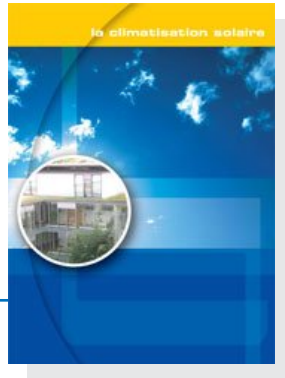


la climatisation solaire





Ce guide a été réalisé par :

Marc Delorme, Reinhard Six, Sabine Berthaud : Rhônealpiénergie-Environnement (France)

Daniel Mugnier, Jean-Yves Quinette : Tecsol (France)

Nadja Richler : O.Ö. Energiesparverband (Autriche)

Frank Heunemann : Berliner Energieagentur GmbH (Allemagne)

Edo Wiemken, Hans-Martin Henning :

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Allemagne)

Theocharis Tsoutsos, Effie Korma : Centre for Renewable Energy Sources (Grèce)

Giuliano Dall'ò, Paola Fragnito, Luca Piterà : Associazione Rete di Punti Energia (Italie)

Pedro Oliveira, Joao Barroso : Agencia Municipal de Energia de Sintra (Portugal)

José Ramón López, Santiago Torre Enciso : Ente Vasco de la Energia (Espagne)

Conception - Réalisation : actaes éditions (Lyon).

Avec le soutien de la Commission européenne
(Direction Générale de l'Énergie et des Transports)
et de la Région Rhône-Alpes.

La reproduction du contenu de cette brochure ne peut être effectuée qu'avec l'accord de la Commission européenne et de Rhônealpiénergie-Environnement.

Ni la Commission européenne, ni aucune personne agissant en son nom ne peut :

- a) offrir la moindre garantie ou représentation, expresse ou implicite, concernant les informations contenues dans ce guide.
- b) ni être tenu pour responsable de l'utilisation ou d'éventuels dommages résultant de l'utilisation de ces informations.

L'opinion exprimée dans cette publication ne reflète pas forcément celle de la Commission européenne.

Sommaire

1	Introduction	p 4
1.1	Pourquoi le rafraîchissement solaire ?	
1.2	Les technologies de rafraîchissement solaire sont-elles compétitives ?	
1.3	Prêt pour une installation de rafraîchissement solaire ?	
2	Réduire les besoins de rafraîchissement	p 6
2.1	Principes généraux	
2.2	Stratégies	
2.3	Techniques pour la réduction de la charge thermique d'été	
3	Les techniques de rafraîchissement solaire	p 10
3.1	Production d'eau glacée par une machine à absorption ou à adsorption	
3.2	Systèmes à dessiccation	
3.3	Capteurs solaires	
3.4	Tours de refroidissement et centrales de traitement d'air	
3.5	Investissement et coûts de fonctionnement	
4	Installations de rafraîchissement solaire	p 16
	Carte des installations	
	10 exemples	
5	Conduire un projet de rafraîchissement solaire	p 28
5.1	Choisir la technologie	
5.2	Règles de base pour la conception et le dimensionnement	
5.3	Pourquoi faut-il une étude de faisabilité ?	
5.4	Quelques éléments sur la réglementation française	
	Bibliographie	p 31

INTRODUCTION

Durant la dernière décennie, une demande de confort accrue et des températures élevées en été ont conduit à un fort développement de la climatisation dans les bâtiments tertiaires.

Les techniques passives ou semi-actives quant à elles, utilisées depuis des siècles pour maintenir des conditions intérieures confortables, semblent avoir été oubliées dans un grand nombre de bâtiments récents.

Ce développement de la climatisation est responsable d'un fort pic de consommation électrique en été, le système de production et de transport d'électricité se rapprochant parfois de ses limites de capacité.

Associés aux éventuelles fuites de fluides frigorigènes, ces pics de production électrique induisent une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, accentuant le cercle vicieux du changement climatique.

Comme le montre la première partie de ce guide, de nombreuses solutions passives existent pour améliorer les conditions de confort intérieur sans système de climatisation, ou au moins réduire très fortement les besoins de rafraîchissement. Ces solutions sont applicables aussi bien dans les bâtiments neufs au stade de la conception que dans les bâtiments existants.

Par ailleurs, les techniques de rafraîchissement solaire présentées dans cet ouvrage ont prouvé, pour certaines d'entre elles depuis plus de 10 ans, leur efficacité et leur fiabilité. Ces technologies utilisent comme fluide frigorigène un fluide inoffensif (l'eau), et beaucoup moins d'énergie primaire d'origine fossile ou fissile que les systèmes classiques.

Alors, pourquoi ne pas utiliser l'énergie solaire pour maintenir, l'été, des conditions de confort satisfaisantes dans les bâtiments ?



I.1 - Pourquoi le rafraîchissement solaire ?

Lorsque, malgré une utilisation optimale des techniques passives, un système de climatisation s'avère nécessaire, le rafraîchissement solaire peut être une solution intéressante.

En effet, durant l'été, la demande électrique croît fortement du fait d'un usage intensif des systèmes de climatisation, d'où des pics de consommation à l'origine de la plupart des problèmes d'approvisionnement. La pénurie est encore plus grande les années "sèches", les centrales hydroélectriques étant incapables de couvrir une partie de ces pics.

Dans ce contexte, l'utilisation de l'énergie solaire pour le rafraîchissement est un concept séduisant, puisque les besoins en froid coïncident la plupart du temps avec la disponibilité du rayonnement solaire.

Les systèmes de rafraîchissement solaire ont l'avantage de supprimer la plupart des nuisances d'une climatisation classique :

- la consommation d'électricité peut être jusqu'à 20 fois inférieure à celle d'un système classique à compression,
- les fluides frigorigènes employés sont inoffensifs puisqu'il s'agit d'eau et de solutions salines,
- la nuisance sonore du compresseur est supprimée.

Ils peuvent être utilisés aussi bien seuls qu'en complément de systèmes classiques de conditionnement d'air ; l'objectif principal étant d'utiliser ces technologies « émission zéro » pour réduire la consommation énergétique et les émissions de CO₂.

Climatisation ou rafraîchissement ?

En génie climatique, le terme de climatisation fait référence à une installation qui garantit une valeur de consigne pour la température (et dans certains cas le taux d'humidité). Une installation de rafraîchissement solaire permet d'abaisser le niveau de température mais la valeur de consigne ne peut pas toujours être garantie (la nuit par exemple, ou lors d'une période chaude mais sans soleil). Il est cependant possible de garantir une valeur de consigne, lorsque cela est nécessaire, mais en ajoutant une énergie d'appoint. On utilisera donc le terme de rafraîchissement solaire pour une installation autonome, et climatisation solaire lorsqu'un appoint est utilisé.

1.2 - Les technologies de rafraîchissement solaire sont-elles compétitives ?

Malgré un marché potentiel très important pour le rafraîchissement solaire, les technologies existantes ne sont pas encore compétitives du point de vue économique, comparées aux systèmes classiques utilisant l'électricité ou même les systèmes de climatisation au gaz naturel. Ceci est lié à la fois au coût d'investissement élevé du système solaire et au faible coût de l'énergie pour les systèmes classiques.

Mais des réductions de coût pour les différents composants (capteurs solaires, groupes de production de froid...) et une amélioration de leurs performances devraient changer cette donne, même s'il est encore aujourd'hui difficile de prédire la date à laquelle ces techniques de rafraîchissement solaire atteindront leur maturité économique.

D'autre part, ces technologies solaires et les sources conventionnelles d'énergie ne peuvent être comparées qu'en intégrant, dans les deux cas, les coûts externes (environnementaux et

sociétaux). Le caractère imprévisible (mais sans aucun doute à la hausse) du coût des énergies conventionnelles sur une longue période doit aussi être intégré dans l'analyse économique.

D'une façon générale, on peut remarquer que pour les technologies solaires :

- leur coût décroît avec le passage à une production en grande série,
- elles sont déjà matures techniquement aujourd'hui,
- elles sont beaucoup plus satisfaisantes du point de vue environnemental que les systèmes conventionnels de climatisation.

Ces différents atouts montrent que ces technologies doivent être soutenues, aussi bien par une aide à l'investissement que par une taxe énergétique reflétant le coût environnemental des énergies conventionnelles. Dans de nombreux pays, les subventions disponibles permettent de rendre la solution solaire économiquement plus satisfaisante.



1.3 - Prêt pour une installation de rafraîchissement solaire ?

Vous êtes convaincu que pour arrêter le cercle vicieux du changement climatique, une approche plus environnementale de nos consommations énergétiques est nécessaire ?

Que la réduction des besoins en froid par des mesures passives ou bioclimatiques est la première étape de cette approche ?

Et que, si un système de rafraîchissement s'avère malgré tout nécessaire, les techniques de rafraîchissement solaire pourraient être une bonne solution ?

Cette publication est pour vous !

La première partie de cette brochure présente les principales techniques passives ou semi-actives pour réduire les besoins en froid.

Différents systèmes de rafraîchissement solaire sont ensuite décrits : absorption, adsorption et systèmes à dessiccation.

La brochure présente également un nombre important d'installations en fonctionnement dans différents pays.

Pour finir, vous trouverez quelques conseils pour aller plus loin dans votre projet de rafraîchissement solaire.

RÉDUIRE LES BESOINS DE RAFFRAÎCHISSEMENT

Les systèmes de rafraîchissement solaire permettent de refroidir des bâtiments pratiquement sans impact environnemental. Néanmoins, malgré des coûts de fonctionnement faibles, (l'énergie solaire étant gratuite) de tels systèmes représentent un investissement bien supérieur à une climatisation classique à compression.

Si l'on décide d'installer un système de rafraîchissement solaire, il est donc important d'analyser soigneusement les caractéristiques du bâtiment à refroidir et d'adopter toutes les mesures permettant de limiter les besoins en froid.

Ce chapitre présente les principes, stratégies et techniques permettant de limiter ces besoins de rafraîchissement en été. Les conseils couvrent aussi bien les bâtiments en cours de conception (pour lesquels il est possible d'opter pour des approches et des solutions innovantes) que les bâtiments existants pour lesquels il existe aussi de nombreuses interventions possibles.

2.1 - Principes généraux

La puissance installée pour la production de froid est évaluée sur la base de la charge thermique d'été, qui est la somme de toutes les charges, internes et externes, qui affectent l'équilibre entre l'environnement intérieur à rafraîchir et l'environnement immédiat (non seulement les espaces extérieurs, mais aussi les espaces contigus non climatisés). En été, la quantité de chaleur à évacuer dépend de nombreux facteurs dont certains, comme l'ensoleillement, varient au cours de la journée.

Les facteurs qui ont l'impact le plus important sur les charges de refroidissement sont les suivants :

- rayonnement solaire à travers les surfaces transparentes,
- transfert de chaleur par conduction au travers des surfaces opaques et des vitrages,

- inertie thermique du bâtiment,
- charges thermiques internes, aussi bien sensibles que latentes, dues à la présence des occupants et d'appareils produisant de la chaleur (éclairage, bureautique, machines, etc.),
- apports de chaleur, aussi bien sensible que latente, liés à l'infiltration d'air et à l'aération du local.

La figure 1 montre que la charge thermique d'été dépend fortement des caractéristiques architecturales de l'enveloppe du bâtiment.

Le système de rafraîchissement prévu pour les mois d'été doit être capable d'évacuer aussi bien la chaleur latente que la chaleur sensible du bâtiment.

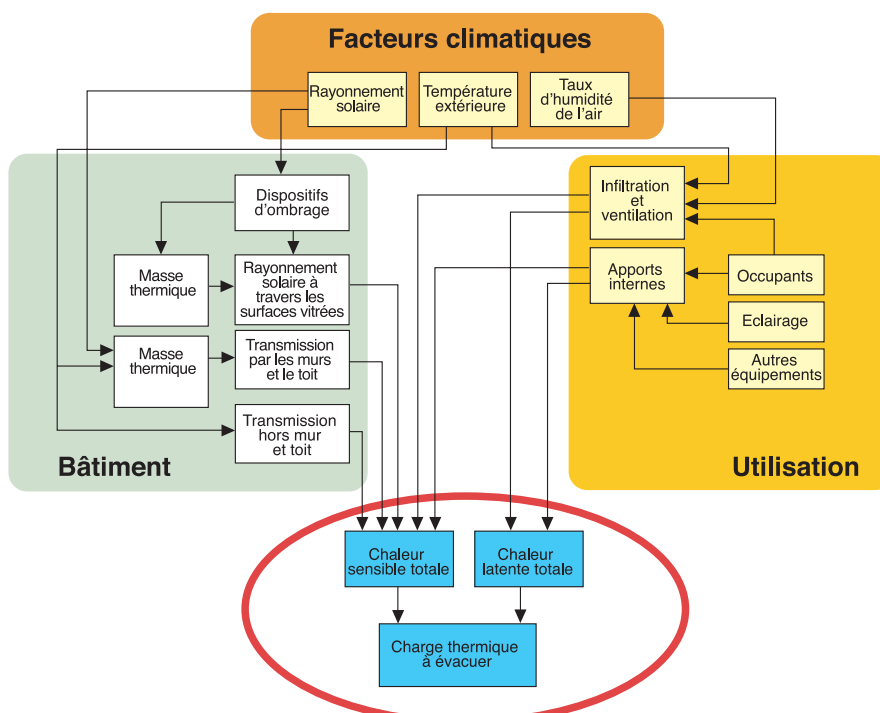


Figure 1
Organigramme pour le calcul de la charge thermique d'été d'un bâtiment

Chaleur sensible et chaleur latente

La **chaleur sensible** est la somme des charges thermiques liées uniquement à l'augmentation de température. Elle provient pour partie de l'extérieur et résulte du rayonnement solaire et de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment (transmission de chaleur par conduction à travers les structures). Elle provient aussi des charges internes, comme les occupants et toute autre source de chaleur (éclairage, équipement informatique, machines, moteurs, etc.).

La **chaleur latente** est la somme des charges thermiques qui conduisent à l'augmentation de la quantité de vapeur d'eau dans l'air. Elle provient de l'humidité émise par les occupants, à travers la respiration et la transpiration, et des autres sources génératrices de vapeur.

Lorsque l'on ventile une pièce, l'air provenant de l'extérieur apporte de la chaleur sensible si la température extérieure est supérieure à celle de l'air ambiant dans le bâtiment, et de la chaleur latente en fonction de sa teneur en vapeur d'eau.



Figure 2
Bureaux de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Fribourg en Allemagne : exemple de réduction de la charge thermique d'été (protections solaires, toit ventilé, dispositifs d'ombrage et toit végétalisé)

2.2 - Stratégies

Les charges thermiques d'été peuvent être réduites en adoptant des stratégies « bioclimatiques » (Figure 3) :

Réduction des charges thermiques en prévoyant au moment de la conception :

- une protection du rayonnement solaire pour les fenêtres, les murs et les surfaces de couverture, en utilisant des dispositifs « écrans » artificiels ou naturels (Figures 4 et 5),
- une forte inertie thermique couplée à une sur-ventilation nocturne,
- une ventilation adéquate.

Réduction de la température extérieure en intervenant sur l'environnement proche du bâtiment :

- augmentation de l'humidité relative de l'air au moyen de bassins, fontaines et végétation,
- ombrage grâce à des plantations (arbres, pergolas etc.),
- réduction de l'albédo (coefficient de réflexion solaire de l'environnement) par la création d'espaces verts par exemple,
- choix de couleurs claires pour les murs extérieurs.

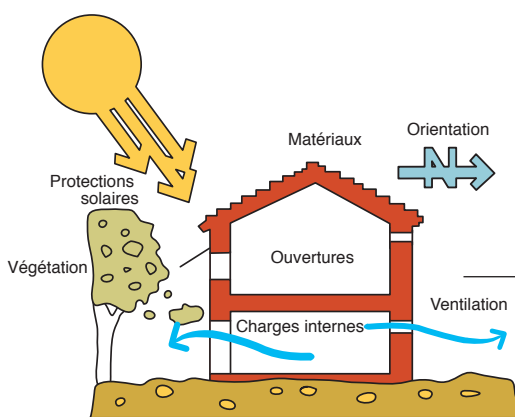


Figure 3
Une réduction de la charge thermique d'été peut être obtenue, au stade de la conception du bâtiment, en ayant recours à des stratégies bioclimatiques.

■ PROTECTION SOLAIRE

En été, le rayonnement solaire traverse les surfaces vitrées de l'enveloppe (portes et fenêtres), augmentant ainsi la charge thermique du bâtiment. Différents dispositifs de protection solaire permettent de réduire cet impact :

- protections solaires verticales pour les orientations Est et Ouest ou horizontales pour les orientations Sud (Figure 7),
- protections solaires externes fixes ou mobiles,
- stores extérieurs (volets roulants ou stores vénitiens),
- rideaux intérieurs (stores vénitiens ou tissu),
- vitrages spéciaux.

Les protections solaires externes sont plus efficaces car elles empêchent le rayonnement solaire de frapper les surfaces vitrées.



Figure 5
Protections solaires avec une avancée horizontale (casquette) et des stores extérieurs pour un bâtiment de bureaux à Dresde en Allemagne.



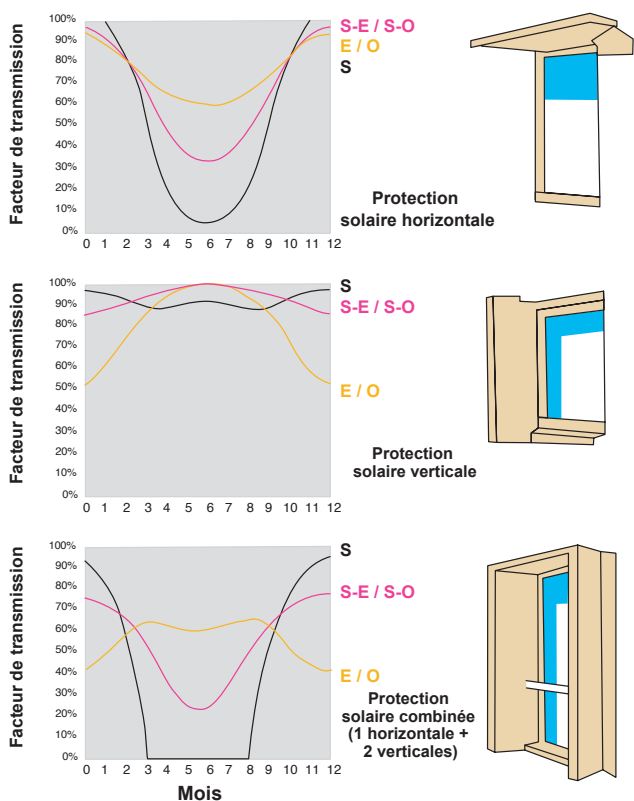
Figure 4
Dispositifs d'ombrage extérieurs pour un bâtiment de bureaux à Dresde en Allemagne.



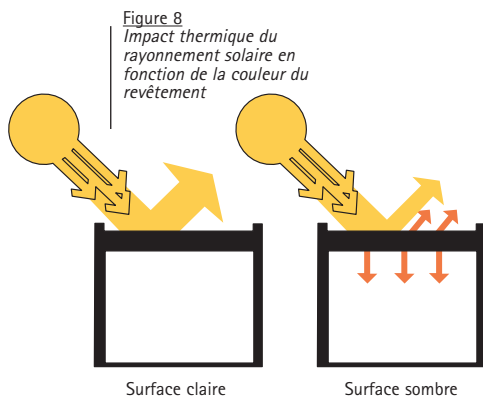
Figure 6
Avancée horizontale (casquette) avec modules photovoltaïques intégrés : maisons solaires à Fribourg en Allemagne.

Figure 7
Efficacité de différents systèmes de protection solaire, en fonction de :

- la géométrie du dispositif,
- l'orientation de la façade,
- la période de l'année.



Les protections solaires sont également importantes pour les surfaces opaques, et en particulier les enduits extérieurs, qui sont les surfaces de l'enveloppe les plus exposées au rayonnement. Même lorsqu'il est impossible de faire appel à des dispositifs d'ombrage efficaces, il est conseillé de choisir des surfaces extérieures ayant de faibles coefficients d'absorption.



■ INERTIE THERMIQUE

L'inertie thermique d'un bâtiment a un impact majeur sur les transferts de chaleur avec l'ambiance interne. Un bâtiment caractérisé par une masse thermique importante s'échauffe plus lentement, ce qui permet d'atténuer les surchauffes liées aux apports solaires à travers les vitrages. En fait, les structures accumulent le rayonnement direct et le restituent lentement à l'air ambiant dans les heures qui suivent. Une forte inertie thermique limite donc les pics de besoins en froid.

■ VENTILATION

En été, la ventilation est une des façons les plus simples d'assurer le confort thermique des occupants.

Il y a deux stratégies possibles :

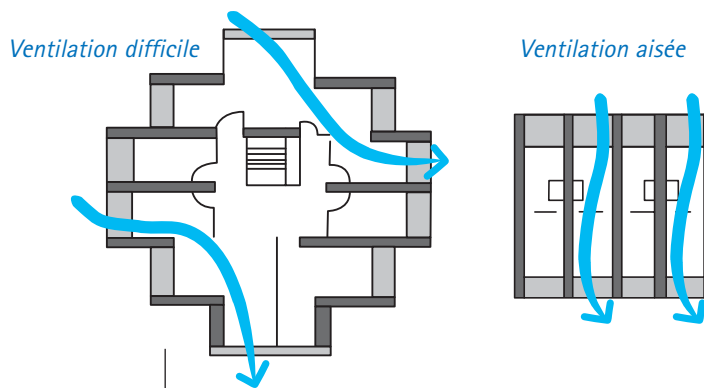
- La première, qui a un impact immédiat sur le bien-être des occupants, consiste à déplacer l'air à l'intérieur en le brassant avec des ventilateurs (de plafond ou autre), ou éventuellement avec l'aide de l'air extérieur (courant d'air) dans la mesure où il n'est pas plus chaud que l'air intérieur.

- La seconde approche, qui vise à refroidir le bâtiment, consiste à aérer fortement les pièces, dans la mesure où l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur : de cette façon, la structure se refroidit, ce qui prolonge le confort des occupants, y compris durant les heures les plus chaudes de la journée.

Dans les deux cas, ceci peut être réalisé soit à l'aide d'une ventilation mécanique, soit grâce à un courant d'air naturel à travers le bâtiment. Ceci impose de disposer :

- de pièces ayant une double orientation (au moins deux murs donnant sur l'extérieur, et dans deux directions opposées),
- de murs avec des ouvertures donnant sur des espaces peu bruyants (pour permettre l'ouverture des prises d'air).

Le contrôle de ces trois paramètres : protection solaire, inertie thermique et ventilation conduit à un abaissement sensible des températures intérieures moyennes en été.



2.3 - Techniques de réduction de la charge thermique d'été

Lorsqu'un bâtiment est conçu en intégrant l'ensemble des dispositifs présentés précédemment, le besoin de rafraîchissement est réduit dans des proportions considérables.

Bien que ces techniques s'appliquent plus facilement au stade de la conception d'un bâtiment neuf, de nombreuses possibilités existent aussi pour des bâtiments existants, avec un coût raisonnable.

■ RAFRAÎCHISSEMENT PASSIF

Les techniques de rafraîchissement passif peuvent être divisées en deux groupes principaux :

- celles qui limitent les apports thermiques : apports solaires, apports internes...
- celles qui évacuent les apports thermiques vers d'autres milieux : eau, air extérieur, sol...

Les solutions à adopter sont clairement décrites dans la brochure : « Natural and low energy cooling in buildings » (cf. bibliographie).

■ RÉDUCTION DE LA CHARGE THERMIQUE DANS LES BÂTIMENTS EXISTANTS

Une réduction importante de la charge thermique d'été, aussi bien au niveau de la puissance maximale nécessaire que de la consommation globale, peut être obtenue grâce à :

- une amélioration de la gestion du bâtiment,
- une réduction des charges internes,
- des interventions structurelles sur l'enveloppe du bâtiment,
- des interventions sur le système de ventilation.

La valeur de cette réduction dépend de nombreux paramètres : caractéristiques thermiques de l'enveloppe, orientation, masse thermique, latitude, conditions climatiques...

Une simulation numérique a été réalisée, basée sur un bâtiment de bureaux virtuel, caractérisé par une inertie moyenne et une face vitrée à 80%. La simulation a été faite en variant les orientations du bâtiment et en envisageant diverses mesures d'économie d'énergie.

Les résultats, repris dans le tableau 1, ont montré qu'une réduction importante des besoins en froid est possible (jusqu'à 45%) en adoptant de simples mesures passives. Ces résultats, liés à un bâtiment spécifique, sont donnés à titre d'exemple et ne sont pas systématiquement applicables.

	Description des interventions	Coût	Réduction de la charge thermique
Gestion du bâtiment	Régulation des températures dans chaque pièce	faible	0% - 6%
	Augmentation de la température de consigne (par exemple 27°C au lieu de 25°C)	nul	4% - 8%
	Augmentation de la consigne d'humidité relative (par exemple 55-60 % au lieu de 50 %)	nul	1% - 5%
	Utilisation optimisée de l'éclairage et des appareils électriques	nul	3% - 7%
	Bonne utilisation des ouvertures extérieures, des volets et des stores	nul	0% - 5%
Réduction des apports internes	Régulation de l'éclairage (variation d'intensité, détecteurs de présence, etc.) avec des lampes à incandescence	faible	4% - 6%
	Régulation de l'éclairage (variation d'intensité, détecteurs de présence, etc.) avec des lampes fluorescentes	faible	2% - 4%
	Utilisation d'un éclairage basse-consommation (lampes fluorescentes à la place de lampes à incandescence)	moyen	10% - 13%
Interventions sur l'enveloppe du bâtiment	Occultations internes (stores intérieurs, rideaux...)	faible	2% - 5%
	Occultations externes (stores extérieurs, volets...)	moyen	8% - 19%
	Utilisation d'une avancée verticale (0,6 m)	élevé	2% - 18%
	Utilisation d'une avancée horizontale (1,5 m)	élevé	1% - 9%
	Utilisation d'une avancée horizontale (0,6 m)	élevé	2% - 8%
	Double vitrage réfléchissant	élevé	4% - 7%
	Film réfléchissant	moyen	3% - 11%
	Mur de couleur claire, avec un faible pouvoir absorbant	faible	1% - 8%
	Isolation du toit	moyen	3% - 6%
	Dispositifs d'ombrage sur la couverture du toit	élevé	3% - 6%
	Toit ventilé	élevé	2% - 8%
Toit végétalisé	élevé	4% - 15%	
Interventions sur les équipements	Centrale double flux, récupération thermique sur air extrait	élevé	2% - 4%
	Sur-ventilation nocturne	moyen	4% - 8%
	Système de régulation performant	élevé	2% - 8%

Tableau 1 : Interventions techniques pour la réduction de la charge thermique d'été. Ces résultats, liés à un bâtiment spécifique, sont donnés à titre d'exemple et ne sont pas systématiquement applicables.

LES TECHNIQUES DE RAFRAÎCHISSEMENT SOLAIRE

Les systèmes les plus répandus de rafraîchissement utilisant le solaire thermique pour produire du froid, sont présentés dans le tableau 2. Ils peuvent être classés en deux grandes familles :

- **Les systèmes fermés** : un groupe de production de froid à sorption (absorption et adsorption) produit de l'eau glacée, utilisable aussi bien dans une centrale de traitement d'air (refroidissement, déshumidification), que dans un réseau d'eau glacée alimentant des installations décentralisées (ventilo-convecteurs par exemple). Les groupes de froid existants sur le marché et adaptés au solaire sont les machines à absorption (les plus répandues) et les machines à adsorption (quelques centaines de machines dans le monde, mais présentant un fort intérêt pour le rafraîchissement solaire).
- **Les systèmes ouverts** : où l'air est directement traité (refroidissement, déshumidification) en fonction des conditions de confort souhaitées. Le « réfrigérant » est toujours de l'eau, puisqu'il est en contact direct avec l'air à refroidir. Les systèmes les plus répandus utilisent une roue à dessiccation rotative.





Méthode	Cycle fermé		Cycle ouvert	
Cycle du réfrigérant	Cycle du réfrigérant fermé		Le réfrigérant (eau) est en contact avec l'atmosphère	
Principe	Eau glacée		Déshumidification de l'air et refroidissement évaporatif	
Phase du sorbant	Solide	Liquide	Solide	Liquide
				
Couples utilisés	eau – silica gel	eau – bromure de lithium ammoniacque – eau	eau – silica gel eau – chlorure de lithium	eau – chlorure de calcium eau – chlorure de lithium
Technologie disponible sur le marché	Machine à adsorption	Machine à absorption	Système à dessiccation	Proche de l'introduction sur le marché
Gamme de puissance froid (kW froid)	50 – 430 kW	15 kW – 5 MW	20 kW – 350 kW par module	
COP nominal	0,5 – 0,7	0,6 – 0,75 (Simple effet)	0,5 – >1	> 1
Température de fonctionnement	60 – 90 °C	80 – 110 °C	45 – 95 °C	45 – 70 °C
Capteurs solaires	Tubes sous vide, capteurs plans	Tubes sous vide	Capteurs plans, capteurs à air	Capteurs plans, capteurs à air

Tableau 2 : Panorama des technologies de rafraîchissement solaire les plus couramment utilisées.

3.1 - Production d'eau glacée par une machine à absorption ou à adsorption

Les machines à sorption (absorption et adsorption) peuvent être caractérisées par trois températures :

- une température haute (TC) correspondant à la chaleur motrice fournie au système (circuit d'eau chaude),
- une température basse (TF) correspondant à celle de la « production de froid » (circuit d'eau glacée),
- une température intermédiaire (TM) au niveau de laquelle la quantité de chaleur prélevée sur l'eau glacée et la chaleur motrice doivent être évacuées, le plus souvent au moyen d'une tour de refroidissement ouverte (circuit de refroidissement).

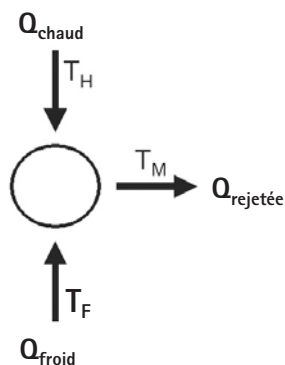


Figure 10
Schéma de principe du processus : Q_{froid} est la quantité de chaleur extraite de l'eau glacée au niveau de l'évaporateur. Q_{chaud} est la quantité de chaleur requise pour faire fonctionner le processus (chaleur motrice). $Q_{rejetée}$, somme de Q_{froid} et Q_{chaud} , est la quantité de chaleur à évacuer à la température moyenne T_M . Q_{chaud} peut être fournie soit par des capteurs solaires, soit par un système d'appoint (réseau de chaleur ou chaudière gaz par exemple).

Un paramètre clé pour décrire l'efficacité d'une machine à sorption est le COefficient de Performance thermique (COP), défini par le rapport entre la chaleur extraite de l'eau glacée (production de froid) et la chaleur motrice du processus : $COP_{thermique} = Q_{froid} / Q_{chaud}$. Ce paramètre est différent du COP_{conv} d'un groupe de froid classique à compression électrique, défini par : $COP_{conv} = Q_{froid} / E_{électrique}$, où $E_{électrique}$ représente la consommation électrique du groupe de froid.

La définition du COP thermique n'inclut pas les consommations électriques annexes. Une comparaison plus satisfaisante des différentes technologies nécessite la prise en compte de l'ensemble des consommations énergétiques (chaleur motrice, consommations électriques des pompes et ventilateurs). On peut noter que, plus le COP est faible, plus la quantité de chaleur à fournir au système et celle qui doit être évacuée dans la tour de refroidissement sont élevées. À l'inverse, une valeur élevée du COP est un avantage permettant de réduire à la fois le besoin en chaleur motrice et la consommation électrique des pompes.

La température de l'eau glacée dépend du système de distribution installé dans les pièces. Lorsqu'une déshumidification de l'air est nécessaire, la température de l'eau glacée doit être inférieure au point de rosée (6°- 9°C, en général). Lorsque l'on souhaite uniquement un abaissement de température, sans déshumidification, une température d'eau glacée de 12°-15°C est suffisante, conduisant à de meilleures performances de la machine.

■ MACHINES À ABSORPTION

Ce sont les machines les plus répandues. La compression thermique est obtenue en utilisant un couple réfrigérant/liquide absorbant, et une source de chaleur qui remplace la consommation électrique du compresseur mécanique. Pour de l'eau glacée au dessus de 0°C, comme c'est le cas en climatisation, c'est le couple eau/bromure de lithium ($H_2O/LiBr$) qui est utilisé, l'eau étant le réfrigérant. La plupart des systèmes utilisent une pompe à solution, très faiblement consommatrice d'électricité. Dans un système $H_2O/LiBr$, la cristallisation de la solution doit être évitée par un contrôle interne de la température du circuit de refroidissement.

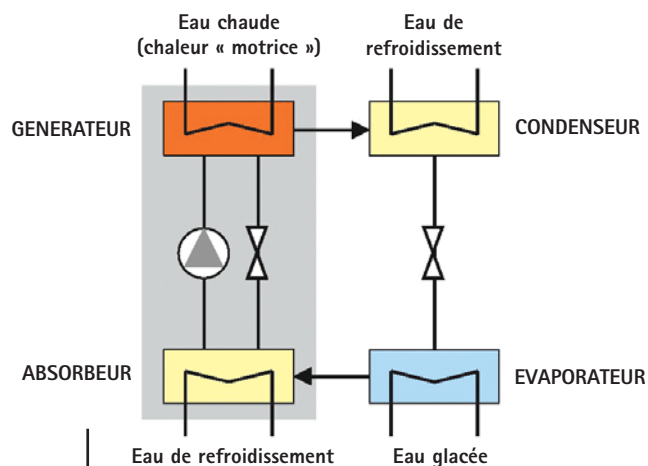


Figure 11
Schéma de principe d'une machine à absorption

La « production de froid » est basée sur l'évaporation du réfrigérant (l'eau) dans l'évaporateur à très basse pression. La vapeur d'eau est alors « aspirée » dans l'absorbeur, contribuant à la dilution de la solution $H_2O/LiBr$. L'efficacité du processus d'absorption nécessite un refroidissement de la solution. Cette dernière est pompée en continu dans le générateur où elle est chauffée (chaleur motrice). La vapeur d'eau ainsi générée est envoyée dans le condenseur, où elle se condense. L'eau liquide, après passage dans une vanne de détente, retourne ensuite à l'évaporateur.

Les puissances frigorifiques des machines à absorption sont généralement de l'ordre de plusieurs centaines de kW froid. Elles sont généralement alimentées par un réseau de chaleur, de la chaleur résiduelle ou une co-génération. La température de la source chaude est généralement au dessus de 80°C pour des machines à simple effet, avec un COP entre 0,6 et 0,8. Les machines double effet, utilisant la chaleur motrice sur 2 niveaux, nécessitent des températures supérieures à 140°C, pour des COP pouvant atteindre 1,2.



Figure 12
Machine à absorption - Hôtel de Rethymnon - Crète (Grèce)

Quelques machines à absorption de capacité inférieure à 50 kW sont disponibles. Pour le rafraîchissement solaire à absorption, ce sont souvent ces petites machines qui sont utilisées. Une machine, développée récemment pour des petites capacités, permet un fonctionnement à charge partielle, avec une température de 65°C et un COP d'environ 0,7 ; ce qui la rend particulièrement intéressante pour une alimentation solaire. Ceci montre le fort potentiel d'amélioration qui existe encore pour ce type de machines.

■ MACHINES À ADSORPTION

Ici, au lieu d'une solution liquide, un matériau solide (un adsorbant) est utilisé. Les systèmes disponibles sur le marché utilisent l'eau comme réfrigérant et le silica-gel comme adsorbant.

La machine comprend deux compartiments remplis d'adsorbant (compartiments 1 et 2 de la figure 13), un évaporateur et un condenseur.

L'adsorbant du premier compartiment est régénéré par chauffage (eau chaude solaire), la vapeur d'eau ainsi générée étant envoyée dans le condenseur où elle se condense. L'eau liquide, via une vanne de détente, est envoyée à basse pression dans l'évaporateur où elle s'évapore (phase de « production de froid »).

L'adsorbant du compartiment 2 maintient la basse pression en adsorbant cette vapeur d'eau. Ce compartiment doit être refroidi pour entretenir le processus d'adsorption. Lorsque la « production de froid » diminue (saturation de l'adsorbant en vapeur d'eau), les fonctions des deux compartiments sont permutées par ouverture et fermeture de clapets. Actuellement, seuls quelques fabricants asiatiques proposent ce type de machines à adsorption.

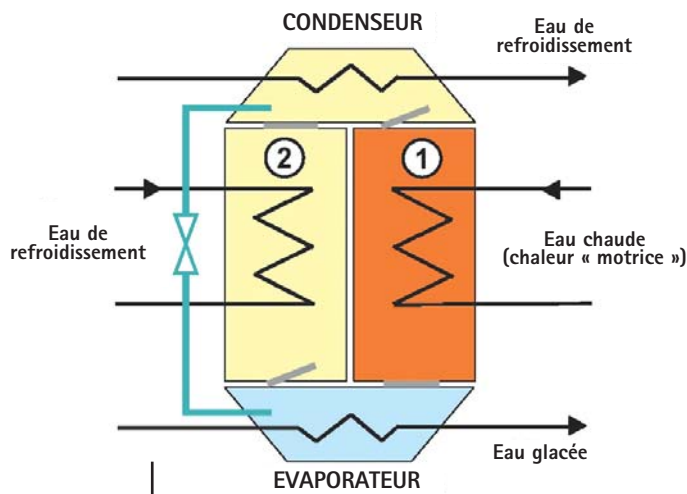


Figure 13
Schéma de principe d'une machine à adsorption

Avec une température de source chaude d'environ 80°C, ces systèmes obtiennent des COP d'environ 0,6 mais peuvent fonctionner jusqu'à des températures d'environ 50°C. La capacité des machines va de 50 à 500 kW froid.

La robustesse de ces machines à adsorption est un atout. Il n'y a, d'autre part, aucun danger de cristallisation et donc, pas de contrainte sur la température intermédiaire de refroidissement. Il n'y a pas de pompe à solution ; les consommations électriques sont donc particulièrement réduites. Seuls leur taille et leur poids élevés sont un inconvénient. Il existe cependant un potentiel important d'amélioration au niveau des échangeurs dans les compartiments d'adsorption, et donc de réduction de poids et de volume pour les futures générations de machines à adsorption.

D'autre part, étant donné le faible nombre de machines produites, le coût des machines à adsorption est actuellement élevé.



Figure 14
Machine à adsorption à Sarantis en Grèce

3.2 - Systèmes à dessiccation

Les systèmes à dessiccation sont des systèmes ouverts utilisant l'eau, en contact direct avec l'air, comme réfrigérant. Le cycle de rafraîchissement est une combinaison de rafraîchissement évaporatif avec une déshumidification par un matériau hygroscopique, qui peut être aussi bien liquide que solide.

Le terme « ouvert » signifie que le réfrigérant est évacué du système après qu'il ait produit son effet refroidissant, et qu'une nouvelle quantité de réfrigérant doit être injectée, le tout dans une boucle ouverte. Seule l'eau peut être utilisée comme réfrigérant puisqu'elle est en contact direct avec l'air ambiant.

La technologie la plus courante aujourd'hui utilise des roues à dessiccation rotatives, avec du silica-gel ou du chlorure de lithium comme matériau de sorption.

■ SYSTÈME UTILISANT UN MATÉRIAU DÉSHYDRATANT SOLIDE DANS UNE ROUE EN ROTATION

Les principaux composants du système sont présentés dans la figure 15.

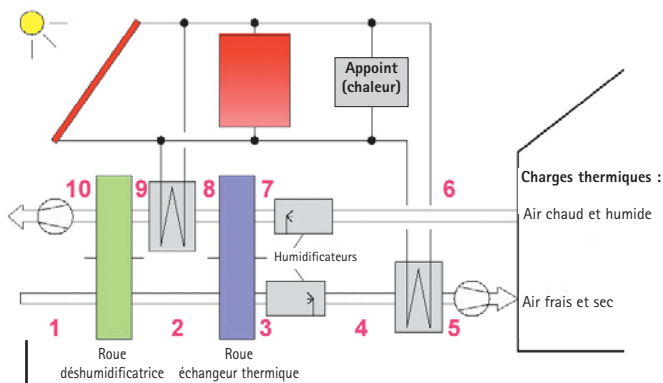


Figure 15
Schéma de principe d'un système à dessiccation (dessiccant cooling)

A: Rafraîchissement

Le procédé de base permettant le conditionnement d'air est le suivant:

L'air entrant, chaud et humide, traverse une roue à dessiccation en rotation lente, et est donc déshumidifié (1-2).

L'air étant réchauffé par le phénomène d'adsorption, un premier refroidissement est obtenu au travers d'un échangeur thermique (roue métallique en nid d'abeilles, en rotation : 2-3).

L'air est ensuite humidifié, et donc refroidi, dans un humidificateur (3-4), permettant d'ajuster le niveau d'humidité et de température souhaité pour l'air neuf.

L'air repris dans la pièce est humidifié pratiquement jusqu'au point de saturation (6-7), pour bénéficier au maximum du potentiel de refroidissement dans l'échangeur thermique (7-8). Enfin, la roue à dessiccation doit être régénérée (9-10), en utilisant de la chaleur à un niveau de température relativement faible (50° à 75°C), permettant ainsi de poursuivre le processus continu de déshumidification.

B: Chauffage

Pendant les périodes où les besoins de chauffage sont limités, la récupération de chaleur sur l'air sortant et l'échange enthalpique, utilisant une vitesse de rotation plus élevée de la roue à dessiccation, sont suffisants. Lorsque les besoins de chauffage sont plus importants, l'énergie solaire, et le cas échéant, une énergie d'appoint (4-5) sont utilisées.

Les capteurs solaires plans à eau, voire à air, sont les plus couramment utilisés dans ce type d'installation. L'eau utilisée comme fluide de transfert énergétique, associée à un ballon de stockage de l'eau chaude, permet de faire face, pour partie, aux périodes sans ensoleillement. Le système nécessite alors un échangeur thermique complémentaire eau/air (4-5 pour le chauffage ou 8-9 pour le rafraîchissement). Une autre solution, conduisant à un coût d'investissement plus faible, utilise directement l'énergie solaire de régénération par le biais de capteurs à air.

Une conception particulière du système à dessiccation est nécessaire dans le cas de conditions extérieures extrêmes, par exemple dans les régions côtières méditerranéennes. Étant donné le taux d'humidité élevé, une configuration standard ne permet pas de le réduire suffisamment pour utiliser ensuite le rafraîchissement évaporatif. Des configurations plus complexes de la centrale de traitement d'air, utilisant par exemple une autre roue enthalpique, ou un groupe de froid complémentaire doivent être utilisées.

■ SYSTÈME UTILISANT UN MATÉRIAU DÉSHYDRATANT LIQUIDE

Un nouveau développement, proche de l'introduction sur le marché, utilise pour la dessiccation de l'air un sorbant liquide : une solution eau/chlorure de lithium. Par rapport à un système à dessiccation utilisant un sorbant solide, ce type de système présente plusieurs avantages : un plus fort taux de déshumidification pour le même niveau de température et la possibilité d'un haut niveau de stockage énergétique sous la forme de solution concentrée. Cette technologie représente sans doute un futur prometteur pour le rafraîchissement solaire.







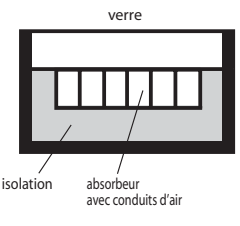
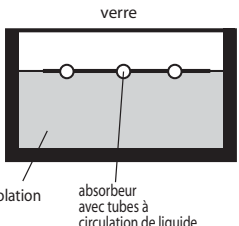
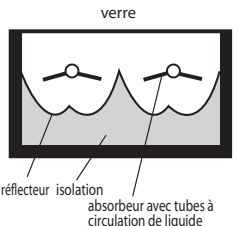
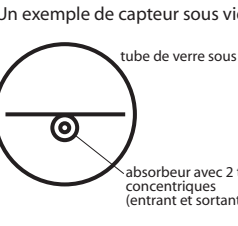
Figure 16
Système utilisant un matériau déshydratant liquide installé dans le nouveau bâtiment du Centre d'Innovation Solaire (SOBIC) à Fribourg en Allemagne

3.3 - Capteurs solaires

Les principaux types de capteurs solaires disponibles sur le marché sont présentés dans le tableau 3.

Le rafraîchissement solaire se différencie de la production d'eau chaude par le niveau élevé de température à laquelle la chaleur utile doit être fournie. Pour les groupes de froid à sorption (absorption et adsorption), la température utile dépasse généralement 80°C ; les valeurs les plus basses étant d'environ 50°C. Pour les systèmes à dessiccation, la température de fonctionnement va de 55°C à 90°C. Compte-tenu des débits élevés nécessaires pour alimenter le système, une stratification du volume de stockage de l'eau chaude est difficile et la température de retour dans le capteur est donc relativement élevée, elle aussi. Ceci induit une limitation dans le choix du type de capteur.

En conséquence, les capteurs solaires plans et les capteurs à air sont bien adaptés pour les systèmes à dessiccation. Lorsque l'on utilise un groupe de froid à adsorption, l'utilisation de capteurs plans sélectifs est limitée aux régions à fort ensoleillement. Dans les régions moins ensoleillées, ou pour les groupes de froid nécessitant des températures de fonctionnement plus élevées comme les machines à absorption simple effet, des capteurs à hautes performances doivent être utilisés. Si on se limite aux capteurs fixes, des températures encore plus élevées peuvent être obtenues grâce à des capteurs sous vide à concentration optique. Il peut s'agir d'une option intéressante pour les systèmes utilisant des groupes de froid à absorption haute performance (double effet).

Type de capteur	Capteur à air	Capteur plan	Capteur plan à concentrateur parabolique	Capteur sous vide
Abréviations	CA	CP	CPC	CSV
				
	 <p>verre</p> <p>isolation absorbeur avec conduits d'air</p>	 <p>verre</p> <p>isolation absorbeur avec tubes à circulation de liquide</p>	 <p>verre</p> <p>réflecteur isolation absorbeur avec tubes à circulation de liquide</p>	<p>Un exemple de capteur sous vide</p>  <p>tube de verre sous vide</p> <p>absorbeur avec 2 tubes concentriques (entrant et sortant)</p>
Principe	Chauffage direct de l'air	Chauffage d'un liquide (eau, eau+glycol)	Chauffage d'un liquide (eau, eau+glycol), concentration du rayonnement	Tube sous vide pour réduire les pertes thermiques. Différentes technologies : - capteur à caloducs - capteur à flux direct - capteur à concentration, type Sydney
Principales applications	Pré-chauffage de l'air de ventilation	Eau chaude sanitaire	Eau chaude sanitaire et industrielle	Eau chaude sanitaire et industrielle
Principales applications en rafraîchissement solaire	Systèmes ouverts à dessiccation	Systèmes à dessiccation, adsorption, absorption (simple effet) avec capteurs sélectifs	Adsorption et absorption (simple effet)	- Adsorption, absorption (simple effet) - Absorption (double effet) : Sydney

3.4 - Tours de refroidissement et centrales de traitement d'air

Les centrales classiques de traitement d'air utilisent généralement un système d'humidification. Une tour de refroidissement humide doit être installée avec les groupes de froid à sorption dans la majorité des cas.

Les deux technologies peuvent présenter un risque de développement

de légionnelles si l'installation ne bénéficie pas d'un plan de maintenance régulier et sérieux.

Cet aspect n'est cependant pas spécifique au rafraîchissement solaire et des règles standards de sécurité et de maintenance permettent d'éviter ce risque.

3.5 - Investissement et coûts de fonctionnement

La plupart des installations réalisées à ce jour sont des opérations de démonstration ou de recherche et des efforts sont encore nécessaires pour optimiser la conception des nouvelles installations.

L'effort technique pour l'implantation d'une installation de rafraîchissement solaire est plus élevé que pour un système conventionnel. Ceci provient à la fois de la mise en oeuvre de la partie production d'énergie solaire (la production d'énergie n'étant pas incluse dans les éléments d'une installation classique), et des besoins plus élevés en refroidissement du système, liés à l'utilisation de groupes de froid à sorption (COP plus faible qu'un système classique).

Le coût de certains composants est d'autre part encore assez élevé, le niveau de production étant loin d'avoir atteint un stade de fort développement industriel (par exemple pour les groupes à adsorption).

En résumé, les coûts d'investissement de ces systèmes, hors subvention, sont assez sensiblement au dessus de ceux des équipements conventionnels. Ceci peut être moins vrai pour les systèmes à dessiccation, puisqu'une grande partie de la centrale de traitement d'air d'une installation de rafraîchissement solaire se rapproche de celle d'une installation classique. Le coût additionnel du champ de capteurs est partiellement compensé par l'absence du groupe de froid qui est nécessaire dans un système classique.

Par contre, les coûts de fonctionnement des installations de rafraîchissement solaire sont bien moins élevés que ceux des installations classiques. Ceci est particulièrement vrai lorsque la puissance électrique souscrite doit être augmentée pour faire face aux pics de consommations liés à une climatisation classique.

En général, et bien que le bilan économique soit propre à chaque installation, le coût complet annuel (incluant l'investissement, les coûts de fonctionnement et de maintenance) est supérieur à celui d'une installation conventionnelle.

Pour les systèmes à dessiccation, une réduction assez limitée du coût des composants, parfois proche de la marge de négociation avec les distributeurs, pourrait les rendre compétitifs, pour certaines applications, avec les solutions classiques.

Pour les systèmes qui utilisent des groupes de froid à sorption, des réductions de coût plus importantes sont nécessaires. Bien que de telles réductions sur les groupes à adsorption et les tubes sous vide soient espérées, des efforts supplémentaires sur les performances (COP, efficacité dans la régulation du système) sont nécessaires. Une capitalisation d'expérience des fabricants, des bureaux d'études et des installateurs devrait aussi permettre une diminution des coûts. Grâce à l'ensemble de ces améliorations, les systèmes devraient atteindre, étape après étape, un coût global proche des installations conventionnelles, tout en permettant une considérable économie d'énergie primaire, contribuant ainsi aux objectifs de réduction des impacts environnementaux de la climatisation.

Ce bénéfice environnemental justifie le soutien des pouvoirs publics à des projets de démonstration, généralement sous la forme de subventions à l'investissement, permettant ainsi de les rendre économiquement viables.

N° Lieu (Pays)

Type de bâtiment

Technologie – Capacité de refroidissement (kW froid)

Type de capteur – Surface de capteur hors tout – Mise en service en

Type de capteur

CSV : Capteur Sous Vide

CP : Capteur Plan

CPC : Capteur Plan à

Concentration parabolique

CA : Capteur à Air

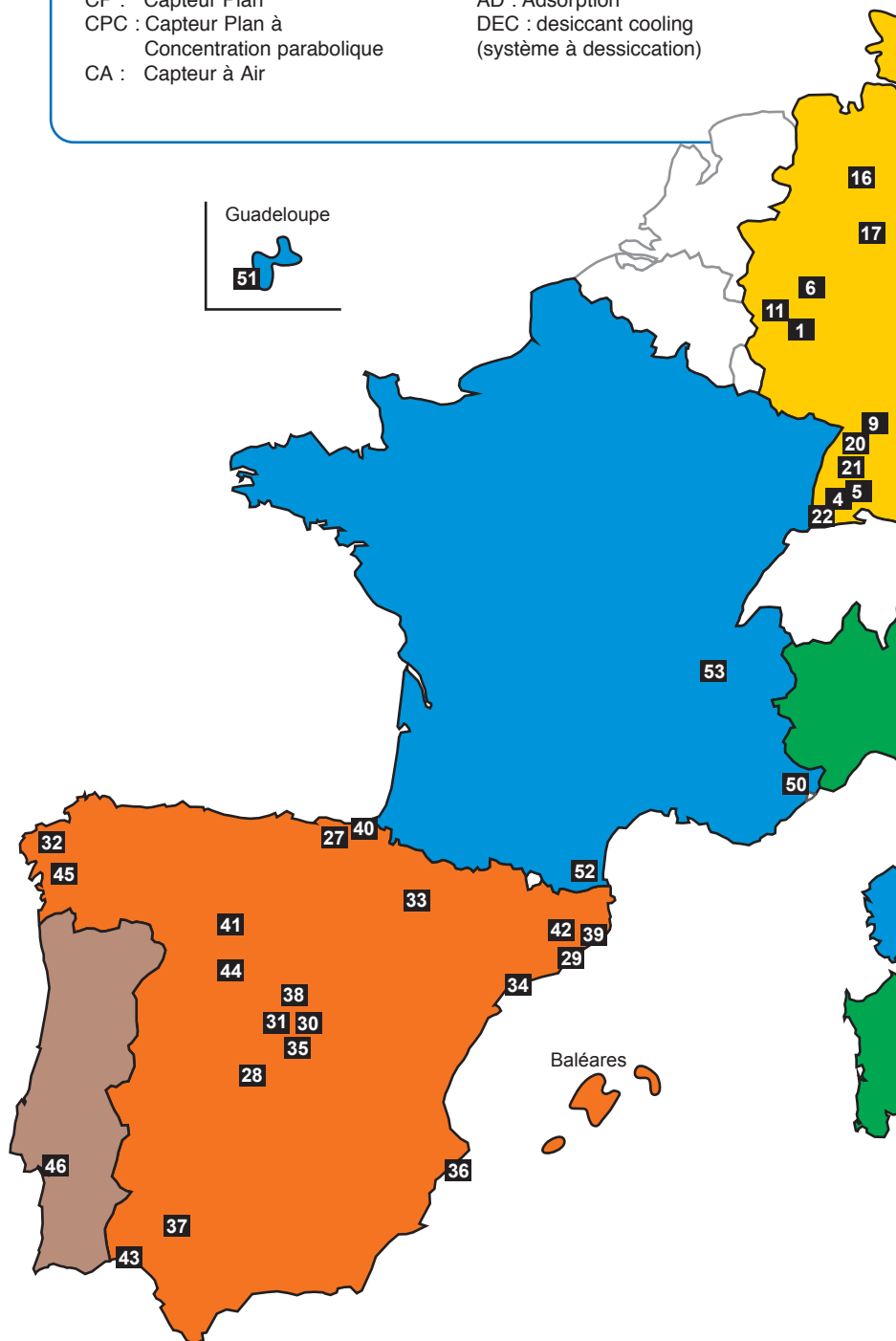
Technologie

AB : Absorption

AD : Adsorption

DEC : desiccant cooling

(système à dessiccation)



1	SARL Wolferts Cologne (D)
Bureaux AB - 70 kW froid CSV - 196 m ² - 1995	

2	Ott & Spies Langenau (D)
Bureaux AB - 35 kW froid CSV - 45 m ² - 1997	

3	Bureau de presse fédéral, Berlin (D)
Bureaux AB - 70 kW froid CSV - 348 m ² - 2000	

4	Centre hospitalier universitaire Fribourg (D) *
Laboratoire AD - 70 kW froid CSV - 230 m ² - 1999	

5	IHK-Chambre de Commerce Fribourg (D) *
Salle de réunion DEC - 60 kW froid CA - 100 m ² - 2001	

6	Fraunhofer Umsicht Oberhausen (D)
Bureaux, laboratoires AB - 58 kW froid CSV - 108 m ² - 2001	

7	Ministère des trans- ports, Berlin (D)
Bureaux AB - 70 kW froid CP - 229 m ² - 2000	

8	ZAE Bavière Garching (D)
Bureaux, laboratoire AB - 7 kW froid CSV - 30 m ² - 1999	

9	Zander Stuttgart (D)
Bureaux AB - 143 kW froid CSV - 300 m ² - 2000	

10	Centre technologique Köthen (D)
Bureaux AB - 15 kW froid CSV - 100 m ² - 2000	

11	Régie Remscheid (D)
Bureaux AD - 105 kW froid CP - 170 m ² - 1999	

12	Bautzener Str Dresde (D)
Bureaux AD - 71 kW froid CP - 156 m ² - 1996	

13	Götz Würzburg (D)
Bureaux AD - 70 kW froid CP - 80 m ² - 1996	

14	LfU Augsbourg (D)
Bureaux, salle de conférence AD - 245 kW froid CP - 2 000 m ² - 2000	

15	Hôpital Malteser Kamenz (D)
Hôpital AD - 105 kW froid CP - 140 m ² - 2000	

16	Ecotec Brême (D)
Bureaux AD - 70 kW froid CSV - 175 m ² - 2000	

17	Régie Bückeburg (D)
Salle de conférence, foyer DEC - 30 kW froid CA - 115 m ² - 1998	

18	ILK Dresde (D)
Salle de réunion DEC - 18 kW froid CP - 20 m ² - 1996	

19	Gründerzentrum Riesa (D)
Salle de réunion DEC - 18 kW froid CP - 23 m ² - 1997	

20	Ecole technique supé- rieure Stuttgart (D)
Salle d'exposition DEC - 18 kW froid CA - 20 m ² - 1999	

21	Mayer Alt-Hengstett (D)
Usine DEC - 108 kW froid CA - 100 m ² - 2000	

22	Fraunhofer ISE Fribourg (D)
Installation test DEC - 24 kW froid CA+CP - 40 m ² - 2000	

23	NCSR "Demokritos" Laboratoire solaire Athènes (GR)
Bureaux et laboratoires AB - 35 kW froid CP - 160 m ² - 2003	

24	Sarantis SA Viotia (GR) *
Industrie cosmétique AD - 700 kW froid CP - 2 700 m ² - 1999	

25	Village vacances Rethymon, Crète (GR)
Hôtel AB - 105 kW froid CP - 450 m ² - 2000	

26	Lentzakis S.A. Crète (GR)
Hôtel AB - 105 kW froid CP - 450 m ² - 2002	

* Installations présentées plus en détail dans les pages suivantes.

RAFRAÎCHISSEMENT SOLAIRE

Cette carte recense les installations « commerciales » en fonctionnement (usines, bureaux, hôtels..., sans les installations de R&D) identifiées dans les pays participant au projet européen promotion de la climatisation solaire.



27	Centre Clara Campoamor, Baracaldo (E)
Centre culturel et social AB - 229 kW froid CP - 163 m ² - 2004	

28	Département Education Tolède (E)
Bureaux AB - 252 kW froid CSV - 1 095 m ² - 2004	

29	Fábrica del Sol Barcelone (E)
Bureaux AB - 105 kW froid CSV - 175 m ² - 2004	

30	Fundación Metrópoli Alcobendas (E)
Bureaux AB - 105 kW froid CSV - 105 m ² - 2004	

31	Centre sportif Daoiz y Velarde Madrid (E)
Centre sportif AB - 170 kW froid CSV - 740 m ² - 2003	

32	Inditex Arteixo (E) *
Bureaux, magasins AB - 170 kW froid CP - 1626 m ² - 2003	

33	Maison de retraite Fustiñana (E)
Maison de retraite AB - 105 kW froid CSV - 149 m ² - 2003	

34	Université Rovira i Virgili Tarragone (E)
Bureaux AB - 35 kW froid CSV - 140 m ² - 2003	

35	Siège social Viessmann Pinto (E)
Bureaux AB - 105 kW froid CP+CSV - 123 m ² - 2001	

36	Hôtel Palace Belroy Benidorm (E)
Hôtel AB - 125 kW froid CSV - 345 m ² - 1992	

37	Ecole d'ingénieurs Séville (E)
Laboratoire AB - 35 kW froid CP - 158 m ² - 2001	

38	Université Carlos III Leganés (E)
Laboratoire AB - 35 kW froid CP+CSV - 128 m ² - 2000	

39	Bibliothèque Pompeu i Fabra, Mataró (E)
Bibliothèque DEC - 55 kW froid CA - 105 m ² - 2002	

40	Hôtel Laia Derio (E)
Hôtel AB - 105 kW froid CP - 173 m ² - 2002	

41	Cartif Valladolid (E)
Bureaux et laboratoire AB - 35 kW froid CP+CSV - 99 m ² - 2002	

42	Siemens Cornellá del Vallés (E)
Bureaux AB - 105 kW froid CPC - 214 m ² - 2003	

43	Inta El Arenosillo (E)
Laboratoire AB - 10 kW froid CP+CSV - 53 m ² - 1994	

44	Fontedoso El Oso (E)
Industrie AB - 105 kW froid CP - 528 m ² - 2003	

45	Stella-Feuga Saint-Jacques-de-Compostelle (E)
Bureaux AB - 115 kW froid CP - 63 m ² - 2003	

46	Ineti Lisbonne (P) *
Bureaux DEC - 36 kW froid CPC - 48 m ² - 1999	

47	Agence de développement Trente (I) *
Bureaux, salle d'exposition AB - 108 kW froid CP - 265 m ² - 2004	

48	Ökopark Hartberg, Styrie (A) *
Bureaux, salle de conférence DEC - 30 kW froid CSV - 12 m ² - 2000	

49	Cave Peitler Leutschach, Styrie (A)
Cave viticole AB - 10 kW froid CP - 100 m ² - 2003	

50	CSTB Sophia Antipolis (F) *
Laboratoires AB - 35 kW froid CSV - 58 m ² - 2003	

51	DIREN Guadeloupe (F) *
Bureaux AB - 35 kW froid CSV - 100 m ² - 2003	

52	GICB Banyuls (F) *
Cave viticole AB - 52 kW froid CSV - 215 m ² - 1991	

53	ASDER Chambéry (F)
Salle de conférence DEC - 7 kW froid CP - 16 m ² - 2004	

Centre hospitalier universitaire Fribourg



NUMERO SUR LA CARTE: 4

PAYS

Allemagne

LOCALISATION

Fribourg, Etat Fédéral du Bade Wurtemberg



BATIMENT

Laboratoire

CAPACITE

70 kW froid

TECHNOLOGIE

Machine à adsorption

TYPE DE CAPTEUR

Tubes sous vide à flux direct

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

230 m²

EN SERVICE DEPUIS

1999

Description :

Le centre hospitalier universitaire de Fribourg exploite plusieurs laboratoires dont l'un est équipé d'un système de climatisation solaire. La surface totale climatisée du bâtiment est d'environ 550 m².

Deux systèmes de ventilation à débit variable (débits nominaux 10 550 m³/h et 6 350 m³/h), utilisant des échangeurs thermiques double flux pour récupérer la chaleur en hiver, sont implantés. En été, l'air neuf est refroidi au moyen d'échangeurs à eau glacée, produite par un groupe à adsorption. La température de l'air neuf est réglée à 18 °C.

La chaleur produite par les capteurs solaires est utilisée en été pour alimenter le groupe à adsorption et en hiver pour préchauffer l'air ventilé. Un ballon de 6 m³ d'eau chaude et un

de 2 m³ d'eau glacée sont intégrés à l'installation. En cas d'insuffisance du rayonnement solaire et de faible température de l'eau chaude stockée, un complément est fourni par le réseau de vapeur de l'hôpital. Une tour aéro-réfrigérante humide fermée refroidit l'eau utilisée pendant le passage dans le circuit de refroidissement du condenseur et pendant la phase d'adsorption.

Après une phase de réglages dus au fonctionnement spécifique du groupe de froid, les données observées en 2002 révèlent, sur plusieurs jours de la période de climatisation, des valeurs du Coefficient de Performance thermique, COP (froid utile / chaleur motrice) proches de la valeur attendue de 0,60. Le rendement net annuel des capteurs est de 32 %.

Aspects financiers :

Coût d'investissement total du système : 352 000 € (hors coût du télé-suivi).

L'installation a été subventionnée par le Ministère Fédéral de l'Economie et du Travail et

par la société Sulzer Infra pour une subvention totale égale à 262 000 €

Le coût annuel de fonctionnement et de maintenance est d'environ 12 000 €.

Aspects énergétiques et environnementaux :

Ce système permet de soulager le réseau de chaleur, en évitant les pics de consommation en vapeur et en électricité pendant la période de fort besoin en froid, qui correspond au fort rayonnement solaire. Ceci conduit à des écono-

mies d'énergie primaire et donc à une réduction des émissions de CO₂.

Le groupe à adsorption est exclusivement constitué de matériaux respectueux de l'environnement.

Contact :

Hendrik Glaser, Centre hospitalier universitaire, Département Energie
Courriel : hendrik.glaser@uniklinik-freiburg.de

Site web : www.raee.org/climatisationsolaire/

IHK - Chambre de commerce Fribourg

NUMERO SUR LA CARTE: 5

PAYS

Allemagne

LOCALISATION

Fribourg, Etat Fédéral du
Bade Württemberg



BATIMENT

Bureaux, 2 salles de
réunion rafraîchies

CAPACITE

60 kW froid

TECHNOLOGIE

Système à dessiccation
solaire sans appoint

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs plans à air

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

100 m²

EN SERVICE DEPUIS

2001



Description :

La Chambre de Commerce (IHK Südlicher Oberrhein) de Fribourg est équipée du premier système solaire à dessiccation autonome installé en Allemagne. Ce système permet de rafraîchir l'été et préchauffer l'hiver deux salles de réunion de 65 et 148 m².

La capacité totale de ces salles est de 120 personnes environ, leur volume total de 815 m³. Les façades sont totalement vitrées mais équipées de stores extérieurs et intérieurs. Le débit d'air du système à dessiccation varie de 2 500 à 10 200 m³/h. Il n'y a pas de système de climatisation d'appoint, les besoins en froid étant

bien corrélés avec la production solaire. En hiver, un chauffage d'appoint est utilisé pour atteindre la température de l'air désirée.

Pour réduire le coût de construction des supports, les capteurs sont montés parallèlement au toit, incliné de 15°. En raison de l'utilisation de capteurs solaires à air et de la forte corrélation entre production solaire et besoins en froid, aucun stockage de chaleur n'est prévu. Le fonctionnement solaire autonome en été a conduit à quelques écarts par rapport à la zone de confort, mais dans une fourchette limitée et pendant de courtes périodes.

Aspects financiers :

En raison des économies réalisées sur l'installation des capteurs solaires à air, le coût spécifique des capteurs et supports est de 210 €/m² de surface brute, soit 10 % du coût total d'investissement du système (210 000 €).

Le coût spécifique de l'unité d'air conditionné est d'environ 9,50€/m³ de débit nominal d'air (hors coût d'installation). Le projet a été aidé par la Commission européenne (contrat NNE5-1999-531).

Aspects énergétiques et environnementaux :

Les bénéfices pour l'environnement et les économies d'énergie primaire ont été estimés en comparant la consommation en chaleur et en électricité du système de climatisation solaire à dessiccation et la consommation d'une unité classique de traitement d'air avec

chaudière à gaz pour l'hiver et groupe de froid à compression pour l'été.

Les économies d'énergie primaire sont de 30 000 kWh et les économies d'émission de CO₂ d'environ 8 800 kg/an.

Contact :

Carsten Hindenburg, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE).

Courriel : carsten.hindenburg@ise.fraunhofer.de

Pour en savoir plus : www.raee.org/climatisationsolaire/

Sarantis S.A. Viotia



NUMERO SUR LA CARTE: 24

PAYS

Grèce

LOCALISATION

Oinofyta, Viotia



BATIMENT

Entrepôts de l'entreprise de cosmétiques Sarantis

CAPACITE

700 kW froid

TECHNOLOGIE

Adsorption

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs plans sélectifs

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

2700 m²

EN SERVICE DEPUIS

1999

Description :

Ce projet, intitulé « PHOTONIO », concerne l'installation d'un système de conditionnement d'air à énergie solaire pour le chauffage et la climatisation des nouveaux bâtiments et entrepôts de la société de cosmétiques SARANTIS S.A.

L'espace climatisé est de 22 000 m² (130 000 m³). Un parc de 2 700 m² de capteurs solaires plans sélectifs, fabriqués par la société SOLE, a été installé.

Les besoins en froid annuels du bâtiment sont de 2 700 000 kWh environ. Les capteurs solaires alimentent en eau chaude à 70-75 °C deux groupes à adsorption, avec un COP de 60 %. Les deux groupes à adsorption utilisent l'eau chaude comme source d'énergie pour produire de l'eau glacée à 8-10 °C. Ils ne

nécessitent aucune partie mobile et consomment un minimum d'énergie électrique pour les pompes à vide (1,5 kW).

Chaque groupe à adsorption a une puissance nominale de 350 kW, soit 700 kW au total. Pour couvrir les pics de consommation, trois groupes de froid électriques classiques de 350 kW chacun ont été installés. Des brûleurs fioul (1 200 kW) peuvent aussi remplacer les capteurs par temps couvert. En hiver, les capteurs solaires produisent régulièrement une eau à 55 °C qui est directement envoyée dans les ventilo-convecteurs du bâtiment. L'eau, froide en été, chaude en hiver, est dirigée vers les unités d'air conditionné où elle refroidit ou réchauffe l'air ambiant selon les besoins.

Aspects financiers :

Coût d'investissement total : 1 305 943 €, dont 50 % financés par le Programme National Opérationnel pour l'Énergie (Ministère Grec du Développement). Ce projet a été récompensé par le « Energy Globe Award 2001 » comme le troi-

sième meilleur investissement mondial en énergie renouvelable de l'année 2001 et, en Grèce, par le CRES (Centre for Renewable Energy Sources) comme le meilleur investissement grec de l'année 1999 pour l'économie d'énergie.

Aspects énergétiques et environnementaux :

Période d'observation : 12 mois
Production solaire : 1 719 000 kWh, dont 1 090 000 kWh pour le rafraîchissement et 629 000 kWh pour le chauffage.

Besoins totaux : 2 614 000 kWh,
Taux de couverture solaire : 66 %
Réduction des émissions de CO₂ : 5 125 t/an.

Contact :

GR. SARANTIS S.A. (propriétaire du bâtiment)
Courriel : info@sarantis.gr,
www.sarantis.gr
Site web : www.raee.org/climatisationsolaire/

SOLE S.A.
(concepteur, fournisseur et installateur)
Courriel : export@sole.gr
www.sole.gr

Inditex Arteixo – La Corogne



NUMERO SUR LA CARTE: 32

PAYS

Espagne

LOCALISATION

Arteixo – La Corogne



BATIMENT

Bureaux et magasins

CAPACITE

170 kW froid

TECHNOLOGIE

Absorption

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs plans sélectifs

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

1626 m²

EN SERVICE DEPUIS

2003

Description :

L'installation concerne un immeuble de bureaux et de magasins. Il se compose de deux étages de 10 000 m² chacun. L'étage supérieur, consacré à la conception des articles ZARA (vêtements et accessoires), est totalement paysager, sur une hauteur de 4,10 mètres. La climatisation se fait au moyen de trois centrales de traitement d'air, contrôlées par des capteurs de température réglés à 23 °C.

Au rez-de-chaussée, plus cloisonné, des centrales de traitement d'air sont associées à des ventilo-convecteurs. L'immeuble est ouvert de 8 à 22 heures, du lundi au vendredi, avec une occupation moyenne de 500 personnes pour les deux étages.

Le système disposait initialement de deux

pompes à chaleur électriques et d'un groupe de froid électrique, produisant toute l'année une eau chaude à 55 °C et une eau froide à 7 °C, avec un retour à 45 °C et 12 °C.

Avec l'installation solaire, la chaleur est accumulée dans deux ballons de 30 000 litres. Quand la température dans les ballons excède 55 °C, le dispositif solaire reçoit l'ordre d'envoyer de l'eau dans le circuit d'eau chaude pour empêcher les pompes à chaleur de démarrer. En été, période de faible demande en chaleur, quand la température dans les ballons atteint 80 °C, l'eau de retour est envoyée dans la machine à absorption, puis, après refroidissement, dans le circuit d'eau glacée, ce qui soulage le groupe de froid électrique.

Aspects financiers :

Coût d'investissement total : 900 000 €
Subventionné par le Ministère de l'Industrie et du Commerce de la Communauté Autonome de

Galice (100 000 €) et l'IDAE, Institut Espagnol pour la Diversification et l'Economie d'Energie, (300 000 €).

Aspects énergétiques et environnementaux :

Cette installation solaire économisera au total 565 060 kWh/an, soit 15 % de la consommation

totale, et réduira les émissions de CO₂ et autres gaz polluants de 282 t/an.

Contact :

www.inditex.com

Pour en savoir plus : www.raee.org/climatisationsolaire/

INETI – Institut National d'Ingénierie de Technologie et d'Innovation - Lisbonne



NUMERO SUR LA CARTE: 46

PAYS

Portugal

LOCALISATION

Lisbonne



BATIMENT

Bureaux

CAPACITE

36 kW froid

TECHNOLOGIE

Système à dessiccation et pompe à chaleur

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs plans à concentration parabolique

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

48 m²

EN SERVICE DEPUIS

1999

Description :

Il s'agit du bâtiment du Département Energies Renouvelables de l'INETI, siège des activités de recherche appliquée dans le domaine des énergies renouvelables. Il comprend des laboratoires de mécanique et de chimie et les bureaux du personnel.

Les fenêtres des bureaux représentent 70 % des façades extérieures, elles sont orientées au sud-ouest (28 ° ouest), ce qui entraîne un pic de climatisation en fin d'après-midi.

Les 12 bureaux du premier étage sont exclusivement climatisés par un système à dessiccation.

La taille des conduits de distribution limite cependant le débit d'air, ce qui impose, lors des pics de climatisation, de baisser la température de l'air soufflé pour couvrir les besoins en froid.

Pour cela, une pompe à chaleur complémentaire a été installée.

La production solaire comprend 24 capteurs plans à concentrateur parabolique (surface brute 48 m², surface nette 46 m²) situés sur la toiture terrasse du bâtiment.

Le climat est méditerranéen. Le système a été conçu pour les conditions suivantes :

- débit d'air maximum 5 000 m³/h (air extérieur uniquement),
- température estivale (air extérieur) de 32 °C,
- humidité relative de 40,4 %
- humidité absolue de 12 g/kg.

Dans les bureaux, la température de consigne est de 24 °C avec une humidité relative de 50 %.

Aspects financiers :

Le système a été installé comme opération de démonstration dans le cadre d'un projet européen. Pour cette raison, il comprend un important dispositif d'instrumentation destiné au contrôle, au télésuivi et à la démonstration,

qui contribue au coût final élevé de l'installation.

Le coût de reproduction du système sans ce dispositif d'instrumentation serait de 75 000 € environ.

Aspects énergétiques et environnementaux :

La pompe à chaleur est nécessaire lors des périodes de forts besoins de rafraîchissement. Son condenseur est alors utilisé pour régénérer la roue à dessiccation.

Par contre, en dehors de ces pics de climatisation, le système à dessiccation, associé à la production solaire, permet de couvrir l'ensemble des besoins en froid, avec un COP de 0,6.

Contact :

João A. Farinha Mendes DER/INETI - Lisbonne
Courriel : farinha.mendes@ineti.pt

Site web : www.raee.org/climatisationsolaire/

Agence de Développement Pergine Trente



NUMERO SUR LA CARTE: 47

PAYS

Italie

LOCALISATION

Pergine Valsugana-Trente



BATIMENT

Centre d'innovation

CAPACITE

108 kW froid

TECHNOLOGIE

Absorption simple effet

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs plans sélectifs

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

265 m²

EN SERVICE DEPUIS

2004

Description :

Le bâtiment est situé dans la zone artisanale/industrielle en cours de développement de la municipalité de Pergine, à 11 km de Trente. Cet immeuble neuf de deux étages est constitué de bureaux d'un volume total de 9 800 m³. Il est construit à proximité d'entrepôts récemment rénovés.

Les capteurs solaires (inclinaison 30°, orientation sud) produisent en hiver de l'eau chaude sanitaire à 45 °C pour une différence de température avec l'air extérieur de 55°C et peuvent en produire à 90 °C en été avec la même différence de température. La charge thermique nominale en hiver est voisine de 230 kW, le système de chauffage a été dimensionné pour cette capacité. Alors qu'en hiver la somme des charges thermiques des différentes pièces

correspond au besoin global du bâtiment, le besoin global en été est inférieur à la somme des besoins (notion de foisonnement). Ainsi, la charge thermique d'été maximale est de 170 kW. Dans ces conditions, les capteurs solaires fournissent 145 kW et la machine à absorption 108 kW. Par temps couvert, la demande thermique (en l'absence de rayonnement solaire) tombe de 170 à 120 kW.

La machine frigorifique à compression est alors sélectionnée pour couvrir cette demande. Dans les conditions nominales d'été, les groupes de froid à compression et à absorption fournissent respectivement 120 et 108 kW, soit au total 228 kW, avec une marge de 58 kW (34 %) pour le pic de consommation.

Aspects financiers :

Coût total d'investissement : 540 000 €
La province de Trente (Italie) a co-financé 32 %

du coût total de l'installation.

Aspects énergétiques et environnementaux :

Economies d'énergie primaire en hiver = 71 670 kWh
Economies d'énergie primaire en été = 48 890 kWh
Cette installation solaire économisera au total 120 560 kWh/an et réduira les émissions de CO₂ et autres gaz polluants de 28 t/an.

Le système est conçu pour couvrir 70 % des besoins en froid du bâtiment avec les seuls capteurs solaires pendant les mois les plus ensoleillés. Les 30 % restants sont fournis par un groupe à compression électrique installé en plus du système à absorption.

Contact :

www.puntoenergia.com

Pour en savoir plus : www.raee.org/climatisationsolaire/

Centre de recherche Ökopark Hartberg



NUMERO SUR LA CARTE: 48

PAYS

Autriche

LOCALISATION

Hartberg, en Styrie



BATIMENT

Bureaux, salle de conférence

CAPACITE

30 kW froid

TECHNOLOGIE

Système à dessiccation

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs sous vide

SURFACE DE CAPTEURS

HORS TOUT

12 m²

EN SERVICE DEPUIS

2000

Description :

Le bâtiment abritant le centre de recherche de l'Ökopark à Hartberg est la première installation pilote de système à dessiccation d'Autriche, alimentée en énergie renouvelable et conçue comme outil de démonstration de cette technologie.

Le bâtiment, utilisé pour des séminaires et des conférences, dispose aussi d'une infrastructure de bureaux. Il se compose de deux étages (environ 140 m² chacun), avec une façade vitrée au sud. 11 capteurs à tube sous vide sont installés en partie inférieure.

L'été 2001 a montré que le rafraîchissement adiabatique de l'air est suffisant pour 50 à 70 % des jours d'été et que seuls les jours à forte humidité nécessitent de la chaleur pour la climatisation à sorption. La chaleur permettant de régénérer la roue à dessiccation est produite par les capteurs solaires de 12 m² et une chaudière à granulés de bois comme système d'appoint.

Aspects financiers :

Coût d'investissement total, hors TVA : 105 000 €, subventions : 60 %
Le projet a été financé par le gouvernement de

Styrie et la société Ökoplan à Hartberg. Le Joanneum Research à Graz est chargé de la gestion du projet et de la planification.

Aspects énergétiques et environnementaux :

COP annuel : 0,6 (refroidissement annuel/ récupération de chaleur annuelle)
COP en mode adiabatique : 3 – 5
Débit d'air neuf : 6 000 m³/h
Besoins totaux en froid : 20 kW
(sensible : 17 130 W, latent : 3 320 W)
Besoins totaux en chauffage : 24 kW
Capacité de refroidissement maximal du système DEC : 30 400 W

Capacité maximale de refroidissement dans le bâtiment : 21 800 W
Sur le plan environnemental, l'utilisation de chaleur solaire ou provenant du bois réduit les émissions de CO₂. Une faible contribution au réchauffement climatique global provient de la consommation d'énergie nécessaire aux ventilateurs et aux roues déshumidificatrice et thermique.

Contact :

Erich Podesser Joanneum Research, Graz
Courriel: erich.podesser@joanneum.ac.at
Nadja Richler, O.Ö. Energiesparverband, Linz
Courriel: nadja.richler@esv.or.at

Site web : www.raee.org/climatisationsolaire/

CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment Sophia-Antipolis

NUMERO SUR LA CARTE: 50

PAYS

France

LOCALISATION

Sophia-Antipolis



BATIMENT

Bureaux, laboratoires

CAPACITE

35 kW froid

TECHNOLOGIE

Absorption

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs sous vide

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

58 m²

EN SERVICE DEPUIS

2003



Description :

Le bâtiment qui héberge les bureaux et laboratoires du CSTB de Sophia-Antipolis (Alpes Maritimes) est neuf et équipé d'une installation de climatisation solaire.

Le climat est un climat typique méditerranéen, avec des hivers doux, et des étés chauds et relativement secs. La climatisation est utilisée de la mi-mai jusqu'à fin septembre, et il y a peu de besoins de déshumidification.

La surface totale des locaux est de 1 400 m², mais seulement 250 m² sont rafraîchis par le système solaire. La demande en froid maximale est de l'ordre de 15 kW.

Le froid est distribué par des conduits d'air, avec le principe de ventilation sans reprise. Le débit total est de 610 m³/h.

Le système comprend :

- une machine de production de froid à absorption (puissance frigorifique 30-35 kW),
- 2 champs de capteurs solaires sous vide (surface totale : 58 m²),
- un stockage d'eau chaude tampon de 300 litres,
- un stockage d'eau froide de 500 litres.

Aspects financiers :

L'investissement total est de 96 000 € pour le système solaire auquel s'ajoutent 55 000 € pour la distribution et l'émission de froid.

Le projet a été financé à hauteur de 38 % par des aides (Union européenne et ADEME),

le reste étant pris en charge par le CSTB. Le coût des capteurs solaires représente 31 % du coût du projet solaire et celui de la machine à absorption représente 26 %.

Aspects énergétiques et environnementaux :

L'installation du CSTB a été mise en service pour la première fois début juillet 2003. Des tests ont été réalisés et l'installation a fonctionné à partir de mi-juillet 2003.

Le système de télé-suivi a été actif fin août. Il n'existe donc pas de bilan énergétique significatif pour l'année 2003. Les premiers résultats ont fait apparaître un phénomène

intéressant : la machine à absorption fonctionne en charge partielle du fait du sous dimensionnement de la surface des capteurs solaires. La gestion du fonctionnement de la machine est plus délicate mais ce système ouvre des perspectives d'utilisation du rafraîchissement solaire pour des besoins inférieurs 25-30 kW froid.

Contact :

Courriel : info@tecsol.fr

Pour en savoir plus : www.raee.org/climatisationsolaire/

DIREN - Direction Régionale de l'ENvironnement Guadeloupe



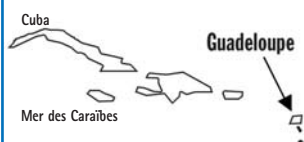
NUMERO SUR LA CARTE: 51

PAYS

France

LOCALISATION

Guadeloupe



BATIMENT

Bureaux

CAPACITE

35 kW froid

TECHNOLOGIE

Absorption

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs sous vide

SURFACE DE CAPTEURS HORS TOUT

100 m²

EN SERVICE DEPUIS

2003

Description :

La DIREN de la Guadeloupe a fait construire un nouvel immeuble de bureaux à Basse-Terre. Ce bâtiment, répondant aux critères de la Haute Qualité Environnementale, a vocation de démonstration. Il utilise une technique de rafraîchissement solaire à absorption, avec production d'eau glacée. Le projet a été initié en 1998, et les bureaux ont été opérationnels en 2003.

Le bâtiment est sur deux niveaux, en longueur, et légèrement incurvé (cf. photos).

L'axe du bâtiment est orienté nord-est/sud-ouest. La surface totale est d'environ 1 000 m², mais seulement 570 m² sont rafraîchis par le système solaire, soit environ 36 bureaux.

Le système de rafraîchissement est composé de:

- 61 m² de tubes sous vide (surface utile) intégrés à la toiture,
- une machine à absorption de 35 kW de puissance nominale,
- plusieurs pompes de circulation pour les différentes boucles,
- une tour de refroidissement ouverte,
- un système de régulation.

L'évaporateur de la machine à absorption est connecté en série sur la boucle d'eau glacée avec un groupe de froid à compression classique, servant d'appoint.

Aspects financiers :

L'investissement total est de 159 700 € HT pour le système solaire.

Le coût des capteurs représente 57 % du coût du projet solaire et celui de la machine à absorption 20 %.

A noter, des surcoûts spécifiques liés à l'implantation géographique en Guadeloupe (transport par exemple). Ce projet a été financé par EDF, l'ADEME et l'Union européenne à hauteur respectivement de 30, 20 et 30 %.

Aspects énergétiques et environnementaux :

Le système est opérationnel depuis octobre 2003. Il doit permettre chaque année d'économiser un tiers de la consommation d'électricité nécessaire pour la climatisation.

- Charge frigorifique : 68 681 kWh/an (68 kWh/m².an)
- Production de froid solaire : 32 700 kWh/an

- Electricité économisée : 10 900 kWh/an
- Energie primaire économisée : environ 3 tep/an
- Economies : 1 500 €/an
- Emissions évitées : 8 tonnes de CO₂ par an.

Contact :

Courriel : info@tecsol.fr

Pour en savoir plus : www.raee.org/climatisationsolaire/

GICB - Groupement Interproducteurs Collioure Banyuls - Banyuls sur mer



NUMERO SUR LA CARTE: 52

PAYS

France

LOCALISATION

Banyuls sur mer



BATIMENT

Cave viticole

CAPACITE

52 kW froid

TECHNOLOGIE

Absorption

TYPE DE CAPTEUR

Capteurs sous vide

SURFACE DE CAPTEURS

HORS TOUT

215 m²

EN SERVICE DEPUIS

1991

Description :

En 1989, le GICB a construit une cave de vieillissement en bouteilles. Cette cave a une surface utile totale de 3 500 m² et un volume de 15 000 m³ sur 3 niveaux (dont deux semi-enterrés). La capacité totale de stockage est proche de 3 millions de bouteilles. L'équipe dirigeante a souhaité équiper la cave d'une climatisation solaire parce qu'une telle installation répond à ses besoins en froid tout en respectant l'environnement. Le système de refroidissement se compose de :

- 130 m² (surface utile) de tubes sous vide, sur le toit, orientés sud-sud-ouest,
- un local technique situé au niveau 2 et comprenant :

- une citerne de stockage tampon de 1 000 litres,
- un groupe à absorption indirecte à simple effet, de puissance de refroidissement nominale 52 kW,
- plusieurs pompes circulantes pour les différents circuits et un coffret électrique général,
- une tour aéroréfrigérante à circuit ouvert, de puissance nominale 180 kW, installée au nord,
- trois unités de conditionnement d'air (une par niveau) avec un filtre, un échangeur froid pour l'eau refroidie (+ un échangeur chaud pour le rez-de-chaussée) et un ventilateur centrifuge de 25 000 m³/h de débit.

Aspects financiers :

L'installation, construite en 1991, a coûté 294 500 € HT, ce qui représente un surcoût de près de 150 000 € par rapport à un système

classique à compression. Cet investissement permet au GICB d'économiser près de 40 % de sa consommation annuelle d'énergie.

Aspects énergétiques et environnementaux :

Mesures représentatives des conditions réelles entre juin et septembre :

- énergie moyenne retirée du circuit primaire = 298 kWh/jour
- énergie moyenne fournie au circuit générateur = 256 kWh/jour
- énergie moyenne retirée du circuit évaporateur = 145 kWh/jour
- COP du groupe à absorption = 0,57.

Ce système, utilisateur d'énergie gratuite, évite les émissions de gaz à effet de serre :

- en renonçant aux CFC et HCFC, gaz à fort pouvoir de réchauffement global utilisés dans les systèmes classiques de réfrigération,
 - en limitant la production de CO₂.
- Grâce à l'absence de parties mobiles dans ce type de groupes à absorption, les machines sont totalement silencieuses et beaucoup plus durables que les groupes classiques à compression.

Contact :

Courriel : info@tecsol.fr

Pour en savoir plus : www.raee.org/climatisationsolaire/

CONDUIRE UN PROJET DE RAFRAÎCHISSEMENT SOLAIRE

Le rafraîchissement solaire est une technologie récente et en développement, comparée à d'autres champs d'application de l'énergie solaire. La plupart des installations sont donc des opérations de démonstration, et un effort conséquent doit être fourni pour la réalisation de chaque nouveau projet. Différentes solutions techniques sont possibles, en fonction du type de bâtiment, de son utilisation, de l'existence ou non d'installations techniques, des conditions climatiques, etc.

Ce chapitre présente une méthodologie permettant de faire un choix entre les différentes technologies, les règles de base à prendre en compte pour la conception et le dimensionnement, la nécessité d'une étude de faisabilité et quelques aspects de la réglementation française sur la climatisation.

5.1 - Choisir la technologie

L'arbre de décision de la figure 17 présente les principales questions à se poser au moment du choix de la technologie de rafraîchissement solaire appropriée.

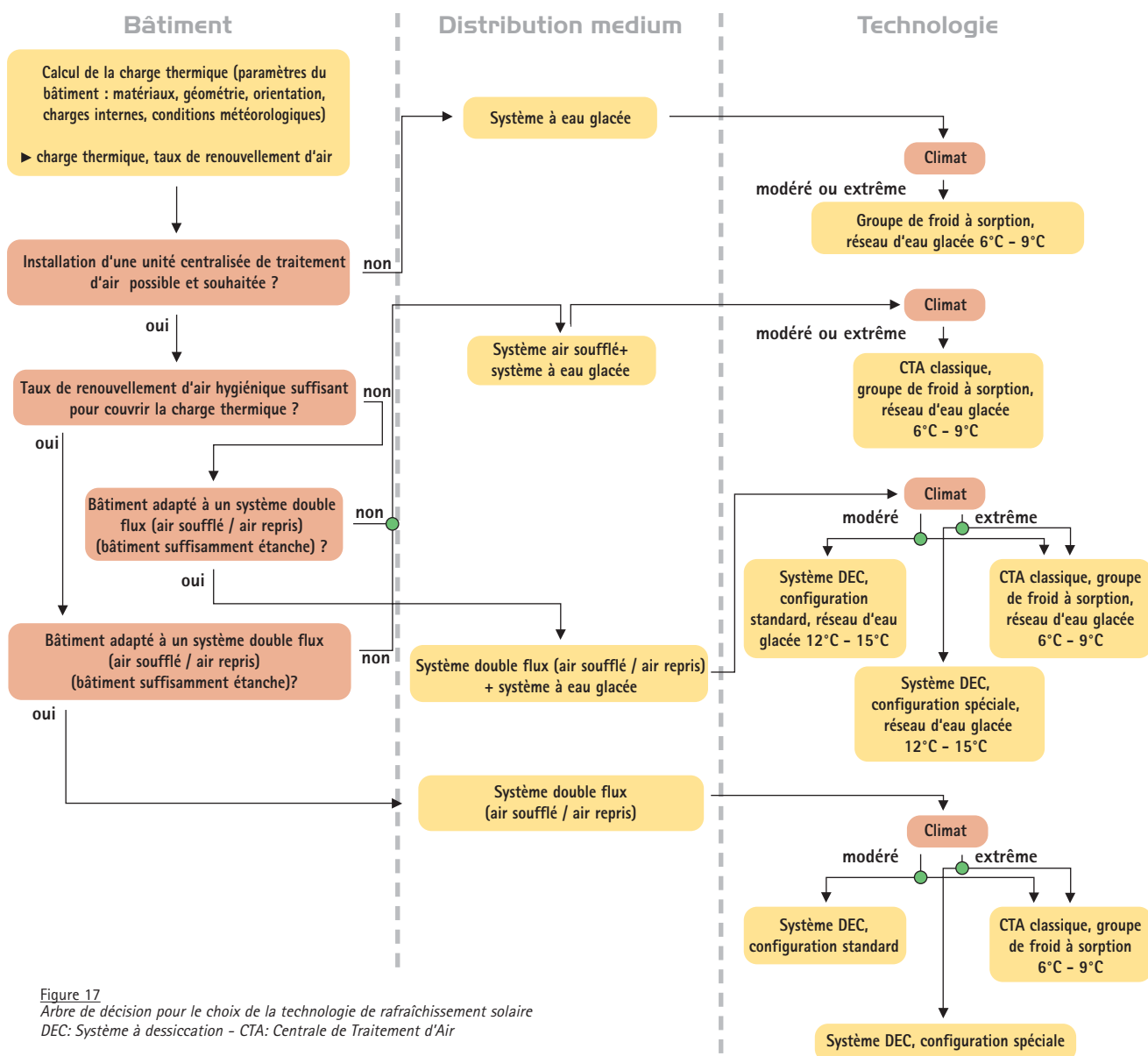


Figure 17
Arbre de décision pour le choix de la technologie de rafraîchissement solaire
DEC: Système à dessiccation - CTA: Centrale de Traitement d'Air

Ce schéma part de l'hypothèse du contrôle de la température et de l'humidité intérieures. Le point de départ est toujours le calcul, au cas par cas, des besoins en froid. Selon ces besoins et les attentes des utilisateurs, on optera pour un système à air, à eau ou mixte (air et eau), pour extraire chaleur et humidité du bâtiment.

La principale question sur le plan technique est : le taux de renouvellement d'air minimum qui garantit de bonnes conditions hygiéniques est-il suffisant pour couvrir les besoins en froid (chaleur sensible et chaleur latente) ? Ce sera typiquement le cas des pièces au taux d'occupation élevé, nécessitant un fort taux de renouvellement d'air, comme les salles de conférence.

Dans tous les cas, un système double flux n'a de sens que dans un bâtiment relativement étanche, dont les infiltrations et fuites à travers l'enveloppe sont faibles.

Dans le cas des systèmes double flux, les deux technologies de rafraîchissement solaire, à savoir systèmes par dessiccation et groupes à sorption, peuvent être utilisées.

Dans tous les autres cas, seuls les groupes à sorption conviennent.

La température minimale requise pour l'eau glacée dépend de la technique de déshumidification de l'air utilisée : technique classique, c'est-à-dire refroidissement au-dessous du point de rosée, ou procédé par dessiccation. Dans ce dernier cas, la température de l'eau glacée peut être plus élevée car elle n'a à couvrir que la charge sensible.

Dans les climats extrêmes, c'est-à-dire avec un niveau élevé

d'humidité de l'air ambiant, les techniques par dessiccation nécessitent une configuration spéciale du système.

D'autres éléments pouvant intervenir dans la conception ne sont pas développés dans le présent document, comme :

- la nécessité d'un système d'appoint pour la production de froid (stratégie de climatisation avec garantie d'une température de consigne) ou autonomie de fonctionnement du système de rafraîchissement solaire,
- la flexibilité des conditions de confort,
- les aspects économiques,
- la disponibilité de l'eau pour l'humidification de l'air neuf ou pour les tours de refroidissement,
- les considérations de confort pour les équipements : des ventilo-convecteurs permettent une déshumidification partielle de l'air grâce à leur système d'évacuation des condensats ; les plafonds rafraîchissants et autres systèmes de refroidissement par gravité apportent un haut niveau de confort sans aucune déshumidification.

Le type de groupe à sorption (absorption ou adsorption) utilisé n'est pas précisé ici.

Dans le cas où le système à dessiccation nécessite un groupe supplémentaire pour couvrir les pics de consommation, un groupe à compression électrique peut être utilisé pour des raisons économiques.

5.2 - Règles de base pour la conception et le dimensionnement

Le simple bon sens et les enseignements tirés des projets-pilotes ont conduit à quelques règles générales pour la conception et le dimensionnement d'un système de rafraîchissement solaire :

- Un système de rafraîchissement solaire, avec un faible $COP_{thermique}$ et muni d'un brûleur à énergie fossile pour l'appoint, nécessite une fraction solaire (fraction des besoins couverts par l'énergie solaire) importante pour réaliser des économies d'énergie primaire significatives. Cette fraction solaire sera garantie par une conception pertinente du système, c'est-à-dire une surface de capteurs et des capacités de stockage suffisantes, ainsi que d'autres mesures permettant une utilisation maximale de la chaleur solaire.

- Avec un appoint thermique, le remplacement de l'énergie fossile par une source renouvelable comme le bois diminue d'autant la consommation d'énergie primaire fossile du système.

- Les systèmes à sorption à $COP_{thermique}$ élevé (absorption double effet par exemple) peuvent être conçus avec une plus faible fraction solaire, même si un brûleur d'appoint à combustible fossile est utilisé, car l'énergie fossile est aussi convertie avec un fort $COP_{thermique}$, compétitif par rapport à un système classique du point de vue de l'énergie primaire.

- Comme système d'appoint, on peut aussi utiliser un groupe de froid classique à compression électrique. Dans cette configuration, chaque unité de froid produite par le groupe solaire réduit d'autant la quantité de froid à produire par le dispositif classique, et permet des économies d'énergie primaire même en cas de faible fraction solaire. Le dispositif solaire permet alors essentiellement de réduire la consommation d'énergie électrique.

- Les systèmes solaires autonomes ne nécessitant aucune autre source de froid, ils travaillent toujours avec une fraction solaire optimum de 100 %.

- Dans tous les cas, l'utilisation de l'énergie solaire doit être poussée au maximum par la couverture des autres besoins tels que le chauffage du bâtiment et/ou la production d'eau chaude.

Vous trouverez d'autres conseils pour la conception de systèmes de climatisation solaire dans le Guide pour les aménageurs, installateurs et autres professionnels, sur le site du projet européen SACE – Solar Air Conditioning in Europe (<http://www.ocp.tudelft.nl/ev/res/sace.htm>) et dans le livre « Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners » (cf. bibliographie).



Figure 18
Intégration des capteurs solaires sur le toit de la DIREN
(Guadeloupe, France)

5.3 - Pourquoi faut-il une étude de faisabilité ?

Le choix d'une technologie de rafraîchissement solaire et la conception du système nécessitent plus que la simple considération du point de fonctionnement nominal, parce que la fluctuation des apports solaires entraîne un fonctionnement quasi permanent des composants en charge partielle.

De plus, les conditions de fonctionnement particulières pour des dispositifs tels que les groupes à absorption ou les systèmes à dessiccation ne sont pas encore assez connus de la plupart des concepteurs et installateurs. Il est difficile aujourd'hui de trouver un logiciel facile d'emploi qui permette un choix simple et rapide de la technologie de rafraîchissement solaire la plus adaptée et du dimensionnement du système. Pour cette raison, une étude de faisabilité, réalisée par un bureau d'études compétent, est fortement recommandée au début du projet.

L'étude peut comporter les étapes suivantes :

- détermination des besoins en froid et en chauffage (par exemple au moyen de simulations),

- sélection de la technologie de rafraîchissement solaire la plus adaptée et plan d'implantation,
- pré-dimensionnement des composants, c'est-à-dire taille du champ de capteurs et des dispositifs de stockage de chaleur et/ou de froid,
- analyse des stratégies de contrôle,
- simulation dynamique des performances des systèmes en fonction des différentes stratégies,
- calcul des rendements et des valeurs d'exploitation comme le COP du système de refroidissement, la fraction solaire, le rendement net des capteurs, etc.
- calcul des consommations (électricité, eau, gaz),
- estimation des chiffres-clés financiers et des économies d'énergie primaire.

Dans tous les cas, l'étude de faisabilité est un outil indispensable pour aider le maître d'ouvrage dans sa prise de décision concernant son projet de rafraîchissement solaire.

5.4 - Quelques éléments sur la réglementation française

La RT 2000 (Réglementation Thermique 2000) s'applique aujourd'hui à tous les projets de construction (bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments sous la forme d'addition de locaux ou de surélévation). Cette réglementation permet de calculer une consommation du bâtiment qui intègre chauffage, eau chaude sanitaire et éclairage, mais n'intègre pas les consommations liées à la climatisation. Cette valeur calculée, C , doit rester inférieure à une valeur de référence C_{ref} .

Un certain nombre d'exigences en relation avec le confort d'été sont cependant déjà intégrées : protection solaire, inertie, ventilation naturelle...

La RT 2005, en cours d'élaboration, se fixe un certain nombre d'orientations comme la poursuite de l'intégration des dispositifs d'énergies renouvelables, la prise en compte des consommations de climatisation et l'approche bioclimatique des bâtiments.

En ce qui concerne la valorisation des énergies renouvelables, les techniques les plus courantes aujourd'hui ont été intégrées (solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire) ou sont en cours d'intégration (photovoltaïque).

La climatisation solaire ne figurera sans doute pas en tant que telle dans les règles de calculs puisqu'il s'agit d'une technique encore innovante. Mais, comme c'était déjà le cas pour la RT 2000 (cf. Titre 5), elle devrait pouvoir être valorisée par une démarche spécifique, à charge au maître d'ouvrage de justifier des économies énergétiques de son installation, à l'aide d'une étude de faisabilité par exemple.

En conclusion, le rafraîchissement solaire est clairement en phase avec l'évolution en cours de la réglementation thermique : plus grande prise en compte du confort d'été, maîtrise des consommations de climatisation et développement des énergies renouvelables dans le bâtiment.



Bibliographie :

En français

- Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems and Equipment,
- Fraîcheur sans clim', ISBN 2-914717-09-1, Thierry Salomon et Claude Aubert, Editions Terre Vivante, 2004
- Le confort d'été, guide pratique de l'ADEME, 2004
- Systèmes de climatisation à faible consommation d'énergie, guide de faisabilité et de pré-dimensionnement, cahiers du CSTB n°3454, avril 2003
- Conception et programmation énergétique des bâtiments méditerranéens, ARENE, ICAEN et PUNTO ENERGIA, 5ème Programme Cadre de Recherche et Développement pour la Commission européenne, 1999
- Guide de l'architecture bioclimatique, Observ'er, Tome 3, Construire en climats chauds, ISBN 2-913620-08-06, sous la direction d'Alain Liébard.
- Le Recknagel, Tome 3, ventilation, climatisation, conditionnement d'air, ISBN 2-84651-005-9, JMG Edition, PYC Livres.com, 2001

En anglais

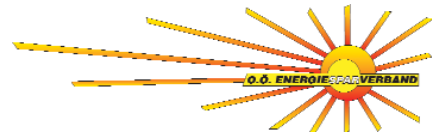
- Natural and Low Energy Cooling in Buildings, CRES, Thermie Programme, for the European Commission, Directorate-General XVII for Energy, 1994
- Design tools for low energy buildings, Technology selection and early design guidance, Nick Barnard and Denice Jounzens, ECBCS, International Energy Agency, 2001

ASHRAE Handbook, ISBN 0-910110-87-5, Ed.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1992

- Solar-Assisted Air Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners, ISBN 3-211-00647-8, Springer Wien / New York; Ed: Hans-Martin Henning, published in the frame of Task 25 of the Solar Heating & Cooling Programme of the International Energy Agency (IEA), 2004
- Solar Thermal Systems, ISBN 3-934595-24-3, Solarpraxis Berlin, Ed: Dr.Felix A. Peuser, Karl-Heinz Remmers, Martin Schmauss, 2002
- Solar Cooling Technologies in Greece, T. Tsoutsos, J. Anagnostou, C. Pritchard, M. Karagiorgas, D. Agoris, Applied Thermal Engineering, 23, pp 1427-1439, 2003

Sites Internet :

- <http://www.iea-shc-task25.org/> : Solar Heating and Cooling Program of the International Energy Agency : task 25 – Solar Assisted Air Conditioning of Buildings
- <http://www.ocp.tudelft.nl/ev/res/sace.htm> : EU project SACE – Solar Air Conditioning in Europe
- <http://www.raee.org/climatisationsolaire/> : Projet européen Altener : Promotion de la climatisation solaire
- <http://www.tecsol.fr/RafrSol/index.htm> : site du bureau d'études Tecsol



Financé par :



Rhônalpénergie-Environnement
10 rue des Archers – 69002 Lyon
Tél : 04 78 37 29 14 / Fax : 04 78 37 64 91
Courriel : raee@raee.org
www.raee.org