



# RECKNAGEL

SPRENGER • SCHRAMEK

# GÉNIE CLIMATIQUE

**CLIM**  
PRATIQUE

DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES

## 1

### Données de base

<b>1.1 • Données météorologiques de base</b>	<b>3</b>
1.1.1 L'air	3
1.1.2 Température de l'air	11
1.1.3 Humidité de l'air	19
1.1.4 Rayonnement solaire	30
1.1.5 Vent	40
<b>1.2 • Notions de base d'hygiène</b>	<b>43</b>
1.2.1 Régulation thermique chez l'homme	43
1.2.2 Émission de chaleur chez l'homme	44
1.2.3 Confort	44
1.2.4 Qualité de l'air intérieur	62
1.2.5 Normes sanitaires	72
<b>1.3 • Données thermodynamiques de base</b>	<b>81</b>
1.3.1 Grandeurs thermomécaniques de base	81
1.3.2 Gaz	93
1.3.3 Vapeurs	102
1.3.4 Air humide	114
1.3.5 Transmission de chaleur	125
1.3.6 Combustibles	176
1.3.7 Combustion	192
1.3.8 Moteurs thermiques	212
1.3.9 Piles à combustible	216
<b>1.4 • Lois d'écoulement des fluides</b>	<b>221</b>
1.4.1 Écoulement laminaire	221
1.4.2 Écoulement d'un orifice	224
1.4.3 Diaphragmes et tuyères	225
1.4.4 Pression critique	227
1.4.5 Enthalpie et vitesse	227

1.4.6 Détente adiabatique	227
1.4.7 Calcul des pertes de charge	228
1.4.8 Perte de charge singulière	234
1.4.9 Perte de charge totale	237
1.4.10 Courbes caractéristiques des installations	239
<b>1.5 • Acoustique élémentaire</b>	<b>241</b>
1.5.1 Généralités	241
1.5.2 Caractéristiques physiques du son	241
1.5.3 Timbre et spectre acoustique	243
1.5.4 Évaluation du bruit	243
1.5.5 Propagation du son	248
1.5.6 Isolation acoustique aux bruits aériens	249
1.5.7 Insonorisation des constructions	253
1.5.8 Absorption acoustique	253
1.5.9 Acoustique des grands espaces	254
<b>1.6 • Principales techniques de mesure</b>	<b>257</b>
1.6.1 Généralités	257
1.6.2 Mesure de la pression	257
1.6.3 Mesure de la température	259
1.6.4 Mesure de la vitesse d'air	265
1.6.5 Mesure du volume et du débit	268
1.6.6 Calorimétrie	274
1.6.7 Mesure du niveau	279
1.6.8 Contrôle des produits de combustion	282
1.6.9 Hygrométrie	285
1.6.10 Appareils de mesures divers	288
<b>1.7 • Bases techniques de régulation</b>	<b>297</b>
1.7.1 Notions de base	297
1.7.2 Systèmes régulés	299
1.7.3 Équipements de régulation	305
<b>1.8 • Règles de base pour les économies d'énergie</b>	<b>325</b>
1.8.1 Définitions	325
1.8.2 Source d'énergie primaire	325
1.8.3 Transformation de l'énergie	328
1.8.4 Consommation d'énergie	330
1.8.5 Externalisation	331
<b>1.9 • Données fondamentales de la protection de l'environnement et de l'épuration de l'air</b>	<b>333</b>
1.9.1 Émissions	333
1.9.2 Action des émissions	334

1.9.3 Mesures destinées à limiter les émissions de polluants dans le secteur de l'énergie	336
1.9.4 Bases juridiques	340
<b>1.10 • Bases concernant la protection contre la corrosion et le tartre</b>	<b>349</b>
1.10.1 Bases sur la corrosion	349
1.10.2 Corrosion dans les installations de chauffage à eau chaude	352
1.10.3 Corrosion dans les installations à vapeur à basse pression	365
1.10.4 Corrosion dans les chauffe-eau	368
1.10.5 Corrosion provenant de gaz de combustion	372
1.10.6 Formation de tartre	375
<b>1.11 • Bases de Facility Management – Planification, élaboration et utilisation</b>	<b>381</b>
1.11.1 Bases	381
1.11.2 Bases de calcul des coûts et de la rentabilité	382
1.11.3 Maître d'ouvrage, architecte, bureau d'études techniques – Du projet à la réalisation	392
1.11.4 Management technique des bâtiments	406
1.11.5 Simulation	426
<b>1.12 • Bases de physique de la construction pour l'isolation thermique architecturale</b>	<b>435</b>
1.12.1 Isolation thermique hivernale	435
1.12.2 Protection thermique estivale	446
1.12.3 Condensation sur les surfaces intérieures des pièces de construction extérieures	449

## 2

### Chauffage

<b>2.1 • Généralités</b>	<b>455</b>
2.1.1 Exigences concernant les installations de chauffage	455
2.1.2 Codes couleurs et symboles graphiques utilisés dans la technique de chauffage	456
<b>2.2 • Systèmes de chauffage</b>	<b>461</b>
2.2.1 Chauffages ponctuels	461
2.2.2 Installations de chauffage central	503
2.2.3 Chauffage urbain et cogénération	569

<b>2.3 • Composants des installations de chauffage</b>	<b>605</b>
2.3.1 Générateurs de chaleur	605
2.3.2 Brûleurs et stockage du combustible	668
2.3.3 Systèmes d'évacuation des gaz brûlés	715
2.3.4 Tuyauteries	737
2.3.5 Accessoires de tuyauterie	762
2.3.6 Machines et appareils	786
2.3.7 Appareils de mesure, de commande et de régulation	809
2.3.8 Surfaces chauffantes	844
2.3.9 Installations de prévention de la corrosion et de l'entartrage	867
2.3.10 Déperditions thermiques des tuyauteries	870
2.3.11 Insonorisation	873
<b>2.4 • Calcul et dimensionnement des installations de chauffage</b>	<b>877</b>
2.4.1 Calcul de la charge thermique	877
2.4.2 Dimensionnement des générateurs de chaleur	894
2.4.3 Dimensionnement et calcul des réseaux de canalisations	896
2.4.4 Dimensionnement des dispositifs de chauffage individuels	915
<b>2.5 • Installation du chauffage dans différents types de bâtiments</b>	<b>935</b>
2.5.1 Décisions techniques et relatives au bâtiment	935
2.5.2 Bâtiments d'habitation	944
2.5.3 Immeubles de bureaux et bâtiments administratifs	950
2.5.4 Écoles et autres	957
2.5.5 Hôpitaux et cliniques	958
2.5.6 Bâtiments destinés aux manifestations sportives et autres	962
2.5.7 Autres champs d'application	974
<b>2.6 • Coûts de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire liés à la consommation</b>	<b>979</b>
2.6.1 Généralités	979
2.6.2 Équations fondamentales des besoins énergétiques annuels de chauffage	981
2.6.3 Besoins thermiques de chauffage et besoins en chaleur utile pour la production d'eau chaude sanitaire	981
2.6.4 Besoins énergétiques annuels pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire	985
2.6.5 Modulation du chauffage et influence de la régulation terminale	995
2.6.6 Dépenses énergétiques annuelles, consommation annuelle de combustible et besoins annuels en énergie primaire	996
2.6.7 Vue d'ensemble des résultats	998

**3****Techniques de ventilation et de climatisation**

<b>3.1 • Principes de la ventilation et de la climatisation d'air</b>	<b>1003</b>
3.1.1 Objectifs de la ventilation et de la climatisation d'air	1003
3.1.2 Classification des techniques de ventilation et climatisation d'air	1003
3.1.3 Terminologie des installations de ventilation et climatisation d'air	1004
<b>3.2 • Systèmes de ventilation et de climatisation</b>	<b>1007</b>
3.2.1 Ventilation naturelle	1007
3.2.2 Installations de traitement de l'air	1012
3.2.3 Activation thermique des surfaces d'un local	1027
<b>3.3 • Composants</b>	<b>1051</b>
3.3.1 Ventilateurs	1051
3.3.2 Batterie de chauffage et de refroidissement d'air	1077
3.3.3 Filtres à air	1091
3.3.4 Humidificateurs et déshumidificateurs d'air	1105
3.3.5 Distribution de l'air	1123
3.3.6 Dispositifs de réduction de la puissance acoustique	1186
3.3.7 Appareils de mesure, de contrôle et de régulation	1223
3.3.8 Récupération de la chaleur	1269
3.3.9 Sécurité incendie	1285
<b>3.4 • Matériels du traitement de l'air</b>	<b>1321</b>
3.4.1 Appareils de ventilation	1322
3.4.2 Appareils de climatisation partielle et de climatisation totale	1328
3.4.3 Appareils spéciaux	1341
<b>3.5 • Calculs des installations de ventilation et de climatisation</b>	<b>1357</b>
3.5.1 Installations de ventilation	1357
3.5.2 Installations de chauffage à air	1367
3.5.3 Installations frigorifiques	1368
3.5.4 Installations d'humidification de l'air avec laveur	1406
3.5.5 Déshumidification	1409
3.5.6 Installations de climatisation	1411
<b>3.6 • Mise en place des installations de traitement de l'air dans différents bâtiments et locaux</b>	<b>1417</b>
3.6.1 Décisions techniques et constructives	1417
3.6.2 Immeubles d'habitation	1422

3.6.3 Immeubles de bureaux et administratifs	1427
3.6.4 Écoles, musées et locaux similaires	1442
3.6.5 Hôpitaux	1450
3.6.6 Bâtiments hôteliers et locaux similaires	1464
3.6.7 Magasins	1466
3.6.8 Bâtiments et installations d'exploitation	1472
3.6.9 Bâtiments destinés au sport et aux rassemblements	1509
3.6.10 Autres bâtiments et annexes de bâtiments	1515
3.6.11 Autres espaces	1524
<b>3.7 • Aspiration d'air industriel</b>	<b>1537</b>
3.7.1 Généralités	1537
3.7.2 Dispositifs de captage	1538
3.7.3 Champs des vitesses pour les orifices d'admission	1540
3.7.4 Bases de calcul	1544
3.7.5 Mise en place des dispositifs de captage	1547

## 4

### Production d'eau chaude sanitaire

<b>4.1 • Généralités</b>	<b>1563</b>
4.1.1 Objectifs de production d'eau chaude sanitaire (ECS)	1563
4.1.2 Exigences	1563
4.1.3 Classification des installations	1563
4.1.4 Symboles graphiques	1564
4.1.5 Réglementation relative à la sécurité et aux économies d'énergie	1566
<b>4.2 • Systèmes de chauffage de l'eau</b>	<b>1567</b>
4.2.1 Installations individuelles ou de groupes	1567
4.2.2 Installations collectives de production d'eau chaude sanitaire	1576
4.2.3 Production d'eau chaude sanitaire par pompe à chaleur	1588
<b>4.3 • Composants des installations de production d'eau chaude sanitaire</b>	<b>1591</b>
4.3.1 Générateurs de chaleur	1591
4.3.2 Chauffe-eau à accumulation	1594
4.3.3 Préparateurs d'eau chaude sanitaire à accumulation avec pompe de charge	1596
4.3.4 Chauffe-eau instantanés	1598
4.3.5 Systèmes de mélange eau froide/eau chaude	1599

4.3.6	Dispositifs de protection anticorrosion et antitartre	1601
4.3.7	Exigences sanitaires	1602
<b>4.4</b>	<b>• Calcul des installations de production d'eau chaude sanitaire</b>	<b>1605</b>
4.4.1	Débits et températures	1605
4.4.2	Besoins thermiques	1608
4.4.3	Puissance de la chaudière	1614
4.4.4	Volume du réservoir de stockage	1616
4.4.5	Aire des surfaces de chauffe du réservoir de stockage	1617
4.4.6	Vase d'expansion	1619
4.4.7	Réseau de tuyauteries	1619
4.4.8	Exemples	1627

## 5

### Technique du froid

<b>5.1</b>	<b>• Généralités</b>	<b>1633</b>
<b>5.2</b>	<b>• Principes théoriques</b>	<b>1635</b>
5.2.1	Système de production du froid par compression de vapeur	1635
5.2.2	Système de production du froid par compression d'air	1645
5.2.3	Système de production du froid par absorption	1645
5.2.4	Système de production du froid par adsorption	1648
5.2.5	Système frigorifique à jet de vapeur	1652
5.2.6	Système de production du froid thermoélectrique	1653
5.2.7	Énergie primaire – Coefficient d'utilisation	1654
<b>5.3</b>	<b>• Composants et fluides utilisés dans une installation frigorifique</b>	<b>1655</b>
5.3.1	Fluide frigorigène	1655
5.3.2	Couples de substances actives dans les installations à absorption	1663
5.3.3	Huile pour machines frigorifiques	1665
5.3.4	Saumure	1665
<b>5.4</b>	<b>• Composants d'une machine frigorifique</b>	<b>1669</b>
5.4.1	Compresseurs à déplacement	1669
5.4.2	Compresseurs à turbine	1676

5.4.3 Condenseurs	1678
5.4.4 Évaporateurs (refroidisseurs)	1684
5.4.5 Éléments auxiliaires du circuit de fluide frigorigène	1689
5.4.6 Moteurs d'entraînement du compresseur	1690
5.4.7 Appareils de mesure, de commande et de régulation	1691
5.4.8 Installation de refroidissement à retour d'eau	1699
<b>5.5 • Conception des installations frigorifiques</b>	<b>1707</b>
5.5.1 Généralités	1707
5.5.2 Refroidissement direct – Aéroréfrigérants	1708
5.5.3 Refroidissement indirect – Réfrigérants à eau	1710
5.5.4 Entraînement par moteur thermique	1723
5.5.5 Équipements collectifs de production de froid	1725
5.5.6 Circuit de tuyauteries de fluide frigorigène	1728
5.5.7 Réseaux de distribution d'eau froide	1731
<b>5.6 • Calcul des installations frigorifiques destinées au rafraîchissement de l'air</b>	<b>1733</b>
5.6.1 Dimensionnement de l'installation frigorifique	1733
5.6.2 Comportement des machines frigorifiques à charge partielle	1734
5.6.3 Conception de l'installation frigorifique	1742
5.6.4 Accumulateurs de froid	1745
5.6.5 Récupération de chaleur/pompe à chaleur	1751
<b>5.7 • Réglage des installations à refroidissement par air</b>	<b>1757</b>
5.7.1 Régulation par refroidissement direct d'air	1757
5.7.2 Régulation dans le cas du refroidissement indirect d'air	1761
5.7.3 Régulation du circuit d'eau froide	1763
5.7.4 Réglage des groupes de production d'eau glacée	1764
<b>5.8 • Disposition des installations frigorifiques, salles des machines, bruits</b>	<b>1767</b>
5.8.1 Sites d'installation	1767
5.8.2 Émetteurs de froid	1768
5.8.3 Groupes de fluides frigorigènes	1768
5.8.4 Prescriptions relatives au site d'installation	1769
5.8.5 Salles des machines	1770
5.8.6 Transmission de bruit	1772
<b>Annexe A.1 • Unités et symboles</b>	<b>1777</b>
<b>Annexe A.2 • Tables de conversion</b>	<b>1780</b>
<b>Index</b>	<b>1785</b>