

PREFACE

Parmi les métiers émergents à l'aube du prochain millénaire, ceux liés au confort de l'habitat des bâtiments recevant du public et industriels ont un bel avenir.

Les usagers exigent de plus en plus des conditions d'ambiance en température, humidité, et environnement d'une grande qualité.

Les aspects réglementaires du traitement des ambiances relatifs à l'hygiène, la santé, la salubrité, la sécurité, l'acoustique et l'environnement nécessitent la formation de spécialistes de haut niveau avec des compétences techniques, relationnelles et organisationnelles, maîtrisant une démarche de projet pour concevoir des traitements d'ambiances correspondant au cahier des charges des maîtres d'ouvrage.

Une équipe de professionnels expérimentés, coordonnée par Monsieur Roger CASARI, Ingénieur Conseil en conditionnement thermique et hydrique des ambiances, a élaboré un guide de conception des installations de climatisation et de conditionnement de l'air qui permettra aux maîtres d'œuvre de maîtriser une démarche méthodologique du projet.

Il sera également un outil très précieux au service des enseignants chargés de la formation des techniciens supérieurs Fluides – Energies – Environnement.

Je félicite très chaleureusement l'équipe de professionnels dirigée par Monsieur Roger CASARI pour l'excellent travail qu'ils ont conduit et souhaite que ce guide ait tout le succès qu'il mérite pleinement.



Raoul CANTAREL

Inspecteur Général de l'éducation nationale
Sciences et Techniques Industrielles

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
CHAPITRE 1 - LA SITUATION DU TRAITEMENT DES AMBIANCES ...	17
1.1 - Définitions	19
1.2 - Les objectifs du traitement des ambiances	19
1.2.1 - Qualité des installations	21
1.2.2 - Evolution de l'exigence de qualité d'ambiance	21
1.2.3 - Conditions d'ambiance en température et humidité	22
1.3 - Les aspects réglementaires du traitement des ambiances	22
1.3.1 - Réglementation thermique	22
1.3.2 - Réglementation relative à l'hygiène, la salubrité, la santé et la sécurité	23
1.3.3 - Réglementation acoustique	23
1.3.4 - Réglementation concernant l'environnement	23
1.4 - Les marchés du traitement des ambiances	24
1.4.1 - Appel au traitement de l'air	24
1.5 - Des acteurs tournés vers l'innovation	25
CHAPITRE 2 - LES DIFFÉRENTS ASPECTS D'UN PROJET	27
2.1 - Le diagramme de « vie » d'un projet de traitement d'ambiance	29
2.2 - L'organigramme de la conception	30
2.2.1 - Acquisition des données	30
2.2.2 - Détermination de l'installation	32
2.2.3 - Etude et implantation des réseaux de fluides	33
2.2.4 - Aide à la décision	33
2.3 - Les missions d'ingénierie	35
2.4 - L'argumentaire d'investissement	40
2.4.1 - Influence de l'isolation du bâtiment sur la demande de climatisation	40
2.4.2 - Justifications économiques du traitement des ambiances	40
CHAPITRE 3 - LA TECHNIQUE DE L'AIR HUMIDE	47
3.1 - L'air humide de notre environnement	49
3.2 - Les caractéristiques de l'air humide	49
3.3 - Les diagrammes de l'air humide	56

3.4 - Exemple de lectures	58
3.5 - Les évolutions d'un air qui subit une transformation	59
CHAPITRE 4 - LES ÉLÉMENTS DU TRAITEMENT DE L'AIR	61
4.1 - Traitements élémentaires de l'air	63
4.2 - Présentation d'une centrale de traitement	63
4.3 - Section de mélange	67
4.4 - Section de filtrage	69
4.5 - Section de chauffage	76
4.6 - Section de refroidissement	78
4.7 - Section d'humidification	82
4.8 - Section de déshumidification	86
4.9 - Section de ventilation	87
4.10 - Diffusion de l'air dans les locaux	90
4.10.1 - Diffusion par induction à débit constant (dit aussi par dilution)	91
4.10.2 - Diffusion par induction à débit variable	93
4.10.3 - Diffusion de l'air par déplacement	93
4.10.4 - Flux laminaires	94
4.11 - Exemples de traitement de l'air	96
4.11.1 - Refroidissement sur une batterie à eau froide	96
4.11.2 - Comparaison énergétique entre injection de vapeur et pulvérisation d'eau sans reliquat	96
Bibliographie	101
CHAPITRE 5 - LES CONDITIONS DE BASE DU PROJET	103
5.1 - La signification des conditions de base	105
5.1.1 - Justification	105
5.1.2 - Interdépendance entre conditions d'ambiance exigées et système de traitement envisagé	105
5.2 - Les conditions d'ambiance	107
5.2.1 - Conditions d'ambiance requises par les personnes	107
5.2.2 - Conditions d'ambiance requises pour la fabrication	117
5.3 - Les conditions extérieures	127
Bibliographie	138
CHAPITRE 6 - LA DÉTERMINATION DES CHARGES ENTHALPIQUES ET HYDRIQUES DES LOCAUX	139
6.1 - Les définitions. Paramètres du site	141
6.1.1 - Définition des charges	141
6.1.2 - Situations pour le calcul des charges	142
6.2 - La méthode des flux solaires maximum	142
6.2.1 - Charges climatiques	142
6.2.2 - Charges internes	147
6.2.3 - Bilan des charges d'un local	151
6.3 - Méthode tenant compte de la dynamique du bâtiment	154
6.4 - Méthode des constructeurs pour la sélection des climatiseurs individuels	154

6.5 - Exemple : détermination des charges d'un hall de piscine	156
ANNEXE - Bases de temps et calculs solaires	163
Bibliographie	165

CHAPITRE 7 - LA CONCEPTION DES TRAITEMENTS D'AMBIANCES

CHAPITRE 7 - LA CONCEPTION DES TRAITEMENTS D'AMBIANCES	167
INTRODUCTION	169
7.1 - Conditions de base externes et internes	170
7.1.1 - Conditions externes	170
7.1.2 - Conditions d'ambiance	171
7.2 - Charges enthalpiques et hydriques Φ et E	171
7.3 - Droite de charge du local γ	174
7.4 - Détermination du soufflage	176
7.5 - Etude du traitement de l'air	176
7.6 - Calculs des débits d'air	179
7.7 - Déterminations spécifiques au procédé par déplacement	180
7.8 - Calculs des puissances	182
7.9 - Suite de la conception	183
7.10 - En conclusion	184
7.11 - Exemple	192

CHAPITRE 8 - LA PRODUCTION D'EAU FROIDE PAR SYSTÈME THERMODYNAMIQUE

CHAPITRE 8 - LA PRODUCTION D'EAU FROIDE PAR SYSTÈME THERMODYNAMIQUE	203
8.1 - Généralités	205
8.1.1 - Les fluides frigorigènes	205
8.1.2 - Dispositions normatives	205
8.1.3 - Dispositions légales	206
8.2 - Centrales d'eau froide	206
8.2.1 - Critères de définition	206
8.2.2 - Choix technologiques	206
8.2.3 - Critères économiques	207
8.2.4 - Les constructeurs	208
8.3 - Les composants du groupe	210
8.3.1 - Les compresseurs	210
8.3.2 - La régulation du débit de frigorigène	210
8.3.3 - Les condenseurs	212
8.3.4 - Les évaporateurs	213
8.4 - La constitution des groupes	214
8.4.1 - Condensation par air	214
8.4.2 - Condensation par eau	214
8.4.3 - Récupération de chaleur	214
8.4.4 - Pompes à chaleur	214
8.4.5 - Le froid " gratuit "	214
8.5 - Les réseaux de distribution d'eau froide	215
8.5.1 - Principes fondamentaux	215
8.5.2 - Le réseau monotube ou " monotube dynamique " technologie	216

8.6	- Le stockage de froid	216
8.6.1	- Quand faut-il stocker et pourquoi ?	216
8.6.2	- Les différents systèmes	217
8.7	- Les groupes frigorifiques en puissance partielle	218
8.7.1	- L'équilibre du groupe	218
8.7.2	- Les conditions d'essai des performances	219
8.7.3	- Le choix économique d'un groupe	220
8.8	- Exemple de sélection d'un groupe frigorifique de refroidissement d'eau froide	220
8.8.1	- Données du problème	220
8.8.2	- Matériel sélectionné	221
8.8.3	- Fonctionnement d'hiver	221
	Bibliographie	222

CHAPITRE 9 - L'AÉRAULIQUE 223

9.1	- L'équilibre des débits et des pressions	225
9.1.1	- Présentation	225
9.1.2	- Equilibre des débits dans les installations	225
9.1.3	- Maîtrise des transferts entre zones des bâtiments	226
9.1.4	- Pressions et dépressions dues au vent et aux différences de température ...	227
9.2	- Le tracé des conduits	228
9.2.1	- Définition du système	228
9.2.2	- Tracé unifilaire	229
9.2.3	- Dessin du réseau	230
9.3	- Le choix des conduits	230
9.3.1	- Les différents types de conduits	230
9.3.2	- Choix d'un type de conduit	230
9.4	- Le dimensionnement des conduits	233
9.4.1	- Méthode du choix de la vitesse	233
9.4.2	- Méthode du choix de la perte de charge	234
9.4.3	- Méthode de la récupération de pression dynamique	234
9.5	- Les pertes de charge	235
9.5.1	- Pertes de charge linéaires	235
9.5.2	- Pertes de charge singulières	236
9.5.3	- Influences du débit et de la masse volumique sur les pertes de charges	237
9.6	- L'équilibrage	237
9.6.1	- Buts et moyens de l'équilibrage	237
9.6.2	- Implantation des organes d'équilibrage	237
9.6.3	- Dosage de l'équilibrage entre les différents niveaux	238
9.6.4	- Sélection d'un organe d'équilibrage	238
9.7	- Les ventilateurs	239
9.7.1	- Présentation	239
9.7.2	- Les différents types de ventilateurs	239
9.7.3	- Comparaison des ventilateurs à action et à réaction	240
9.8	- Regroupement des documents utilitaires	241
9.9	- Exemple de calcul d'une installation	245
9.9.1	- Calcul de la branche principale	245
9.9.2	- Calcul de la branche dérivée B2-1	245
	Bibliographie	247

CHAPITRE 10 - L'HYDRAULIQUE	249
10.1 - Les régimes de température d'eau et leurs conséquences	251
10.1.1 - Lois générales	251
10.1.2 - Régime de température d'un circuit de chauffage	251
10.1.3 - Régime de température d'un circuit froid	251
10.2 - Les tuyauteries	252
10.2.1 - Matériaux	252
10.2.2 - Allure des distributions	252
10.2.3 - Dimensionnement des conduites	253
10.3 - Les principes de régulation hydraulique	253
10.3.1 - Modulation de la puissance par action sur le débit d'eau	253
10.3.2 - Modulation de la puissance par action sur la température d'entrée de l'eau ..	253
10.3.3 - Choix d'un mode de régulation hydraulique	254
10.3.4 - Dimensionnement des robinets de régulation	254
10.4 - L'alimentation des circuits à partir des générateurs	255
10.4.1 - Utilisation d'un échangeur de séparation	255
10.4.2 - Les deux principes de raccordement de circuits multiples sur un générateur	255
10.4.3 - Conception et calcul des bouteilles	256
10.4.4 - Raccordement sur le circuit d'un générateur supplémentaire	258
10.5 - Le calcul des pertes de charge - L'équilibrage	259
10.5.1 - Calcul des pertes de charge	259
10.5.2 - Principe du calcul d'équilibrage	259
10.5.3 - Importance de l'équilibrage	260
10.5.4 - Où réaliser les équilibrages	260
10.5.5 - Répartition de l'équilibrage entre les différents niveaux	260
10.5.6 - Prise en compte des différents niveaux dans le calcul d'équilibrage	260
10.5.7 - Sélection des robinets de régulation et équilibrage de 1 ^{er} niveau	261
10.5.8 - Position des robinets de maintien de pression différentielle	261
10.6 - Les pompes centrifuges	261
10.6.1 - Point de fonctionnement	261
10.6.2 - Détermination de la hauteur manométrique	261
10.6.3 - Sélection d'une pompe	262
10.6.4 - Intérêt du réglage de débit des pompes	262
10.7 - L'expansion. La sécurité en pression	263
10.7.1 - Quantité d'eau	263
10.7.2 - Température moyenne des circuits	263
10.7.3 - Pressions minimale et maximale	263
10.7.4 - Dimensionnement d'un vase fermé à pression variable	263
10.7.5 - Mode de remplissage en eau	263
10.7.6 - Pression de service des équipements et tarage des soupapes de sécurité ..	264
10.8 - Regroupement des documents utilitaires	265
10.9 - Exemple de calcul des pertes de charge	269
Bibliographie	272
CHAPITRE 11 - L'ACOUSTIQUE	273
11.1 - Généralités	275
11.2 - Expression des exigences acoustiques	275
11.2.1 - Niveau de pression acoustique dans un local	275
11.2.2 - Position des points de mesures	276
11.2.3 - Caractéristiques du local de réception	276
11.2.4 - Point de fonctionnement du matériel	276

11.3 - Les données à collecter pour l'étude de l'ensemble des problèmes acoustiques	276
11.3.1 - Les données fournies par les constructeurs des matériels doivent être utilisables	276
11.3.2 - Rôle des installateurs	276
11.3.3 - Rappel aux projeteurs	278
11.4 - Isolement acoustique aux bruits aériens entre un local technique et des locaux voisins	278
11.4.1 - Responsabilité des différents intervenants.....	278
11.4.2 - Objectif d'isolement acoustique entre le local technique et les pièces voisines	278
11.5 - Isolation contre les vibrations	279
11.5.1 - Fréquences excitatrices et fréquences propres des systèmes	279
11.5.2 - Choix des types de produits antivibratiles	279
11.5.3 - Quelques principes à respecter	279
11.6 - Consommation de la puissance acoustique par le réseau de ventilation	280
11.6.1 - Atténuation des longueurs droites de conduits à sections rectangulaires ou circulaires	280
11.6.2 - Atténuation par les coudes	281
11.6.3 - Les dérivations	281
11.6.4 - La réflexion de l'énergie acoustique au droit des bouches ou des grilles	282
11.6.5 - Autres cas	282
11.7 - Régénération du bruit par le réseau	282
11.7.1 - Régénération dans les conduits droits	283
11.7.2 - Autres cas	283
11.8 - Consommation de l'énergie acoustique par le local de réception	283
11.8.1 - Les caractéristiques du local	283
11.8.2 - Directivité des bouches et diffuseurs.....	285
11.9 - Principes de diminution des bruits dans les réseaux	285
Bibliographie	286

CHAPITRE 12 - LA LOGIQUE DE FONCTIONNEMENT 287

12.1 - Présentation	289
12.2 - L'intégration de la régulation à l'installation.....	289
12.2.1 - Adaptation réciproque des différents éléments	289
12.2.2 - Buts de la régulation-programmation	290
12.2.3 - Analyse du fonctionnement et sa définition	290
12.3 - Les moyens coordonnés d'analyse	291
12.3.1 - Variation de l'objectif d'ambiance	291
12.3.2 - Schéma général de l'installation	293
12.3.3 - Logique de fonctionnement	293
12.3.4 - Schéma simplifié de commande	295
12.4 - Des principes pour une logique efficace	297
12.4.1 - Energies	297
12.4.2 - Tarif de l'énergie	297
12.4.3 - Sondes thermostatiques	297
12.4.4 - Sécurités	298
12.4.5 - Réglage de l'humidité	298
12.4.6 - Emplacement des sondes de réglage	298
12.4.7 - Délestage	298
12.4.8 - Optimisation	299
12.4.9 - Tableau de commande et de contrôle	299

12.5 - Gestion centralisée	299
Bibliographie	301

CHAPITRE 13 - L'ÉVALUATION PRÉVISIONNELLE DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE..... 303

13.1 - Les méthodologies pour l'évaluation des consommations	305
13.1.1 - Appréciation par le nombre d'heures à la puissance nominale	305
13.1.2 - Ordre des calculs commun à l'ensemble des méthodes	305
13.1.3 - Bases de calculs	306
13.2 - L'évaluation par regroupement des cycles de traitement de l'air	308
13.2.1 - Détermination des besoins du bâtiment	308
13.2.2 - Réduction du nombre de cas intervenant dans le calcul	308
13.2.3 - Puissances utiles des éléments de traitement de l'air	309
13.2.4 - Puissances requises, par analyse des pertes	313
13.2.5 - Puissances appelées par les éléments de production de chaud et de froid ..	314
13.3 - Le calcul des consommations et des coûts	316
13.3.1 - Consommations des différents éléments	316
13.3.2 - Coûts correspondants	316
13.3.3 - Etude de sensibilité	316
13.4 - L'utilisation de logiciels de calcul du marché	316
Annexe : Recherche des conditions de soufflage	317
Bibliographie	318

CHAPITRE 14 - LA GESTION GLOBALE DES INSTALLATIONS CLIMATIQUES..... 319

14.1 - La nécessité de gérer les installations	321
14.1.1 - Exploitation	321
14.1.2 - Maintenance	324
14.2 - Les contrats d'exploitation	335
14.2.1 - Contrats de moyens ou de résultats	335
14.2.2 - Contrats types	335
14.2.3 - Mode de facturation	336
14.2.4 - Vers un contrat global	336
14.2.5 - A l'étranger	336
14.3 - L'incidence de la prise en compte de la gestion sur la conception des installations.....	337
14.3.1 - Concertation	337
14.3.2 - Qualité	337
14.3.3 - Coût global	338
14.4 - Conclusion	341
Bibliographie	344

CHAPITRE 15 - LES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DES AMBIANCES..... 345

15.1 - Préambule	347
15.2 - Unités autonomes de conditionnement de l'air	348

15.3 - Centrale dédiée à un seul local	352
15.4 - Centrale par groupe de locaux	353
15.5 - Débit d'air variable	354
15.6 - Double conduit d'air	356
15.7 - Multizone	356
15.8 - Installations combinées air et eau	359
15.9 - Centrale avec corrections locales	359
15.10 - Ejecto-convecteurs [ou Inducteurs]	359
15.11 - Ventilo-convecteurs	362
15.12 - Installations à air neuf centralisé et traitement individualisé	367
15.13 - Double flux rafraîchi	367
15.14 - Unités de traitement d'ambiance	368
15.15 - Unités autonomes réversibles sur boucle d'eau	368
15.16 - Débit variable de fluide frigorigène	373
15.17 - Installation « aqua-système »	375
15.18 - Procédés de diffusion de l'air dans les locaux	376
15.19 - Autres procédés de traitement d'ambiance	376
15.20 - Stockage de froid	377
15.21 - Conclusion de l'étude des installations	378
Bibliographie	380