

TABLE DES MATIÈRES

1. Données fondamentales du Génie Climatique	1
11. Conditions climatologiques de l'homme dans son environnement naturel	3
111. L'air.....	3
-1. L'air pur.....	3
-2. Polluants.....	4
-21. Gaz et vapeurs.....	4
-22. Poussières.....	8
-23. Germes.....	13
-24. Noyaux de condensation.....	15
-25. Odeurs.....	15
-26. Législation sur l'environnement.....	15
112. Température de l'air.....	15
-1. Valeur moyenne de la température.....	16
-2. Valeurs extrêmes de la température.....	17
-3. Degrés-jours de chauffage.....	18
-4. Degrés-heures de ventilation.....	22
-5. Degrés-heures de refroidissement.....	24
113. Humidité de l'air.....	25
-1. Caractérisation de l'humidité de l'air.....	25
-2. Humidité moyenne.....	25
-3. Grammes-heures d'humidification et de déshumidification.....	26
-4. Valeurs extrêmes de l'humidité.....	27
-5. Température et humidité.....	29
-6. Teneur en eau à l'état d'équilibre.....	36
114. Rayonnement solaire.....	37
-1. Constante solaire.....	37
-2. Facteur de trouble.....	37
-3. Rayonnement solaire direct sur une surface quelconque.....	40
-4. Rayonnement solaire diffus.....	44
-5. Rayonnement propre de l'atmosphère.....	44
-6. Rayonnement solaire global.....	44
-7. Vitrages et ensoleillement.....	52
-8. Ensoleillement réel au cours de l'année.....	53
-9. Énergie solaire et chauffage solaire.....	53
115. Vent.....	60
12. Équilibre physiologique de l'homme en ambiance artificielle	65
121. Métabolisme de l'organisme humain.....	65
122. Échanges thermiques de l'organisme.....	67

123.	Conditions du confort thermique.....	69
-1.	Température de l'air ambiant	71
-2.	Température des parois.....	73
-3.	Humidité de l'air	78
-4.	Mouvements d'air	80
-5.	Habillement	82
-6.	Influences diverses	84
-61.	Teneur en poussière de l'air	84
-62.	Gaz et vapeurs, odeurs	85
-621.	Généralités	85
-622.	Réglementation sur l'aération et l'assainissement des ambiances de travail	86
-623.	Valeurs limites d'exposition aux agents chimiques	87
-624.	Un organisme à connaître : l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)	99
-63.	Électricité atmosphérique	100
-64.	Rayonnement radio-actif.....	101
-65.	Bruit	102
-651.	Généralités	102
-652.	Réglementation	104
-653.	Un organisme à connaître: le Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit (CIDB).....	107
-66.	Éclairage	107
-67.	Autres divers	108
124.	Échelles de confort thermique.....	108
-1.	Notion de confort thermique.....	108
-11.	Température de la peau	108
-12.	Catathermomètre	108
-13.	Température effective	109
-14.	Conditions du confort thermique d'après la norme internationale ISO 7730.....	110
-15.	Tête artificielle de Lutz	113
-16.	Température résultante de Missenard	114
-17.	Autres appareils de mesure	114
-2.	Cas particulier du gaz carbonique et des odeurs	116
-21.	Échelle de mesure du gaz carbonique	116
-22.	Odeurs	118
13.	Thermodynamique.....	123
131.	Grandeurs fondamentales	123
-1.	Systèmes d'unités	123
-2.	Masse, force, poids.....	129
-3.	Pression	129
-4.	Masse volumique et poids volumique.....	130
-5.	Température.....	132
-6.	Quantité de chaleur et capacité thermique massique	133
-7.	Travail et puissance	138
-8.	Énergie thermique et énergie mécanique, transformation mutuelle.....	139
-9.	Changements d'état de la matière	143
-10.	Phénomènes de dilatation/contraction.....	149
-11.	Principes de la thermodynamique	154

132.	Gaz.....	155
-1.	Lois des gaz parfaits.....	155
-2.	Équation caractéristique des gaz parfaits.....	156
-3.	État normal d'un gaz.....	160
-4.	Mélange de gaz: loi de Dalton.....	160
-5.	Capacité thermique massique.....	161
-6.	Énergie interne, enthalpie et travail des forces de pression.....	164
-7.	Entropie.....	164
-8.	Changements d'état.....	165
-9.	Cycle.....	166
133.	Vapeurs.....	167
-1.	Vapeur d'eau saturée.....	167
-2.	Vapeur d'eau humide.....	168
-3.	Vapeur d'eau surchauffée.....	168
-4.	Entropie de la vapeur d'eau.....	169
-5.	Diagrammes T, s et h, s.....	172
-6.	Point critique.....	173
-7.	Équations d'état.....	174
-8.	Vapeurs des autres fluides liquides.....	175
134.	L'air humide.....	175
-1.	Généralités.....	175
-2.	Humidité relative.....	176
-3.	Humidité absolue.....	176
-4.	Masse volumique et volume massique.....	180
-5.	Enthalpie.....	180
-6.	Diagramme de l'air humide ou diagramme psychrométrique.....	181
-61.	Considérations générales.....	181
-62.	Construction du diagramme de l'air humide.....	182
-63.	Exemple de lecture.....	183
-7.	Changements d'état de l'air humide dans le diagramme psychrométrique.....	185
-71.	Mélange de deux masses d'air différentes.....	185
-72.	Réchauffage.....	187
-73.	Refroidissement.....	188
-74.	Humidification.....	190
-75.	Changement d'état adiabatique.....	191
-76.	Déshumidification.....	191
135.	Transmission de l'énergie thermique et transfert de vapeur d'eau par diffusion.....	192
-1.	Généralités.....	192
-2.	Transmission de la chaleur par conduction.....	192
-21.	Équation fondamentale.....	192
-22.	Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique.....	201
-23.	Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en humidité.....	202
-24.	Variation de la conductivité thermique en fonction de la température.....	206
-25.	Cas particulier des lames d'air.....	206
-26.	Effusivité.....	208
-3.	Transmission de la chaleur par convection.....	209
-31.	Équation fondamentale.....	209
-32.	Écoulement forcé.....	210
-321.	Écoulement d'un gaz dans une conduite.....	210
-322.	Écoulement de l'air autour d'une conduite simple.....	211
-323.	Écoulement de l'air autour d'un faisceau de tubes.....	211
-324.	Écoulement le long d'une plaque, d'une paroi ou d'un tube.....	211

	-325. Écoulement turbulent d'eau dans un tube	212
	-326. Eau contenue dans une chaudière ou un réservoir.....	212
	-327. Fluides frigorigènes en phase vapeur	212
-33.	Écoulement libre	212
	-331. Conduites dans l'air	212
	-332. Parois verticales.....	215
	-333. Parois horizontales.....	216
	-334. Conduites placées dans l'eau.....	217
-34.	Fluides à l'ébullition	217
	-341. Eau dans un réservoir ou une chaudière.....	217
	-342. Fluide frigorigène dans un réservoir avec passage d'un seul tube dans lequel circule le fluide à refroidir	218
	-343. Fluide frigorigène dans un réservoir avec passage d'un faisceau de tubes dans lesquels circule le liquide à refroidir.....	218
-35.	Tube dans une vapeur condensante.....	219
-36.	Évaporation, transfert de matière.....	219
-37.	Valeur du coefficient de transmission thermique par convection le long d'une paroi d'une construction	220
-4.	Transmission de la chaleur par rayonnement	221
	-41. Loi de Stefan-Boltzmann	221
	-42. Loi de Kirchhoff	222
	-43. Rayonnement mutuel de deux surfaces	222
	-44. Rayonnement des gaz	223
	-45. Coefficient de transmission thermique par rayonnement.....	223
	-46. Facteur d'angle	225
	-47. Valeur du coefficient de transmission thermique par rayonnement pour une paroi d'une construction.....	226
-5.	Transmission de chaleur d'un fluide à un autre fluide.....	227
	-51. Flux de chaleur transmis à travers une paroi plane.....	227
	-511. Principe du calcul général dans le cas d'une paroi plane composée d'une seule couche de matériau homogène et extension à une paroi plane composée de plusieurs couches homogènes.....	227
	-512. Cas des parois pleines hétérogènes.....	231
	-513. Exemple de calcul du coefficient de transmission thermique global K d'une paroi plane composite et évolution de la tempé- rature à l'intérieur de la paroi	232
	-52. Flux de chaleur transmis à travers une paroi courbe.....	236
	-53. Flux de chaleur transmis dans un échangeur de chaleur.....	240
	-531. Échangeurs de chaleur rencontrés en Génie Climatique	240
	-532. Caractéristiques optimales d'un échangeur de chaleur.....	241
	-533. Échangeurs à tubes et échangeurs à plaques	242
	-5331. Échangeurs de chaleur à tubes.....	242
	-5332. Échangeurs de chaleur à plaques	248
	-534. Calcul général d'un échangeur de chaleur.....	250
	-535. Un organisme à connaître : le Groupement pour la Recherche sur les Échangeurs thermiques (GRETh)	258
-6.	Transfert de vapeur d'eau par diffusion	259
136.	Combustibles.....	264
	-1. Combustibles solides.....	264
	-11. Généralités	264
	-12. La paille	265
	-13. Le bois.....	266
	-14. Les déchets solides.....	268
	-15. Les charbons	271
	-151. Généralités.....	271

-152.	La situation du combustible charbon en France en comparaison de ce qu'elle est dans le reste du monde ou « l'exception charbonnière française »	276
-153.	Deux organismes à connaître	278
-1531.	Le Centre d'Études et de Recherches du Charbon (Cerchar)	278
-1532.	L'Association Technique de l'Importation Charbonnière (ATIC)	279
-2.	Combustibles liquides	279
-21.	Les différents combustibles liquides	279
-211.	Huiles minérales	279
-212.	Huiles de goudron	281
-213.	Huiles de synthèse	281
-214.	Autres combustibles liquides	281
-22.	Les fuel-oils	282
-221.	Pouvoirs calorifiques	283
-222.	Masse volumique	287
-223.	Viscosité	288
-224.	Résidu Conradson	289
-225.	Point d'éclair	289
-226.	Point de feu	290
-227.	Point d'écoulement	290
-228.	Teneur en soufre et cendres	290
-229.	Eau et sédiments	291
-23.	La situation du combustible fuel en France et comparaison avec ce qu'elle est dans le reste du monde	292
-24.	Quelques organismes à connaître	293
-241.	Institut Français du Pétrole (IFP)	293
-242.	Union Française des Industries Pétrolières (UFIP)	293
-243.	Comité Professionnel du Pétrole (CPDP)	293
-244.	Association Chauffage Fioul	294
-245.	Direction des Hydrocarbures (DHYCA)	294
-3.	Combustibles gazeux	294
-31.	Généralités	294
-32.	Le gaz naturel	296
-33.	Les gaz de pétrole liquéfiés	300
-34.	Autres types de combustibles gazeux	300
-341.	Gaz de distillation	302
-342.	Gaz de gazéification	303
-343.	Gaz de raffinerie	303
-344.	Gaz manufacturés	303
-345.	Gaz de mine	303
-346.	Gaz d'épuration	303
-347.	Gaz de fermentation méthanique	304
-35.	La situation des combustibles gazeux en France et comparaison avec ce qu'elle est dans le reste du monde	304
-36.	Quelques organismes à connaître	305
-361.	Gaz de France (GdF)	305
-362.	Centre d'Information de Gaz de France pour l'Industrie et le Bâtiment (CEGIBAT)	305
-363.	Association Technique de l'Industrie du Gaz en France (ATG)	306
-364.	Société pour le Développement de l'Industrie du Gaz en France (SDIG)	306
137.	Combustion	306
-1.	Généralités	306
-2.	Pouvoir calorifique	306

-3.	Air de combustion et gaz brûlés.....	309
-31.	Combustibles solides et liquides.....	313
-32.	Combustibles gazeux.....	314
-33.	Valeurs approchées.....	315
-34.	Masse volumique des gaz brûlés.....	319
-35.	Capacité thermique massique des gaz brûlés.....	319
-36.	Teneur en eau et point de rosée des gaz brûlés.....	319
-4.	Température de combustion.....	320
-5.	Analyse des gaz brûlés.....	322
-51.	Combustion complète.....	323
-52.	Combustion incomplète.....	324
-53.	Diagrammes de combustion.....	325
-6.	Propagation de la flamme.....	326
138.	Machines thermiques.....	331
-1.	Moteurs à combustion externe.....	331
-11.	Machines à vapeur à pistons et turbines à vapeur.....	331
-2.	Moteurs à combustion interne.....	333
-21.	Moteurs à explosion.....	333
-22.	Moteurs Diesel.....	333
-23.	Turbines à gaz.....	334
14.	Mécanique des fluides.....	337
141.	Propriétés des fluides.....	337
-1.	Compressibilité.....	337
-2.	Viscosité.....	338
142.	Lois d'écoulement des fluides.....	340
-1.	Définitions, caractéristiques d'un écoulement.....	340
-2.	Équations des écoulements.....	343
-21.	Débit-volume et débit-masse.....	343
-22.	Équation de continuité.....	343
-23.	Équation de conservation de l'énergie ou équation de Bernoulli.....	344
-24.	Équation de conservation de la quantité de mouvement ou équation d'Euler.....	346
-25.	Équation de conservation du moment cinétique.....	348
143.	Écoulement d'un orifice.....	350
144.	Diaphragmes et tuyères.....	351
145.	Pression critique.....	354
146.	Enthalpie et vitesse.....	355
147.	Détente adiabatique.....	355
148.	Calcul des pertes de charge.....	355
-1.	Perte de charge répartie.....	356
-11.	Le coefficient de perte de charge répartie.....	356
-12.	Le diamètre de la tuyauterie ou du conduit.....	358
-2.	Perte de charge singulière.....	361
-3.	Perte de charge totale.....	366

15.	Acoustique élémentaire	371
151.	Généralités et définitions	371
152.	Caractéristiques physiques du son	373
-1.	Longueur d'onde	373
-2.	Célérité	373
-3.	Vitesse acoustique	375
-4.	Pression acoustique et niveau de pression acoustique	375
-5.	Puissance acoustique et niveau de puissance acoustique	377
-6.	Intensité acoustique et niveau d'intensité acoustique	379
-7.	Densité acoustique	380
153.	Caractéristiques psychophysiologiques du son	381
-1.	Hauteur du son	381
-2.	Intensité physiologique d'un son	382
-3.	Timbre et spectre acoustique	383
154.	Niveaux sonores pondérés et indices de gêne	384
155.	Addition de deux bruits	389
-1.	Cas de n sources sonores de même niveau acoustique	389
-2.	Cas de sources sonores de niveaux acoustiques différents	389
156.	Isolation acoustique aux bruits aériens	390
-1.	Généralités	390
-2.	Les bruits des différents équipements	391
-21.	Bruit produit par un brûleur	391
-22.	Bruit produit par un compresseur	392
-23.	Bruit produit par un moteur électrique	392
-24.	Bruit produit par une pompe	392
-25.	Bruit produit par un ventilateur	393
-26.	Bruit produit par une tour de refroidissement	395
-3.	Réduction d'un bruit propagé en champ libre	396
-31.	Niveau de pression acoustique en champ libre	396
-32.	Dispositions de réduction du bruit envisageables	396
-4.	Réduction du bruit propagé à l'intérieur du local d'émission	398
-5.	Réduction du bruit propagé d'un local d'émission à un autre local contigu à travers une paroi mitoyenne	403
-6.	Courbes d'indice d'affaiblissement acoustique	404
-7.	Acoustique et différentes parois	405
-71.	Murs et plafonds à voile simple	405
-72.	Murs à voiles multiples	406
-73.	Planchers à voiles multiples	406
-74.	Portes et fenêtres	407
-75.	Parois hétérogènes	407
157.	Isolation acoustique aux bruits solidiens par amortissement des vibrations	408
	Généralités	408
-1.	Matelas d'isolation antivibratoire	409
-2.	Isolateurs de vibrations	409
-21.	Caractéristiques d'une suspension élastique	409
-211.	Vibrations d'une machine	409
-212.	Caractéristiques d'une suspension élastique	412
-213.	Caractéristiques d'amortissement d'une suspension élastique	412

-22.	Fonctionnement d'une suspension élastique.....	414
-221.	Fonctionnement statique.....	414
-222.	Fonctionnement dynamique.....	414
-23.	Différents types de suspension élastique.....	419
-231.	Suspension élastique directe.....	419
-232.	Suspension élastique indirecte.....	419
-233.	Suspension semi-rigide.....	419
-234.	Liaison avec l'extérieur.....	420
-24.	Détermination d'une suspension élastique.....	420
-241.	Détermination du centre de gravité.....	420
-242.	Détermination de la charge par support.....	421
-243.	Détermination de la flèche.....	423
-25.	Exemple de choix d'une suspension pour un ventilateur.....	424
16.	Appareils de mesure.....	427
161.	Généralités.....	427
162.	Appareils de mesure des pressions.....	428
-1.	Généralités.....	428
-2.	Manomètres à colonne de liquide verticale ou inclinée.....	430
-3.	Pressiomètres à tore pendulaire.....	433
-4.	Pressiomètres à cloche et à flotteur.....	434
-5.	Manomètres à effet de ressort.....	434
-6.	Manomètres électroniques digitaux.....	438
-7.	Manomètres différentiels à cellule céramique capacitive.....	438
-8.	Manomètres enregistreurs.....	440
163.	Appareils de mesure des températures.....	440
-1.	Généralités.....	440
-2.	Thermomètres à dilatation.....	442
-3.	Thermomètres à résistance électrique.....	444
-4.	Thermomètres à thermoélément.....	445
-5.	Pyromètres optiques.....	450
-6.	Pyromètres à balayage opticomécanique.....	450
-7.	Thermomètres divers.....	451
164.	Appareils de mesure directe ou indirecte des débits instantanés.....	452
-1.	Généralités.....	452
-2.	Réservoirs étalonnés transportables.....	452
-3.	Compteurs à gaz.....	452
-4.	Compteurs à pistons.....	453
-5.	Compteurs à moulinet, compteurs à vis ou compteurs-turbines.....	455
-6.	Débitmètres.....	459
-61.	Débitmètres à bascule et à tambour.....	459
-62.	Débitmètres à flotteur ou rotamètres ou gyromètres.....	460
-63.	Débitmètres ultrasoniques.....	462
-64.	Débitmètres à rayon laser.....	462
-65.	Débitmètres électromagnétiques.....	463
-66.	Débitmètres à oscillateur fluïdique.....	464
-67.	Débitmètres massiques à effet de Coriolis.....	465
-7.	Organes déprimogènes ou ajutages.....	466
-8.	Tubes de Pitot et de Prandl.....	468
-9.	Anémomètres.....	470
-10.	Mesure des débits-volumes dans les conduits d'air.....	473

-101.	Mesure par points	473
-102.	Méthode de la boucle.....	474
-103.	Tuyère amont.....	474
-104.	Mesures à l'aide d'organes déprimogènes.....	474
-105.	Mesure des vitesses uniponctuelles	474
-106.	Sondes de pression dynamique.....	475
-107.	Mesure des débits de fuite des conduits aérauliques	475
-108.	Méthode du gaz traceur	476
-11.	Mesure de débits-volumes au niveau des bouches d'air.....	476
-111.	Mesures ponctuelles	476
-112.	Méthode du pavillon de mesure.....	476
-113.	Méthode du zéro	477
-114.	Méthode empirique du sac enroulé.....	477
-115.	Tomographie laser	477
-12.	Mesure d'une vitesse d'air ambiante	477
-13.	Mesure d'un taux de renouvellement d'air	480
165.	Compteurs et répartiteurs d'énergie thermique.....	481
-1.	Généralités	481
-2.	Réglementation	487
-21.	Documents concernant la répartition des frais de chauffage.....	487
-211.	Décret du 30 septembre 1991	487
-212.	Arrêté du 30 septembre 1991	489
-213.	Décret du 10 décembre 1976.....	489
-214.	Arrêté du 29 septembre 1977	491
-215.	Arrêté du 8 février 1982.....	494
-216.	Arrêté du 13 mai 1983.....	496
-22.	Documents concernant la répartition des frais d'eau chaude sanitaire.....	500
-221.	Décret du 19 juin 1975.....	500
-222.	Décret du 22 juin 1982.....	500
-223.	Arrêté du 14 décembre 1982	501
-23.	Autres documents	506
-231.	Recommandation n° 7 de la Commission relative à la Copropriété.	506
-232.	Décret du 6 mai 1988	508
-3.	Compteurs et répartiteurs d'énergie thermique.....	514
-31.	Appareils pour installations de chauffage	514
-311.	Appareils de mesure directe	514
-312.	Appareils de mesure indirecte	522
-32.	Appareils pour installations d'eau chaude sanitaire	524
166.	Appareils de mesure d'un niveau.....	524
-1.	Cas des réservoirs ouverts.....	524
-2.	Cas des réservoirs sous pression.....	526
167.	Analyseurs de gaz	527
-1.	Analyseurs des composants gazeux des gaz brûlés à l'émission	527
-11.	Analyseurs monogaz.....	528
-12.	Analyseurs multigaz.....	534
-2.	Analyseurs des composants gazeux des gaz brûlés à l'immission	538
-3.	Analyseurs de gaz ambiants.....	539

-31.	Analyseurs de gaz carbonique	539
-32.	Analyseurs d'oxyde de carbone	539
-33.	Analyseurs à tube réactif pour CO, CO ₂ , SO ₂ , NO _x	540
-34.	Analyseurs d'ozone O ₃	540
168.	Appareils de mesure d'une humidité	541
-1.	Tubes absorbeurs	541
-2.	Hygromètres à surface refroidie	541
-3.	Hygromètres organiques	542
-4.	Psychromètres	542
-5.	Hygromètres à cellule hygroscopique	546
-6.	Hygromètres à variation de couleur	546
-7.	Hygromètres à éléments plastiques	546
-8.	Hygromètres électrolytiques	547
-9.	Hygromètres à capacité	547
169.	Appareils de mesure divers	547
-1.	Appareils de mesure des bruits et des vibrations	547
-2.	Appareils de mesure des polluants particuliers	551
-3.	Appareils de mesure d'une viscosité	552
-4.	Appareils de mesure d'une capacité thermique massique	554
-5.	Appareils de mesure des degrés-jours	554
-6.	Appareils de mesure du rayonnement solaire	554
-7.	Appareils de mesure de la teneur en eau d'un matériau de construction	554
-8.	Appareils de mesure de la radioactivité de l'air	556
-9.	Appareils de mesure d'un potentiel hydrogène	556
-10.	Appareils de mesure d'une conductivité électrique	557
-11.	Appareils de mesure d'une vitesse de rotation	557
-12.	Appareils d'observation d'une machine tournante	557
17.	Techniques de régulation	559
171.	Définitions	559
172.	Connaissance de l'installation à régler	561
173.	Équipement de réglage	564
174.	Différents types de régulateurs	566
-1.	Régulateurs à action tout ou rien et à action flottante	566
-2.	Régulateurs à action proportionnelle	568
-21.	Régulateurs électriques à action proportionnelle	570
-22.	Régulateurs pneumatiques à action proportionnelle	571
-3.	Régulateurs à action intégrale	572
-4.	Régulateurs à action proportionnelle et intégrale	573
-41.	Régulateurs électriques à action proportionnelle et intégrale	574
-42.	Régulateurs pneumatiques à action proportionnelle et intégrale	574
-5.	Régulateurs électropneumatiques	575
175.	La régulation moderne	575
-1.	Du règne de l'électromécanique à celui de l'électronique	575
-2.	Un exemple de régulateur à microprocesseur raccordable sur une unité de commande programmable formant sous-station locale	579

-21.	Caractéristiques générales	579
-22.	Principe de fonctionnement	581
-23.	Réglage manuel de la courbe de chauffe et optimisation des heures de mise en route et d'arrêt	582
-24.	Raccordement à une unité de commande programmable	584
-3.	De la sous-station locale au poste central de supervision	587
-31.	Intérêt de la Gestion Technique du Bâtiment	587
-32.	Les différentes architectures possibles	589
-321.	Systèmes centralisés	589
-322.	Systèmes décentralisés	589
-33.	Un exemple de système de Gestion Technique de Bâtiment	592

18. Management énergétique 597

181. Généralités 597

-1.	Introduction.....	597
-2.	Définitions.....	597
-3.	Équivalences énergétiques	598
-4.	Perspectives énergétiques mondiales	599
-5.	L'Europe de l'énergie.....	602
-6.	Orientations de la politique énergétique française.....	603
-7.	Quelques organismes à connaître.....	605
-71.	Organismes français	605
-711.	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie	605
-712.	Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques	608
-713.	Institut Français de l'Énergie	609
-714.	Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières.....	610
-715.	Service des Énergies Renouvelables et de l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie.....	610
-716.	Observatoire de l'Énergie.....	610
-717.	Association des Ingénieurs en Climatologie, Ventilation et Froid	611
-718.	Association Technique Énergie Environnement	611
-72.	Organismes internationaux.....	611
-721.	Agence Internationale de l'Énergie.....	611
-722.	Conseil Mondial de l'Énergie	612

182. Ressources énergétiques 613

-1.	Combustibles solides	613
-11.	Bois.....	613
-12.	Tourbe.....	613
-13.	Charbons	613
-2.	Combustibles liquides.....	615
-3.	Combustibles gazeux	617
-31.	Gaz naturel.....	617
-32.	Gaz de pétrole liquéfiés	622
-4.	Électricité.....	625
-5.	Sources renouvelables d'énergie.....	631
-51.	Énergie de la biomasse	631
-52.	Énergie du soleil	633
-53.	Énergie du vent.....	635
-54.	Énergie de l'eau.....	636
-541.	Énergie mécanique	636
-542.	Énergie thermique	637

-55.	Programme français 1992-1996 de développement des sources renouvelables d'énergie	639
183.	Utilisation de l'énergie	640
	Généralités.....	640
-1.	Production d'énergie mécanique à des fins de fonctionnement d'une machine ..	641
-11.	Machines thermiques à combustion externe.....	641
-12.	Machines thermiques à combustion interne.....	644
-2.	Production d'énergie thermique à des fins de chauffage d'air ambiant	645
-3.	Production d'énergie thermique à des fins de fabrication industrielle	645
-4.	Production simultanée d'énergie mécanique et d'énergie thermique ou cogénération (également dénommée couplage chaleur-force ou installations à énergie totale).....	646
184.	Les accumulateurs de chaleur	648
-1.	Réservoirs de stockage pour eau chaude sanitaire	648
-2.	Réservoirs de stockage pour eau chaude ou eau surchauffée.....	648
-3.	Stockage d'énergie en bassin d'eau	648
-4.	Stockage d'énergie en nappe aquifère.....	648
-5.	Réservoirs de stockage de vapeur	650
-6.	Stockage par chaleur latente.....	651
-7.	Autres types de réservoirs de stockage	652
-8.	Accumulateurs de froid.....	652
185.	Valorisation des rejets thermiques.....	653
-1.	Rejets thermiques sous forme de vapeur.....	653
-2.	Rejets thermiques sous forme de gaz brûlés	654
-21.	Valorisation de gaz brûlés à des fins de production de vapeur	654
-22.	Valorisation de gaz brûlés à des fins de réchauffage d'eau.....	654
-23.	Valorisation de gaz brûlés à des fins de réchauffage d'air	656
-24.	Cycle ORC (Organic-Rankine-Cycle)	656
-3.	Rejets thermiques sous forme d'eau et rejets mixtes sous forme eau/gaz brûlés.	658
186.	Coût final de l'énergie produite.....	660
-1.	Coût du capital	660
-2.	Coût intermédiaire de l'énergie produite	663
-21.	Cas des installations fonctionnant avec un combustible classique	663
-22.	Cas des installations directement alimentées en énergie produite	663
-23.	Prix de vente des différents combustibles ou de l'énergie électrique ou thermique directement vendue.....	663
-3.	Coût de la conduite des installations et de leur maintenance	668
-4.	Coûts divers.....	668
-5.	Coût total de l'énergie produite.....	669
-6.	Indice de consommation énergétique.....	669
-7.	Rentabilité	670
-71.	Méthode du temps de retour simple du capital	670
-72.	Méthode des annuités.....	670
-73.	Méthode de la durée d'amortissement	671
-74.	Méthode des économies escomptables	671
-75.	Méthode du calcul dit dynamique.....	672
187.	Économies d'énergie	673
-1.	Historique.....	673
-2.	Diagnostic thermique	673

-21.	Généralités	673
-22.	Déroulement du diagnostic thermique.....	676
-221.	Phase I : description et examen de la construction et de ses installations	676
-222.	Phase II : exploitation et traitement des données	679
-2221.	Analyse critique de la situation existante	679
-2222.	Tests et exploitation	679
-223.	Phase III : synthèse.....	680
-3.	Mesures générales d'économies d'énergie	680
-4.	Mesures particulières d'économies d'énergie.....	682
-41.	Cas des constructions du secteur Habitat	682
-411.	Isolation thermique.....	682
-412.	Limitation de la température ambiante.....	683
-413.	Limitation de la température de puisage de l'eau chaude sanitaire	683
-414.	Contrôle des débits d'air	683
-415.	Régulation et caractéristiques des installations de chauffage	683
-4151.	Cas des bâtiments neufs	683
-4152.	Cas des bâtiments existants	684
-416.	Régulation et caractéristiques des installations de production d'eau chaude sanitaire	685
-4161.	Cas des bâtiments neufs	685
-4162.	Cas des bâtiments existants	685
-417.	Répartition des frais de chauffage et d'eau chaude sanitaire	686
-42.	Cas des constructions des secteurs Tertiaire et Industriel.....	686
-421.	Isolation thermique.....	686
-422.	Limitation de la température ambiante.....	686
-423.	Limitation de la température de puisage de l'eau chaude sanitaire	687
-424.	Contrôle des débits d'air	687
-425.	Installations de conditionnement d'air	687
-426.	Régulation et caractéristiques des installations de chauffage	688
-4261.	Cas des bâtiments neufs	688
-4262.	Cas des bâtiments existants	689
-427.	Régulation et caractéristiques des installations de production d'eau chaude sanitaire	689
-428.	Répartition des frais de chauffage et d'eau chaude sanitaire.....	689
-43.	Cas des constructions du secteur Agricole ainsi que des piscines et des patinoires	689
-5.	Rendements minimaux des générateurs thermiques à combustion.....	689
-6.	Équipement d'exploitation des générateurs thermiques à combustion.....	690
-7.	Visite et examen périodiques des installations thermiques.....	692
-8.	Contrats d'exploitation de chauffage et de climatisation.....	692

19. Génie Climatique et protection de l'environnement

191.	Généralités	693
192.	Émissions et immissions polluantes.....	694
-1.	Les trois niveaux de pollution atmosphérique	694
-2.	Les polluants spécifiques dus aux activités du Génie Climatique	697
	Généralités	697
-21.	Polluants émis par les installations thermiques brûlant un combustible fossile.....	697
-211.	Les oxydes d'azote NO _x	697
-212.	Le dioxyde de soufre SO ₂	698
-213.	L'oxyde de carbone CO.....	698

	-214. Le gaz carbonique CO ₂	698
	-215. Les particules en suspension PS	698
	-22. Polluants émis par les installations thermiques brûlant des déchets ménagers	698
	-23. Polluants émis par les installations frigorifiques	699
-3.	Impact des polluants sur l'environnement	699
	-31. Considérations générales	699
	-32. L'effet de serre	701
	-33. Altération de la couche d'ozone stratosphérique	702
	-34. Augmentation de la teneur en ozone de la couche d'air troposphérique ..	702
	-35. Pluies acides	703
-4.	Surveillance de la pollution de l'air	703
	-41. Échelle de qualité de l'air, indice du jour	703
	-42. Un exemple de réseau de surveillance	703
	-43. Zones de protection spéciale, zones sensibles et procédure d'alerte	708
-5.	Statistiques	710
193.	Réglementation	712
	-1. Généralités	712
	-2. Réglementation française	713
	-21. Mesures techniques visant les installations de combustion en général	713
	-211. Qualité des combustibles	713
	-212. Indice de noircissement (émissions particulaires)	714
	-213. Indice pondéral (émissions particulaires)	714
	-214. Dispersion des gaz de combustion	714
	-215. Équipement d'exploitation des générateurs thermiques à combustion	714
	-216. Visite et examen périodiques des installations thermiques	714
	-217. Arrêt obligatoire des installations	715
	-218. Témoins des mesures pondérales	715
	-22. Mesures techniques visant les installations de combustion classées	715
	-23. Mesures économiques	717
	-3. Réglementation communautaire	717
194.	Dispositions destinées à limiter les émissions polluantes des installations de combustion	719
	-1. Dispositions concernant le combustible	719
	-2. Dispositions concernant la combustion	720
	-21. Réduction des émissions de SO ₂ (désulfuration in-situ)	720
	-211. Lit fluidisé dense	720
	-212. Lit fluidisé circulant	720
	-213. Injection directe dans le foyer et absorption à sec	721
	-214. Injection dans le foyer et humidification des poussières dans les gaz de combustion	722
	-22. Réduction des émissions de NO _x (dénitrification in-situ)	722
	-221. Lit fluidisé circulant	722
	-222. Autres procédés	722
	-223. Brûleurs bas NO _x	723
	-23. Réduction des émissions de poussières in-situ	724
	-24. Réduction des autres polluants in-situ	724
	-3. Dispositions concernant l'épuration des gaz brûlés	724
	-31. Réduction du SO ₂ (désulfuration sur gaz brûlés)	724
	-311. Procédé par voie humide	724

-312.	Procédé par voie semi-sèche à atomisation d'une suspension de chaux	725
-313.	Procédé par voie sèche	725
-3131.	Cas d'un procédé sec à chambre de désulfuration (chaudière Aude)	725
-3132.	Cas d'un procédé sec à média poreux filtrant type coke actif	727
-314.	Procédé par condensation en dessous du point de rosée acide	727
-32.	Réduction des NO _x (dénitrification sur gaz brûlés).....	727
-321.	Réduction catalytique sélective (SCR).....	727
-322.	Réduction catalytique non sélective (NSCR).....	728
-323.	Réduction non catalytique sélective (SNCR).....	728
-324.	Adsorption sur coke actif	728
-33.	Réduction des poussières sur les gaz brûlés	728
-331.	Dépoussiéreurs mécaniques	728
-332.	Dépoussiéreurs électrostatiques ou électrofiltres	729
-333.	Dépoussiéreurs à couche filtrante.....	729
-34.	Réduction des autres polluants sur les gaz brûlés.....	731
195.	Quelques organismes à connaître.....	731
-1.	Institut Français de l'Environnement (IFEN)	731
-2.	Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA)	731
-3.	Ministère de l'Environnement	732
-4.	Autres organismes.....	732
-41.	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (Ademe)	732
-42.	Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA) ..	732
-43.	Centre de Formation et de Documentation sur l'Environnement (CFDE)...	732
-44.	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) ..	733