

Table des matières

1.	Introduction et connaissances de base	1
1.1	Développement du marché des systèmes solaires thermiques	1
1.2	Développement du marché solaire thermique mondial	1
1.3	Développement du marché solaire thermique en Europe.....	2
1.4	Amélioration de la qualité des produits et labellisation	11
1.5	Arguments pour l'installation d'un système solaire.....	12
1.6	Rayonnement solaire sur la terre	13
2.	Retours d'expériences d'installations solaires thermiques sur le long terme	17
2.1	Expériences sur le long terme en Allemagne	17
2.2	Résultats de l'inventaire du «Programme Investissement pour le Futur»	18
2.3	Défauts fréquents.....	22
2.4	Durée de vie des systèmes solaires thermiques.....	27
3.	Informations de base sur la conception des installations.....	29
3.1	Développements technologiques des installations solaires thermiques.....	29
3.2	Valeurs caractéristiques des systèmes d'énergie solaire	31
3.2.1	Charge spécifique	32
3.2.2	Taux d'utilisation	33
3.2.3	Fraction solaire	35
3.2.4	Ratio production thermique/consommation électrique	37
3.2.5	Coût de la chaleur solaire	37
3.3	Conditions d'hygiène de l'eau potable	38
3.3.1	Réglementation française.....	39
3.3.2	Réglementation allemande.....	40
3.4	Installations solaires pour la production d'eau chaude potable.....	41
3.4.1	Installations de petite taille, chauffant l'eau potable par thermosiphon	41
3.4.2	Petites installations à circulation forcée, pour le chauffage de l'eau potable	43
3.4.3	Grandes et moyennes installations de chauffage d'eau potable.....	44
3.4.4	Systèmes de production d'eau chaude de grande et de moyenne taille à stockage tampon.....	48
3.5	Installations solaires de production d'eau chaude et de chauffage des locaux	59
3.5.1	Principes de base des systèmes combinés de chauffage de l'eau et des locaux domestiques	59
3.5.2	Principes des installations solaires combinées pour la production d'eau chaude et le chauffage de locaux	61
3.6	Chauffage solaire urbain.....	65
3.6.1	L'intégration des installations solaires dans des réseaux de distribution de chaleur	65
3.6.2	Exemples d'intégration des installations solaires dans des réseaux de distribution de chaleur	66

3.7	Climatisation solaire	69
3.7.1	Techniques de climatisation solaire	70
3.7.2	Rentabilité des climatisations	79
3.7.3	Planification	80
3.8	Systèmes «vidangeables»	80
3.9	Systèmes à air solaire.....	83
4.	Principes de base du dimensionnement des installations solaires thermiques	85
4.1	Différences de dimensionnement entre les installations conventionnelles et solaires	86
4.2	Utilisation des données standard conventionnelles sur les demandes en matière de technologie solaire	88
4.3	Installations solaires réservées à la production de l'eau chaude sanitaire	89
4.3.1	Principes de base pour éviter le surdimensionnement	89
4.3.2	Consommation appropriée d'eau chaude	90
4.3.3	Chiffage pertinent des consommations.....	94
4.3.4	Valeurs de consommation recommandées pour le dimensionnement.....	97
4.3.5	Dimensionnement du champ de capteurs et du ballon de stockage solaire....	100
4.4	Installations solaires combinées pour le chauffage de l'eau sanitaire et des locaux	110
4.4.1	Demande d'énergie pour l'eau chaude et le chauffage des locaux	111
4.4.2	Règles sommaires pour le dimensionnement.....	113
4.5	Chauffage urbain solaire	119
5.	Capteurs solaires.....	121
5.1	Fonction et valeurs caractéristiques des capteurs.....	121
5.1.1	Rendement d'un capteur	121
5.1.2	Réflexion au vitrage.....	125
5.1.3	Autres valeurs caractéristiques du capteur.....	126
5.1.4	Définitions concernant la surface du capteur.....	127
5.2	Types de capteur.....	131
5.2.1	Capteurs plans standards.....	133
5.2.2	Quelques variantes de capteurs plans	134
5.2.3	Capteurs à tubes sous vide	135
5.3	Absorbeur	140
5.3.1	Fonction et caractéristiques de construction de l'absorbeur.....	140
5.3.2	Matériaux d'absorbeurs et formes de construction anciennes	143
5.3.3	Matériaux et conception des absorbeurs actuels	148
5.4	Revêtements des absorbeurs.....	150
5.4.1	Fonction du revêtement d'absorbeur	150
5.4.2	Revêtements d'absorbeur de conception ancienne	152
5.4.3	Revêtements d'absorbeur actuels	158
5.5	Coffres des capteurs.....	163
5.5.1	Fonctions.....	163
5.5.2	Coffres de capteur de conception ancienne.....	163
5.5.3	Formes de construction actuelles.....	165

5.6	Réflecteurs.....	165
5.6.1	Fonctions.....	165
5.6.2	Expérience avec les réflecteurs	166
5.6.3	Exigences pour les réflecteurs	166
5.7	Couverture de capteur	167
5.7.1	Fonctions.....	167
5.7.2	Couvertures de conception ancienne	167
5.7.3	Encrassement des couvertures de capteur	169
5.7.4	Effet du vieillissement sur la transparence.....	173
5.8	Isolation thermique et joints	174
5.8.1	Fonctions.....	174
5.8.2	Isolation thermique de conception ancienne	175
5.8.3	Expérience courante avec des matériaux d'isolation thermique.....	178
5.8.4	Contraintes pour les nouveaux matériaux d'étanchéité	179
5.9	Méthodes d'inspection et d'essai des capteurs.....	179
5.9.1	Tests de fiabilité des capteurs	180
5.9.2	Essai de rendement d'un capteur.....	182
5.10	Divergences entre résultats de performance	184
5.11	Utilisation des valeurs caractéristiques ; calculs de la production.....	184
5.12	Question d'identification	185
5.13	Autres procédures d'essai pour des composants de capteur.....	187
5.14	Essais des systèmes.....	187
6.	Types d'implantations de capteur	191
6.1	Montage au sol	192
6.2	Montage sur toiture inclinée	193
6.2.1	Pose en sur-toiture	193
6.2.2	Intégration à une toiture inclinée	194
6.3	Implantation en toiture-terrasse.....	196
6.3.1	Conditions préalables pour un montage en toiture-terrasse.....	196
6.3.2	Toiture-terrasse à charge répartie sur toute la surface	198
6.3.3	Toiture-terrasse à soutènements rapprochés.....	198
6.3.4	Toiture-terrasse à points de soutènement espacés.....	199
6.3.5	Capteurs à tube sous vide sur toiture-terrasse.....	200
6.4	Capteurs montés en façade.....	201
6.4.1	Principales considérations pour les capteurs montés en façade.....	201
6.4.2	Capteurs plans montés en façade.....	201
6.4.3	Capteurs à tube sous vide montés en façade.....	202
6.5	Montage des systèmes complets à thermosiphon	203
6.5.1	Montage sur toitures-terrasses avec charge répartie sur toute la surface	203
6.5.2	Montage sur toiture inclinée	204

7.	Le circuit capteur	207
7.1	Composants et matériaux : principales conditions à remplir	207
7.1.1	Composants du circuit capteur	207
7.1.2	Conditions de températures dans le circuit capteur	208
7.1.3	Pressions maximales dans le circuit capteur	209
7.1.4	Évaporation dans le circuit capteur	211
7.1.5	Comportement d'ébullition des systèmes à thermosiphon	214
7.2	Le circuit capteur	216
7.2.1	Petites installations à raccordement en parallèle	216
7.2.2	Petites installations à raccordements en série	218
7.2.3	Circuits de grandes installations selon Tichelmann	220
7.2.4	Solutions de rechange au principe de Tichelmann pour les circuits de grandes installations	221
7.3	Modes de fonctionnement des flux dans le circuit capteur	223
7.3.1	Flux «normal» (haut débit)	223
7.3.2	Faible débit	224
7.3.3	Régulation du débit	225
7.4	Fluides caloporteurs	226
7.4.1	Cahier des charges des fluides caloporteurs	226
7.4.2	Évaluation à long terme des fluides caloporteurs	228
7.4.3	Utilisation correcte des fluides caloporteurs	231
7.5	Tuyauterie du circuit capteur	233
7.5.1	Cahier des charges des éléments de raccordement	233
7.5.2	Évaluation des tubes du circuit capteur sur le long terme	233
7.5.3	Installation correcte des tubes du circuit capteur	236
7.6	Isolation des tuyaux du circuit capteur	237
7.6.1	Cahier des charges de l'isolation	237
7.6.2	Évaluation des isolations de tubes sur le long terme	238
7.6.3	Choix et installation correcte des matériaux isolants	245
7.7	Vases d'expansion	246
7.7.1	Fonction et cahier des charges	246
7.7.2	Évaluation des vases d'expansion sur le long terme	248
7.7.3	Dimensionnement correct des membranes de vases d'expansion	251
7.7.4	Installation correcte des vases d'expansion	259
7.7.5	Fonction des réservoirs auxiliaires	260
7.8	Pompes de circulation	261
7.8.1	Fonction et cahier des charges	261
7.8.2	Évaluation sur le long terme des pompes de circulation	262
7.8.3	Fonction et dimensionnement corrects	265
7.9	Accessoires	269
7.9.1	Cahier des charges	269
7.9.2	Évaluation des accessoires du circuit capteur sur le long terme	269
7.10	Élimination de l'air	270
7.10.1	Fonction et cahier des charges	270
7.11	Équipements de sécurité	277
7.11.1	Cahier des charges	277
7.11.2	Quelques notions de sécurité	278
7.11.3	Expérience sur le long terme en matière d'équipements de sécurité	280

8.	Stockage solaire.....	283
8.1	Fonctionnement et capacités requises.....	283
8.2	Types de construction	284
8.2.1	Stockage de l'eau chaude sanitaire	284
8.2.2	Ballons de stockage «tampou».....	285
8.2.3	Stockage saisonnier	287
8.3	Isolation du ballon de stockage.....	287
8.4	Chargement et déstockage des ballons de stockage.....	288
8.4.1	Chargement.....	288
8.4.2	Déstockage.....	294
8.4.3	Intégration des tuyaux de circulation	294
8.5	Répartition du volume de stockage solaire.....	295
8.6	Résultats des inspections.....	299
8.6.1	Problèmes avec le raccordement en parallèle des ballons de stockage	299
8.6.2	Évaluation des conditions de stockage dans d'anciennes installations.....	301
9.	Echangeurs de chaleur	303
9.1	Fonctionnement et conditions d'utilisation	303
9.2	Types d'installations	303
9.2.1	Echangeurs de chaleur internes.....	303
9.2.2	Echangeurs de chaleur externes.....	304
9.3	Recommandations utiles pour la conception d'une installation	306
9.3.1	Echangeurs de chaleur internes.....	306
9.3.2	Echangeurs de chaleur externes.....	307
10.	Régulation d'une l'installation solaire	311
10.1	Fonction et cahier des charges	311
10.2	Principales méthodes de régulation pour le chargement du ballon de stockage solaire.....	312
10.2.1	Régulation du chargement d'un ballon de stockage solaire à échangeur de chaleur interne	313
10.2.2	Régulation du chargement avec échangeur de chaleur externe.....	317
10.2.3	Régulation de chargement optimisée pour hautes températures ou température de consigne.....	319
10.2.4	Chargement à niveaux multiples.....	320
10.3	Principales options pour réguler le déstockage des ballons de stockage solaire.....	322
10.3.1	Systèmes domestique d'eau chaude sanitaire	323
10.3.2	Systèmes de chauffage des locaux.....	334
10.4	Evaluation des anciens systèmes sur le long terme.....	334
10.5	Recommandations pour la mise en œuvre	338
10.5.1	Régulation solaire et domotique	338
10.5.2	Éléments de sonde.....	339
10.5.3	Positionnement des sondes	342

11.	Paramètres caractéristiques des différents types de systèmes solaires	345
11.1	Influence du site, de la conception et des composants.....	345
11.1.1	Emplacement du système.....	346
11.1.2	Variations annuelles des conditions météorologiques locales	348
11.1.3	Orientation du champ de capteurs.....	348
11.1.4	Qualité des composants du système.....	350
11.1.5	Conception des systèmes.....	353
11.1.6	Changements des besoins énergétiques	354
11.2	Paramètres caractéristiques des systèmes thermiques solaires récents.....	355
11.2.1	Systèmes de production d'eau chaude sanitaire.....	355
11.2.2	Grandes et moyennes installations solaires de production d'eau chaude sanitaire	359
11.2.3	Systèmes combinés de production d'eau chaude et de chauffage de locaux, présentant une fraction solaire basse.....	370
11.2.4	Systèmes combinés de production d'eau chaude et de chauffage de locaux, présentant une fraction solaire élevée	373
11.2.5	Installations raccordées aux réseaux de chauffage urbain	375
11.3	Vieillessement et changements de performances d'anciennes installations solaires.....	378
11.3.1	Causes de modification des rendements.....	379
11.3.2	Dégradation des paramètres caractéristiques.....	380
11.4	Garanties des résultats solaires	381
11.4.1	Le programme allemand «Solarthermie 2000».....	381
11.4.2	Un autre exemple européen : la Garantie de Résultat Solaire en France.....	384
11.5	«Contrat solaire»	385
12.	Annexes:.....	387