

Table des matières

Chapitre 1 : Historique – contexte	1
Chapitre 2 : Généralités sur les pompes à chaleur	5
2.1 Principes thermodynamiques	5
2.2 Applications à la production de chaud et de froid	8
2.3 Cycle de Carnot inversé	9
2.4 Familles de pompes à chaleur	11
Chapitre 3 : Pompe à chaleur à compression	13
3.1 Principe de fonctionnement	13
3.2 Diagramme de Mollier	14
3.3 Coefficients de performance	17
3.4 Éléments constitutifs d'une PAC à compression	21
3.5 Les fluides frigorigènes	32
3.6 Pompe à chaleur réversible	36
3.7 Thermofrigopompe	37
3.8 Pompes à chaleur haute température	40
Chapitre 4 : Pompes à chaleur à absorption	43
4.1 Principe de fonctionnement	43
4.2 Exemples de réalisation	45
4.3 Comparaison : pompe à chaleur à compression et pompe à chaleur à absorption	47
4.4 Performances de l'absorption pour différentes utilisations	48

Chapitre 5 : Détermination des besoins énergétiques	49
5.1 Évolution des consommations énergétiques	49
5.2 Détermination des besoins de chauffage	50
5.3 Consommation eau chaude sanitaire	57
5.4 Détermination des besoins pour climatisation (besoins de froid)	60
Chapitre 6 : Systèmes d'émission de chauffage et/ou de rafraîchissement	63
6.1 Émission en mode hydraulique	63
6.2 Émission en mode aéraulique	70
Chapitre 7 : Présentation des sources	79
7.1 Air	79
7.2 Eau	80
7.3 Échange avec le sol	86
7.4 Les fondations géothermiques	91
7.5 Capteurs solaires	91
Chapitre 8 : Pompe à chaleur air extérieur	93
8.1 Présentation	93
8.2 Phénomènes de givrage	97
8.3 Tube aérotherme	98
8.4 Systèmes de distribution	99
Chapitre 9 : Pompe à chaleur sur aquifère	101
9.1 Contexte	101
9.2 Caractéristiques des aquifères	102
Chapitre 10 : Capteurs horizontaux	119
10.1 Les PAC à détente directe	119
10.2 Les PAC à fluides intermédiaires (eau glycolée-eau)	120
10.3 Les PAC mixtes (sol-eau)	121
10.4 Mise en œuvre des capteurs	121

10.5 Dimensionnement	127
Chapitre 11 : Capteurs verticaux ou sondes géothermiques	131
11.1 Maisons individuelles	132
11.2 Test de réponse thermique	137
11.3 Bilan des consommations d'électricité d'un pavillon équipé de sondes	140
11.4 Champs de sondes géothermiques	144
Chapitre 12 : Autres systèmes de captage par échange avec le sol	149
12.1 Corbeilles géothermiques	149
12.2 Échangeurs de type Slinky	152
Chapitre 13 : Fondations géothermiques ou thermoactives	153
13.1 Principe de fonctionnement	153
13.2 Recommandations simplifiées (pour avant-projet)	155
Chapitre 14 : Applications spécifiques	157
14.1 Maisons individuelles	157
14.2 Chauffe-eau thermodynamique	159
14.3 Systèmes combinés	160
14.4 Lotissement de pavillons individuels	166
14.5 Immeubles collectifs (chauffage)	166
14.6 Aménagement de ZAC – éco-quartiers	168
14.7 Systèmes de distribution de chaleur à partir de PAC sur aquifère peu profonds	169
14.8 Exemple d'aménagement d'une ZAC (commune du département des Hauts-de-Seine)	172
14.9 Immeubles tertiaires	176
14.10 Cultures sous serres	177

Chapitre 15 : Pompes à chaleur associées à un réseau de chaleur géothermique	179
15.1 Système avec PAC assistée par échangeur et évaporateur indirect	180
15.2 Système indirect avec possibilité de <i>by-pass</i> de la PAC et de l'échangeur géothermique	181
15.3 Système avec montage parallèle entre le condenseur de la PAC et la branche contenant l'évaporateur et l'échangeur géothermique	181
15.4 Montage des pompes à chaleur	182
Chapitre 16 : Exemples de réalisation	185
16.1 Aéroport de Zürich (Dock Midfield)	185
16.2 Champ de sondes à l'ENSTA Paris Tech (91 Palaiseau)	186
16.3 Opération de géothermie à Blagnac	188
16.4 Chauffage climatisation maison de la radio (PAC sur aquifère)	189
16.5 Centre de maintenance des tramways de Tours (fondations géothermiques)	191
16.6 Résidence Saint-Georges 78 Limay (fondations géothermiques)	193
16.7 La Seyne-sur-Mer (PAC sur eau de mer)	194
16.8 Système de récupération de chaleur sur les eaux grises d'un restaurant d'entreprise (Cergy Pontoise)	195
16.9 Récupération de la chaleur des eaux grises d'un immeuble collectif à Ermont (95)	196
Chapitre 17 : Bilans énergie primaire et environnemental	199
17.1 Bilan énergie primaire pour une maison individuelle	199
17.2 Bilan environnemental	200
Chapitre 18 : Montage d'un projet de pompe à chaleur	203
18.1 Différentes phases du montage d'un projet PAC	203
18.2 Cahier des charges étude de faisabilité (exemple PAC sur aquifère)	204

Bibliographie	209
Glossaire	211

ANNEXES

1. Réglementation	221
Réglementation thermique 2012 (éléments principaux)	221
Exigences de résultats en termes de performance énergétique globale	222
2. La garantie AQUAPAC	229
3. Certifications	233
Marque NF PAC	233
Appellation Qualité « QUALIPAC »	234
QUALIFORAGE	234
4. Principes légaux	237
Textes et documents de référence	237
Normes	237
Index	239