

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

GÉNIE ÉNERGÉTIQUE

Énergie solaire

Calculs et optimisation

*nouvelle
édition*

Jacques BERNARD

ellipses

TABLE DES MATIÈRES

*"La pensée solaire,
la civilisation au double visage,
attend son aurore.
Mais elle éclaire déjà les chemins de la vraie maîtrise."
Albert CAMUS - L'homme révolté*

AVANT PROPOS	7
NOTATIONS	12
CHAPITRE I. L'ÉNERGIE SOLAIRE HORS ATMOSPHÈRE	
1. Le système solaire	15
2. Le Soleil	19
3. L'énergie solaire	23
3.1. Origine	23
3.2. La constante solaire	24
3.3. Vie et mort du Soleil	25
3.4. Spectre solaire	27
CHAPITRE II. LE COUPLE TERRE-SOLEIL	
1. L'atmosphère terrestre	33
1.1. Structure	33
1.2. Composition de la troposphère	37
2. Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire	39
2.1. Masse atmosphérique	39
2.2. Atténuation du rayonnement solaire	40
2.3. La lumière solaire	43
3. Les échanges d'énergie	45
3.1. Notion d'albédo	45
3.2. Bilan énergétique annuel global du système Terre-atmosphère	46
3.3. Échanges d'énergie entre la Terre et l'Atmosphère	49
3.4. Le problème du réchauffement climatique	52

CHAPITRE III. RÉCEPTION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE	
1. Calcul de la position du soleil	55
1.1. Paramètres de position	55
1.2. Paramètres de temps	62
1.3. Cas particuliers	64
1.4. La gnomonique	66
2. Diagramme solaire	68
3. Éclairement solaire	80
3.1. Éclairement direct	80
3.2. Éclairement diffus	81
3.3. Éclairement global	82
3.4. Rapports d'éclairement	82
4. Irradiation solaire	84
4.1. Irradiation hors atmosphère	84
4.2. Irradiation au sol dans le cas d'un ciel clair	85
4.3. Irradiation au sol dans le cas d'un ciel variable	86
4.4. Instruments de mesure	89
4.5. Résultats des mesures	90
4.6. Méthodes de calcul de l'irradiation	93
CHAPITRE IV. LES CAPTEURS PLANS	
1. Éléments de construction	97
1.1. Surface absorbante	97
1.2. Fluide caloporteur	100
1.3. Couverture transparente	101
1.4. Isolant	106
2. Rendement d'un capteur plan	109
2.1. Bilan énergétique	109
2.2. Influence de la température de l'absorbeur	109
2.3. Influence de la température d'entrée du fluide caloporteur	115
3. Régime transitoire	123
3.1. Position du problème	123
3.2. Étude simplifiée	123
CHAPITRE V. APPLICATIONS À BASSE TEMPÉRATURE	
1. Généralités	127
2. Eau chaude sanitaire	129
2.1. Système à boucle ouverte	129
2.2. Système à boucle fermée	130
3. Besoins en chauffage d'une habitation	135
3.1. Coefficient GV	135
3.2. Coefficient BV	137
3.3. Méthode des degrés-jours	137
3.4. Réglementations thermiques	139
4. Chauffage des locaux	142
4.1. Description des systèmes	142
4.2. Stockage par ballon d'eau	142
4.3. Stockage par lit de galets	147
4.4. Stockage par mur capteur	151
5. Maison bioclimatique	153
5.1. Les techniques passives	153
5.2. Les techniques dynamiques	155
6. Séchage solaire	157
7. Climatisation solaire	159
8. Distillation solaire	164

9. Analyse économique	165
9.1. Paramètres	165
9.2. Intérêts des emprunts	165
9.3. Mise en équations	166
9.4. Optimisation d'une installation solaire	167
10. Piscine solaire	169
10.1. Principe	169
10.2. Analyse énergétique	169
10.3. Analyse économique et optimisation	172

CHAPITRE VI. LA CONCENTRATION SOLAIRE

1. Caractéristiques d'un capteur à concentration	177
1.1. Définitions	177
1.2. Détermination de la concentration géométrique	179
1.3. Concentration géométrique maximale	182
1.4. Température maximale de concentration	184
2. Concentrateur sphérique	186
2.1. Concentration idéale	186
2.2. Concentration géométrique	186
2.3. Concentration énergétique	186
3. Concentrateur parabolique	188
3.1. Concentration idéale	188
3.2. Concentration géométrique	189
3.3. Concentration énergétique	190
4. Concentrateur cylindro-parabolique	192
4.1. Concentration idéale	192
4.2. Concentration géométrique	193
4.3. Concentration énergétique	193
4.4. Montage	193
5. Les centrales STC	195
5.1. Les centrales à récepteurs cylindro-paraboliques	195
5.2. Les centrales à concentrateurs linéaires de Fresnel	196
5.3. Les paraboloïdes Stirling	197
5.4. Les centrales à tour	200
5.5. Le rendement de conversion	201
6. La concentration en chimie solaire	206
6.1. La thermochimie	206
6.2. La photochimie	206

CHAPITRE VII. LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

1. L'effet photovoltaïque	207
1.1. Introduction	207
1.2. Principe	208
1.3. Rendement de la photopile idéale	211
1.4. Rendement réel	212
1.5. Influence de la résistance de charge	216
1.6. Influence de l'éclairement	218
1.7. Influence de la température	218
1.8. Les améliorations possibles	219
2. Utilisations	221
2.1. Montage série	221
2.2. Montage parallèle	221
2.3. Mise en œuvre	222
2.4. Avantages et inconvénients	223
2.5. Réalisations	224

ANNEXES

1	Caractéristiques de l'air sec	231
2	Caractéristiques de l'atmosphère standard	231
3	Caractéristiques de l'eau	232
4	Table de la vapeur d'eau saturée	233
5	Diagramme T – s de l'eau	235
6	Formulaire d'air humide	236
7	Formulaire de thermodynamique	237
8	Éléments d'échanges thermiques	238
9	Détermination des pertes de charge hydrauliques	247
10	Constantes physiques	252
11	Données climatiques	253
12	Les unités en énergétique	255
13	Les unités anglo-saxonnes	256
14	Chiffres clés sur l'énergie solaire	257
15	Organismes, sociétés et associations s'intéressant à l'énergie solaire	261
16	Sigles et abréviations	264
17	Documentation	266
18	Petit dictionnaire anglais-français	268
19	Glossaire	272
20	Liste des applications	277
21	Index	279