Francis Meunier
Daniel Mugnier

CLIM PRATIQUE
CHAUFFAGE THERMODYNAMIQUE • ENR

LA CLIMATISATION SOLAIRE

Thermique ou photovoltaïque

DUNOD

Illustration de couverture : © Tecsol

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2013
ISBN 978-2-10-059347-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Remerciements VIII

Préface de Hans-Martin Henning IX

Préface d'André Joffre XI

Introduction 1

Chapitre 1 : Contexte et enjeux 3

1.1 Climatisation passive/climatisation active 4

1.2 La climatisation dans les bâtiments à très basse consommation voire à énergie positive 7

1.3 Rappel historique de la climatisation solaire en France 14

1.4 Différentes filières de froid renouvelable 20

1.5 Le froid solaire 21

Chapitre 2 : La problématique de la climatisation solaire thermique 29

2.1 Étude de cas de climatisation solaire d'un bâtiment public 29

2.2 Le gisement solaire 50

2.3 Les capteurs solaires 54

2.4 Seconde étude de cas de climatisation solaire d'un groupe de bâtiments 63

2.5 Les grandes classes de systèmes de production du froid pour le froid solaire thermique 72

2.6 Climatisation avec booster solaire 76

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Chapitre 3 : Les systèmes hermétiques à sorption de production du froid 79

3.1 L'absorption liquide 79

3.2 L'adsorption 96

3.3 Comparaison des systèmes commercialisés à absorption et à adsorption 110

3.4 Les kits de climatisation solaire thermique 112

Chapitre 4 : Les cycles ouverts de production du froid 117

4.1 Le cycle ouvert à dessiccation en climat tempéré 122

4.2 Le cycle ouvert de climatisation à dessiccation en climat tropical humide 133

Chapitre 5 : Des choix technologiques importants 139

5.1 Influence de la technologie de captation de l'énergie solaire 141

5.2 Influence de la technologie de distribution d'eau glacée 142

5.3 Influence de la technologie du rejet thermique 145

5.4 Comparaison de deux cas résultant d'une bonne et d'une mauvaise itération 148

5.5 Air conditionné/rafraîchissement 151

Chapitre 6 : La climatisation solaire photovoltaïque 155

6.1 Un principe simple *a priori* 156

6.2 Une réalité plus complexe 157

6.3 Des perspectives ambitieuses pour la climatisation solaire PV 161

6.4 Quelle gamme de puissances pour la climatisation solaire PV ? 162

Chapitre 7 : Les installations de climatisation solaire thermique de forte puissance 165

7.1 UWC Singapour 165

7.2 DMHS (Desert Mountain High School) 173

Chapitre 8 : Autres solutions de climatisation renouvelable 175

8.1 La climatisation géothermique 175

8.2 La climatisation par valorisation des rejets thermiques 185

8.3 La climatisation par valorisation de la chaleur renouvelable provenant de la biomasse ou des déchets 185

Chapitre 9 : La réfrigération solaire 191

9.1 La conservation par la réfrigération solaire thermique 192

9.2 La conservation par la réfrigération solaire photovoltaïque 203

9.3 Un produit nouveau : Solar Cool 208

Chapitre 10 : Impact environnemental des systèmes de froid renouvelable 209

10.1 Énergie primaire, kWhep et énergie finale 210

10.2 Émissions de CO_2 211

10.3 Comparaison de différents scénarios de froid renouvelable avec appoint 212

10.4 Consommation de matière, économie circulaire, analyse de cycle de vie 221

Chapitre 11 : Conclusion et perspectives 223

11.1 La climatisation solaire thermique 224

11.2 La climatisation solaire photovoltaïque 227

11.3 La climatisation renouvelable thermique hors solaire 228

11.4 La réfrigération solaire 229

11.5 Enjeux 230

Chapitre 12 : Compétition entre eau chaude sanitaire (ECS) et climatisation solaires 235

Index 241

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Remerciements

Pour la rédaction de cet ouvrage, les auteurs ont bénéficié de l'accès à certains documents de très grande qualité qu'ils tiennent à mentionner et pour lesquels ils expriment leurs remerciements.

Le Guideline du projet européen SOLAIR (www.solair-project.eu/122.0.html) a été très utile grâce à l'aimable accord de la part de l'auteur principal de ce document : Edo Wiemken, Fraunhofer ISE.

L'ouvrage, en cours de parution, *Solar Cooling Handbook, A Guide to Solar Assisted Cooling and Dehumidification Processes* (ISBN 978-3-7091-0841-3) par H.-M. Henning, Mario Motta, Daniel Mugnier (Eds.) a été également très précieux.

Préface de Hans-Martin Henning

Pourquoi utiliser l'énergie solaire pour la climatisation des bâtiments ? Tout d'abord, cette technologie fascine les utilisateurs : elle semble magique pour transformer l'énergie solaire en refroidissement.

Les principaux arguments pour la climatisation solaire proviennent des économies d'énergie :

- L'application de la climatisation solaire économise de l'électricité et donc des ressources énergétiques conventionnelles sous forme d'énergie primaire.
- La climatisation solaire conduit également à une réduction de la demande de pointe en électricité, ce qui est un avantage pour le réseau d'électricité. Elle a en plus le potentiel de mener à des économies de coûts supplémentaires en termes de puissance pour la production d'électricité de pointe lorsqu'elle est appliquée sur une large échelle.
- Les technologies de climatisation solaire, notamment *via* l'énergie solaire thermique, utilisent des matériaux respectueux de l'environnement, n'appauvrissant pas la couche d'ozone et n'ayant aucun potentiel (ou très peu) de réchauffement climatique.

D'autres arguments proviennent d'un point de vue plus technique :

- L'énergie solaire est disponible presque en même temps que la climatisation est nécessaire ; cet argument vaut pour les deux approches, la voie solaire thermique et la voie solaire photovoltaïque.
- Les systèmes solaires thermiques utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage ont de grandes surfaces de capteurs qui, souvent, ne sont pas entièrement utilisées au cours de l'été. Elles peuvent être utilisées pour la climatisation et ainsi réduire les risques de situations de stagnation de l'installation de capteurs solaires.
- La climatisation alimentée par voie thermique fait appel à des machines produisant peu de bruits et permettant un fonctionnement sans vibrations.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Après quinze ans de nombreuses activités et recherches dans le domaine de la climatisation solaire, en particulier au sein du programme Solar Heating & Cooling de l'AIE, mais aussi dans de nombreux projets de R&D nationaux et européens, la pénétration du marché de la climatisation par le solaire reste faible.

Par conséquent, il est important de se pencher sérieusement sur les réalisations et l'état actuel de la technologie de climatisation solaire. Il est également important de comprendre les perspectives d'avenir de cette technologie et d'identifier les meilleures conditions pour son développement et son épanouissement.

Ce livre vise à fournir une vue d'ensemble de cette technologie fascinante tout en restant sans concession ni complaisance.

Hans-Martin Henning

Deputy Director au sein de l'Institut Fraunhofer pour l'énergie solaire
(Fraunhofer ISE Energy Systems) à Fribourg-en-Brisgau (Allemagne)

Préface d'André Joffre

Qui ne se prend pas à rêver ou n'est pas surpris lorsqu'on lui parle de faire du froid grâce à l'énergie solaire, qui plus est l'énergie solaire thermique ? C'est bien cependant ce qui a été réalisé il y a plus de 20 ans en Catalogne, à un vol d'oiseau de la frontière espagnole dans la célèbre ville de Banuyls-sur-Mer, où cette ressource inépuisable qu'est le soleil produit les si rares vins de Banyuls.

Depuis 1992, une cave est rafraîchie par le seul moteur solaire et l'installation n'a pris aucune ride, preuve en est que la climatisation solaire est une réalité technique pérenne et durable. L'application de l'énergie solaire, qui plus est thermique, a été et est plus que jamais un enjeu majeur du développement de cette source d'énergie. Au-delà de l'adéquation évidente entre ressource et besoins, le couplage solaire et climatisation revêt l'avantage indéniable de valoriser un champ de capteurs solaires tout au long de l'année dans la partie sud de l'Hexagone sans se soucier de risques de surchauffes à la fois préjudiciables au niveau technique et signe d'une valorisation de la ressource limitée.

Depuis le début des années 1980, la France joue un rôle d'avant-garde dans le secteur de la climatisation solaire et de nombreuses avancées et expériences et de nombreux projets ont été menés.

Quel bilan en 2012 pour la climatisation solaire ? Cet ouvrage permet de faire le point et l'on voit que la filière historique utilisant l'énergie solaire thermique a fait de gros progrès techniques avec des systèmes précommerciaux disponibles et fiables, de la petite à la forte puissance. Cependant, il apparaît que le bât blesse au niveau économique actuellement, surtout pour les petites puissances que l'on rêvait de développer pour le secteur résidentiel et petit tertiaire du sud de la France et dans les DOM.

En revanche, de façon presque symétrique, la filière consistant en un couplage photovoltaïque et un groupe à compression de vapeur fait de plus en plus sens au niveau économique alors que les développements techniques pour un couplage direct et dans une stratégie d'autoconsommation en sont encore à leurs balbutiements.

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

La climatisation solaire va-t-elle devenir un terme banal du langage courant dans quelques années, faisant la nique aux produits actuels énergivores et perturbateurs en période estivale vis-à-vis des réseaux électriques du sud de l'Europe et dans toutes les parties du monde riches en soleil ?

Si oui, qui va remporter la mise entre les deux voies, celle thermique et celle photovoltaïque ?

Nul ne peut le dire avec certitude actuellement, notamment au regard des applications et des niveaux de puissance mais une chose est certaine : l'avenir de la climatisation solaire sera ensoleillé !

André Joffre

PDG de Tecsol

Introduction

Dans un contexte de raréfaction du pétrole, de renchérissement du nucléaire et de dérèglement climatique, les efforts de réduction de consommation d'énergie primaire (gaz, fioul, électricité) dans le bâtiment vont être intensifiés par le développement des bâtiments à basse consommation (BBC) ou à énergie positive (BEPOS). De plus, l'Europe s'est engagée à réduire ses émissions de gaz à effet de serre et le bâtiment constitue une des cibles principales de réduction. Or, paradoxalement, ces nouveaux bâtiments ont besoin de climatisation. À titre d'exemple, dans un bâtiment nnZEB (nearly net Zero Energy Building) construit au Danemark, les besoins en climatisation représentent 24 % du total de l'énergie primaire contre seulement 8 % pour le chauffage ! La climatisation solaire constitue donc une ressource par laquelle les professionnels du bâtiment se devront de plus en plus de passer pour obtenir les nouveaux labels (BBC ou autres) toujours plus exigeants auxquels les promoteurs tiennent beaucoup. De plus, elle permettra d'effacer la pointe estivale de consommation électrique.

C'est avec cette nouvelle vision que notre ouvrage est conçu. Il s'adresse d'une part à des étudiants engagés dans des formations professionnalisantes en énergétique et génie civil (à partir de la licence pour le LMD ou de la première année dans les écoles d'ingénieurs) et d'autre part à des professionnels à la recherche de connaissances dans ce domaine émergent et encore mal connu.

Pour les bases de l'énergétique, nous renvoyons à des ouvrages existants, limitant notre contribution aux aspects spécialisés de la climatisation solaire et plus généralement du froid renouvelable. En effet, si la climatisation solaire attire plus particulièrement l'attention, il ne faut oublier ni les autres énergies renouvelables (géothermie, valorisation des déchets, biogaz, etc.) ni les applications de conservation alimentaire ou industrielles, notamment pour les pays en voie de développement, où les énergies renouvelables ont leur mot à dire.

Pour la climatisation solaire, il existe deux grandes filières : une filière thermique et une autre électrique (*via* le photovoltaïque). Dans le long terme, il n'est pas certain que ces deux filières survivent mais, aujourd'hui, il n'est pas possible de parier sur l'une plutôt que sur l'autre. C'est la raison pour laquelle ces deux filières sont abordées même si les spécificités de la climatisation solaire thermique exigent de plus longs développements que la climatisation photovoltaïque, qui n'a pas encore été

© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

développée significativement à l'échelle commerciale. Cependant, l'énergie solaire n'est pas la seule ressource renouvelable, ainsi, pour la filière thermique, nous mentionnons la ressource géothermique ainsi que la biomasse et la valorisation des déchets. Une allusion est faite également au développement d'installations frigorifiques de conservation alimentaire. Enfin, le véritable impact environnemental, incluant les émissions de gaz à effet de serre, de ces filières est abordé.

Alors que le marché de la climatisation solaire est encore balbutiant, notamment pour des raisons de coût, les auteurs font des recommandations sur ce qui leur semble le meilleur choix suivant les conditions climatiques et de puissances des installations à concevoir.

La participation de deux auteurs, l'un académique (Francis Meunier) et l'autre professionnel (Daniel Mugnier) permet d'aborder tous les aspects (bases, réalisation et exploitation) de ce domaine. Le point de vue économique est également abordé en intégrant le rôle des incitations et en présentant trois études de cas réelles.