .....	512
3. Indication de la tolérance .....	513
C. Couplages des éléments de transfert.....	514
II. <i>Installations de régulation</i> .....	515
A. Généralités .....	515
1. Notions et désignations .....	515
2. Comportement au transfert .....	516
3. Réalisation du système de transfert avec retour.....	520
B. Régulateur avec amplificateur électrique.....	522
1. Couplage de l'amplificateur à action continue.....	522
2. Principes de fonctionnement des régulateurs à actions quasi permanente et discontinue.....	523
3. Types de réalisation .....	525
4. Intérêt de l'amplification électrique.....	533
C. Régulateur avec amplificateur pneumatique.....	534
1. Mode d'action et comportement au transfert des éléments pneumatiques .....	534

2. Réalisations .....	536
3. Intérêt de l'air comprimé .....	541
D. Régulateur avec amplificateur électropneumatique.....	542
E. Détection de la température et de l'humidité.....	543
1. Sonde de température .....	543
2. Sonde pour humidité relative .....	547
F. Servo-moteur de régulation.....	550
1. Servo-moteur pneumatique.....	550
2. Servo-moteur électrique .....	552
III. <i>Eléments du système à régler</i> .....	553
A. Organes de réglage .....	553
1. Vanne de réglage .....	553
2. Registres de réglage .....	557
3. Positionnement des vannes de réglage .....	559
4. Montage avec by-pass sur l'air.....	562
B. Dynamique des températures .....	562
1. Réchauffeur d'air alimenté en eau chaude.....	562
2. Gaine .....	565
3. Local .....	567
C. Dynamique de l'humidité .....	569
1. Humidificateur avec eau en circulation.....	569
2. Gaine .....	570
3. Local .....	571
IV. <i>Adaptation de l'installation de régulation à la grandeur réglée</i> .....	571
A. Au sujet de l'efficacité.....	571
1. Comportement de transfert d'une boucle de régulation linéaire	571
2. Critères de stabilité .....	574
3. Mise au point des régulateurs.....	578
4. Amélioration de l'évolution de la grandeur de réglage.....	579
5. Processus de régulation non linéaire.....	580
B. Réalisation technologique des boucles de régulation (couplages de base) .....	585
1. Mélange d'air extérieur et d'air recyclé.....	585
2. Régulation de la température de l'air d'apport.....	586
3. Régulation de la température d'ambiance.....	588
4. Choix du point de mesure.....	589
5. Boucle de régulation en climatisation.....	589
6. Renseignements pour les projets de boucle de régulation.....	593

## QUATRIÈME PARTIE

### ABAQUES ET TABLEAUX NUMÉRIQUES

I. <i>Tables de coefficients de matière et de caractéristiques calorifiques</i> .....	599
II. <i>Calcul des besoins calorifiques</i> .....	612
III. <i>Calcul des surfaces de chauffe et des isolations</i> .....	629

## XVIII Table des matières

IV. <i>Calcul des réseaux de tuyauteries</i> .....	634
V. <i>Normes pour les éléments de construction</i> .....	644
VI. <i>Calcul de la charge frigorifique</i> .....	650
<i>Abaques</i> .....	668
<i>Index des auteurs</i> .....	671
<i>Index des sujets</i> .....	675

### SOMMAIRE DU PREMIER VOLUME

Chapitre 1 : Principes fondamentaux de physiologie thermique et d'hygiène.

Chapitre 2 : Bases météorologiques et climatiques.

Chapitre 3 : Chauffage individuel.

Chapitre 4 : Chauffage central.

Chapitre 5 : Poste central de production d'eau chaude sanitaire.

Chapitre 6 : Chauffage à distance.

Chapitre 7 : Technique de la ventilation et de la climatisation.