

PRÉFACE À LA 1^{RE} ÉDITION

Lorsque les énergies provisoires, pétrole, gaz, charbon et nucléaire de génération actuelle, auront disparu, il ne subsistera plus que trois sources d'énergie possibles pour l'humanité : les hypothétiques générations futures du nucléaire, la géothermie et le soleil et ses dérivés que sont le vent, l'eau et la biomasse. Le soleil et la chaleur de la terre sont incontestablement les valeurs sûres de notre avenir énergétique. Il existe beaucoup d'ouvrages de grande qualité décrivant les énergies du soleil mais rares sont ceux qui apportent une réelle information aux ingénieurs et scientifiques qui veulent connaître la géothermie pour en développer des applications. Jean Lemale, qui a longtemps œuvré au sein de l'ADEME pour le développement de la géothermie en France, comble cette lacune avec ce livre qui décrit avec rigueur et précision les différentes méthodes de valorisation de la chaleur de la terre, principalement pour satisfaire les besoins de chaleur dans nos bâtiments, nos industries ou notre agriculture.

À l'heure de la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement et des réponses à apporter aux défis de la lutte contre le changement climatique, la France s'est engagée à atteindre, en 2020, une part de 23 % d'énergies renouvelables dans son bouquet énergétique contre 11 % aujourd'hui. Cela revient à augmenter la production d'énergies renouvelables de 20 millions de tep (tonnes équivalent pétrole), dont la moitié est destinée à l'usage sous forme de chaleur. L'ouvrage de Jean Lemale arrive donc à point nommé pour éclairer les choix des maîtres d'ouvrage et des bureaux d'étude qui seraient désireux de se lancer dans la réalisation de projets de géothermie. Les différentes formes de géothermie sont aujourd'hui parfaitement maîtrisées, les technologies sont disponibles, de même que les mécanismes financiers comme le Fonds Chaleur Renouvelable et les Fonds de garantie. Tous les éléments sont réunis pour que la géothermie apporte une contribution décisive à l'atteinte des objectifs du Grenelle de l'Environnement et la modération du changement climatique. Il appartient maintenant aux consommateurs d'énergie et aux professionnels de mettre en application les préceptes de Jean Lemale.

Jean-Louis BAL
Directeur Énergies Renouvelables
ADEME

TABLE DES MATIÈRES

A

Les filières géothermiques

1 • Aspects généraux et filières traditionnelles	3
1.1 Place de la géothermie	4
1.2 La Terre, source de chaleur	8
1.3 Caractéristiques d'une ressource géothermale	21
1.4 Les différents types de gisements géothermaux	33
1.5 Historique et bilan des réalisations	37
2 • Évaluation et exploitation des ressources	47
2.1 Déroulement d'une opération de géothermie	47
2.2 Mise en œuvre des ressources géothermales	52
2.3 Exploitation de la ressource	68
2.4 Utilisation des ressources géothermales	85

B

L'expérience française

3 • Ressources en France	105
3.1 Localisation des ressources « basse énergie »	107
3.2 Le bassin parisien	108
3.3 Le bassin aquitain	113
3.4 Autres bassins	114
4 • Fonctionnement du réseau de chaleur géothermique	117
4.1 Puissance disponible	117
4.2 Adéquation ressource/besoins	119
4.3 Organisation de la distribution de chaleur	123

5 • Exemples de réseaux géothermiques	133
5.1 Centrale géothermique en Aquitaine	133
5.2 Exemples d'opérations exploitant le Dogger	134
5.3 Économie d'une opération de géothermie (cas Dogger bassin parisien)	137
5.4 Bilan des opérations en fonctionnement en Île-de-France (2003)	144
6 • Organisation de la géothermie	149
6.1 Les acteurs de la géothermie	149
6.2 Mesures réglementaires	158
6.3 Mesures incitatives	164
 C 	
Les pompes à chaleur géothermiques	
7 • Principes généraux relatifs aux pompes à chaleur	177
7.1 Principes thermodynamiques	177
7.2 Éléments constitutifs d'un système thermodynamique	179
7.3 Différents types de pompes à chaleur	181
7.4 Nature des installations terminales (milieu à chauffer ou climatiser)	188
7.5 Mise en œuvre, différents montages	190
7.6 Bilan environnemental	198
8 • Les pompes à chaleur sur aquifères	203
8.1 Caractéristiques des aquifères (nappes d'eau souterraines)	204
8.2 Localisation des nappes souterraines en France	206
8.3 Accès à la ressource d'une solution PAC sur aquifère	209
8.4 Conditions d'exploitation	212
8.5 Configuration générale des ouvrages	217
8.6 Adéquation ressource géothermale/ besoins thermiques et frigorifiques (dimensionnement)	218
8.7 Exploitation et maintenance	221
8.8 Aspects réglementaires et garantie Aquapac	222
8.9 Impact sur les eaux souterraines et superficielles	224
8.10 Aspects économiques	225
8.11 Domaines d'application appropriés	230
8.12 Conclusions et recommandations	235

9 • PAC sur le sous-sol	237
9.1 Paramètres caractéristiques du sous-sol (faible profondeur)	237
9.2 Capteurs horizontaux	240
9.3 Capteurs verticaux ou sondes géothermiques	248
9.4 Les champs de sondes géothermiques	253
9.5 Autres types de capteurs géothermiques	257
9.6 Fondations géothermiques ou thermoactives	258
10 • Puits canadien	263
10.1 Principe général	263
10.2 Mise en œuvre	265
10.3 Dimensionnement	267

D

Annexes

A • Géothermie des roches fracturées	271
Principe	271
Déroulement du projet de pilote expérimental de Soultz-sous-Forêts	271
L'avenir de la géothermie profonde en France et dans le Monde	275
B • Campagne de mesure sur pavillon équipé d'une sonde	277
C • Liste des opérations en France	281
D • Unités Énergie - Équivalences	287
Glossaire	289
Bibliographie	301
Index	303