

Note de synthèse sur « la climatisation solaire »

Département Energies Renouvelables

Juillet 07

Introduction

La relance des travaux de manière plus soutenue sur ce thème vers la fin des années 90 et la nécessité d'une coordination des actions au niveau international a conduit au lancement fin 99 du projet 25 dans le cadre du programme "Chauffage et froid solaire" de l'Agence Internationale de l'Energie. Ce projet, dont l'objectif était de favoriser l'entrée sur le marché des systèmes solaires de conditionnement d'air des bâtiments, a constitué le point de convergence et d'échanges des travaux de développement effectués entre 1999 et 2005 et rassemblé les principales équipes du domaine (sur 11 pays participants, dont la France). Les informations contenues dans cette note sont pour l'essentiel issues des travaux de cette tâche, complétées de données recueillies au plan national. La consultation des deux sites Internet (www.aie-shc.org et www.aie-shc-task25.org), respectivement le site du programme Solar Heating and Cooling et celui du projet 25, permet d'accéder à des informations plus détaillées. D'autres ressources sont citées dans le corps du document.

Un nouveau projet a démarré fin 2006 (septembre 06). Il s'agit du projet 38, dénommé "Solar Air-conditioning and refrigeration". Il fait suite aux travaux du projet 25. Son objectif est de mettre en œuvre des mesures pour accélérer l'introduction commerciale des systèmes de rafraîchissement solaire dans différents secteurs (résidentiel, tertiaire, industriel) et d'encourager de nouvelles activités de recherche pour le développement de systèmes et procédés innovants. Des informations plus détaillées sont disponibles sur le site Internet dédié (<http://www.iea-shc.org/task38/index.html>).

La note comprend tout d'abord quelques éléments techniques de présentation de la "climatisation solaire" et des technologies existantes. Puis elle donne un panorama de l'état actuel de développement et de diffusion de ces technologies. Des éléments de coûts sont évoqués dans la troisième partie et le dernier chapitre traite des perspectives de développement et des freins.

1) Principes généraux

L'énergie délivrée par le système solaire est utilisée par des machines de production de froid ou de traitement d'air pour produire de l'énergie frigorifique permettant d'assurer le rafraîchissement des locaux.

Le vocable adopté par le projet 25 est le suivant: "systèmes de conditionnement d'air des bâtiments assistés par le solaire". Il indique bien que l'alimentation de l'installation repose sur un mix énergie solaire/énergie conventionnelle, la contribution solaire pouvant aller de quelques % à 100 %.

Lorsque l'installation fonctionne uniquement grâce à la ressource solaire, le système ne permet alors d'obtenir qu'une diminution de la température de l'air du local de quelques degrés par rapport à l'air extérieur: on parle alors de rafraîchissement.

A l'inverse, une installation associant systèmes solaire et d'appoint permet de maintenir une ambiance thermique et hygrométrique constante dans les locaux, quelles que soient les conditions extérieures: on parle alors de climatisation.

Il existe de multiples configurations possibles d'installations solaires de rafraîchissement de locaux:

- Couplage capteurs solaires thermiques et machine de froid à sorption (absorption ou adsorption)

- Couplage capteurs solaires thermiques à un système de conditionnement d'air par rafraîchissement évaporatif (DEC)
- Couplage panneaux photovoltaïques et machine de froid à compression
- Conversion d'énergie solaire thermique en énergie mécanique couplée avec une machine de froid à compression.

Parmi celles-ci, seules les deux premières ont fait l'objet de réels travaux de développement et d'opérations de démonstration de taille significative. Elles constituent le cœur de cible des travaux menés dans le cadre du projet 25 de l'AIE et sont développées au paragraphe ci-après.

2) Technologies disponibles

L'état de l'art en matière de systèmes de rafraîchissement utilisant de l'énergie solaire thermique pour produire du froid fait apparaître deux grandes familles :

2.1) Les systèmes fermés

Ces systèmes de production de froid à sorption produisent de l'eau glacée, utilisée ensuite pour le refroidissement ou la déshumidification de l'air. Dans ces systèmes, la compression mécanique est remplacée par une compression thermique.

Les systèmes existant sur le marché et adaptés au solaire sont les machines à absorption (sorption du réfrigérant sur un liquide absorbant) et les machines à adsorption (sorption du réfrigérant sur un solide adsorbant). Ces procédés fonctionnent grâce à une source de chaleur, de température comprise en général entre 60 et 110°C.

Leur Coefficient de Performance (COP) nominal est de l'ordre de 0,5 à 0,7 (systèmes simple effet). Ces systèmes fermés représentent la majorité des installations existantes de rafraîchissement solaire, avec une part prépondérante pour les systèmes à absorption (60 % environ des installations).

2.2) Les systèmes ouverts

Dans ces systèmes, l'air est directement traité (refroidissement, déshumidification) par mise en contact avec le 'réfrigérant' (l'eau) et des organes de dessiccation. Ces systèmes à dessiccation utilisent soit une roue dessiccante rotative (matériau déshydratant solide) soit un lit dessicant liquide. La température de source chaude nécessaire pour la régénération des matériaux dessiccants et le fonctionnement du système est de l'ordre de 45 à 95°C. Le COP nominal de ces systèmes varie entre 0,5 et des valeurs supérieures à 1.

Les systèmes ouverts constituent actuellement une part relativement faible des installations existantes (de l'ordre de 10 à 15 %), mais peuvent représenter un futur prometteur pour le rafraîchissement solaire.

Les schémas de principe généraux d'un système solaire à absorption, d'un système solaire type DEC (avec usage chauffage également) sont présentés en annexe 1, de même que les principes de fonctionnement.

3) Revue des installations existantes

3.1) Etat des lieux international

Divers recensements des installations existantes ou en cours de mise en place, quelle que soit la technologie employée, ont été effectués depuis 2000 dans le cadre soit de travaux de l'AIE, soit de projets européens. Une liste non exhaustive des principaux est donnée ci-après. Les chiffres donnés en avril 2007 lors d'un atelier en parallèle d'une réunion AIE tournent autour d'un total de 120 installations en Europe (toutes tailles, toutes technologies, tous statuts confondus).

Un recensement des installations mises en place a été effectué entre 1999 et 2000 dans le cadre du projet 25 de l'AIE, avec constitution d'une base de données pour 6 des 11 pays participants. 36 installations ont ainsi été référencées (mais seules 24 sont documentées dans la base) avec la répartition suivante :

- Allemagne : 18
- Italie : 1
- France : 7
- Pays-Bas : 3, dont 1 DEC et 2 absorption

- Espagne : 5 absorption
- Portugal : 2 DEC et 1 absorption

L'analyse exhaustive des informations recueillies est disponible dans le handbook édité à l'issue des travaux du projet 25 de l'AIE (Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A handbook for planners, Han-Martin HENNING, SpringerWienNewYork, 2004). Quelques données datant de fin 99 font état de puissances froid installées entre 18 et 125 kW_{fd}, pour des surfaces de capteur entre 20 et 345 m². La même étude signale l'obtention de taux de couverture solaire de 70 à 75 % sur des installations DEC + solaire en Allemagne et au Portugal. Les installations concernent généralement des immeubles de bureaux, des hôtels, des laboratoires universitaires ou des sites hospitaliers. Une installation de taille importante (2 700 m² de capteurs) associant capteurs plans et machine à adsorption a été mise en œuvre en Grèce dans un site industriel (usine de parfums), mais aucun résultat concret de fonctionnement n'a été diffusé à ce jour.

11 opérations de démonstration ont été réalisées dans le cadre des travaux du projet 25 dans 7 pays (Allemagne, Autriche, Espagne, Israël, France, Portugal, Pays-Bas). Elles sont basées sur les 3 technologies cibles: absorption, adsorption et DEC. Les puissances de froid mises en jeu se situent dans la fourchette 15-70 kW_{fd}. Dans l'optique d'une étude de leurs conditions de fonctionnement et de leurs performances, elle s'accompagne du suivi instrumenté de celles-ci sur plusieurs années selon une méthodologie commune. Une base de données a été mise en ligne à l'automne 2003 par le bureau d'études Tecsol (un des deux experts français ayant participé à ce projet) rassemblant les fiches descriptives complètes des installations et les résultats et enseignements des suivis. Elle est accessible via le site internet du projet 25 de l'AIE ou directement à l'adresse suivante : <http://www.tecsol.fr/Aie/>

Le projet SACE financé par la Commission européenne (terminé en 2003) liste 56 installations de climatisation solaire en Europe (Allemagne, Grèce, Autriche, France, Serbie et Montenegro, Pays Bas, Espagne, Israël, Portugal, Malte, Turquie et Croatie). Cette base de données est accessible via le site internet du projet 25 de l'AIE ou directement à l'adresse suivante : <http://www.ocp.tudelft.nl/ev/res/sace.htm>

Sur le site du projet Altener « Promoting Solar Air-Conditioning » (2003-2005) (www.raee.org/climatisationsolaire), coordonné par Rhône Alpes Energies Environnement et consistant en une diffusion des connaissances sur le thème du rafraîchissement solaire et la promotion du rafraîchissement solaire en Europe dans le secteur tertiaire, on trouve également une liste de réalisations « commerciales » en fonctionnement en Europe, dans les pays participant à ce projet (Portugal, Espagne, France, Allemagne, Grèce, Italie, Autriche) avec pour certaines des fiches descriptives en français.

3.2) Etat des lieux au niveau français

Comme indiqué précédemment, 7 installations, utilisant la même technologie (couplage capteurs sous vide et machine à absorption, avec ou sans appoint chaud ou froid) ont été recensées :

- Caves de Banyuls (66)
- Immeuble de la DOT (France Télécom) à Narbonne (11)
- Immeuble de la MAAF à la Seyne sur Mer (13)
- Immeuble EDF à Sainte-Thérèse (Martinique)
- Installation Mazda à Marseille (13)
- Préfecture de Gap (05)
- Caisse d'Épargne d'Aix en Provence (13)

Parmi celles-ci, seule celle de Banyuls est encore actuellement en fonctionnement, sans arrêt depuis 1991. Les autres mises en fonctionnement au début ou vers le milieu des années 80 ont toutes été rapidement arrêtées (période de fonctionnement la plus longue : 5 ans) principalement pour des défauts de conception (régulation défaillante, matériel mal dimensionné) ou de fiabilité globale. Outre Banyuls, seules les installations de la DOT de la MAAF et d'EDF ont fait l'objet d'un suivi. Dans les années 80, il n'était pas du tout systématique d'allouer un véritable budget sur plusieurs années consacré au suivi de l'installation. Par conséquent, le maître d'ouvrage n'étant pas directement intéressé par les données, ces installations n'ont pas pu être valorisées pour tirer un certain nombre d'enseignements. Pour les autres installations (Préfecture de Gap, Caisse d'Épargne d'Aix, installation Mazda à Marseille), aucune documentation suffisante, ni bilan n'ont pu être retrouvés sur elles. Jusqu'en 2003, l'installation de Banyuls est resté « le » site pilote de cette technologie en France. Elle a subi quelques évolutions et améliorations techniques depuis son entrée en fonctionnement. Elle fonctionne généralement entre les mois de mai à septembre. La principale retombée concrète de

l'installation solaire est une économie annuelle de près de 40 % sur les postes Energie correspondants du GICB.

Dans le cadre d'un projet européen 5^{ème} PCRD, Solarclim 2000, 2 nouvelles installations ont été réalisées mettant en œuvre la même option technologique et mises en service fin juin 2003 : immeuble de la DIREN Guadeloupe (100 m² capteurs tubes sous vide, 35 kW_{fd}) et hall d'essais du CSTB à Sophia Antipolis (58 m² capteurs tubes sous vide, 35 kW_{fd}). L'installation de la DIREN, prévue pour fonctionner toute l'année, semble présenter une qualité de fonctionnement et services variable selon les périodes. L'installation du CSTB a un fonctionnement saisonnier. Elle n'a pas été redémarrée depuis 2006 (contraintes diverses : administratives du fait de la possible déclaration de la tour de refroidissement, techniques du fait d'un besoin de réaménagement de la plate-forme, d'une augmentation de la surface de capteurs, de la non-atteinte des performances nominales de la machine de froid).

Enfin, plus récemment d'autres installations ont été réalisées ou sont au stade de projets, certains en liaison avec une thèse et une campagne de suivi. Les indications sur la puissance froid correspondent à celle prévue pour le solaire.

- Maison des Energies à Chambéry (73): DEC, 16 m² capteurs plans vitrés, 7 kW_{fd}, en fonctionnement depuis 2005 (opération expérimentale)
- Givaudan, Argenteuil (93) : absorption, 298 m² capteurs à tubes sous vide, 105 kW_{fd}, appoint par compresseurs (3x200 kW_{fd}), machine à absorption gaz (211 kW_{fd}), en fonctionnement depuis juillet 2005 (n'a pas encore atteint les niveaux de performance initialement promis, mais progresse chaque année, d'après MO)
- Laboratoires Galderma (06): absorption, 517 m² de capteurs à tubes sous vide (à l'origine), 260 kW_{fd}, appoints froid par compresseurs (2 600 kW_{fd}) et machines absorption gaz (200 kW_{fd}), en stand-by et réhabilitation, capteurs et circuit primaire solaires démontés après incident majeur sur installation globale de froid en 2005
- LEPTAB, Université de La Rochelle (17), DEC, 40 m² capteurs à tubes sous vide, installée fin 2006 (installation expérimentale)
- Kristal, Ile de la Réunion, absorption, 92 m² capteurs à tubes sous vide, 35 kW_{fd}, appoint froid compresseur 116 kW_{fd}, mise en service mi-juin 2007
- LPBS, Université de la Réunion, absorption, en cours de mise en œuvre

3.3) Résultats - Enseignements

Les travaux de l'AIE, outre les documents déjà disponibles sur les deux sites Internet cités dans l'introduction, se sont concrétisés en 2004 par la parution d'un handbook sur les technologies étudiées, rassemblant l'essentiel des données et résultats recueillis pendant les 5 années (voir sommaire en annexe). Lors du meeting du comité exécutif du programme SHC de l'AIE en novembre 2003, le responsable de cette tâche, HM Henning du Fraunhofer Institute, a signalé dans son rapport d'avancement que les travaux avaient pour l'heure conduit à la conclusion suivante: "la technologie n'est pas encore suffisamment mûre pour permettre une diffusion large sur le marché".

Pour ce qui concerne plus spécifiquement la France, un bilan des travaux financés par l'ADEME sur le thème du rafraîchissement solaire est joint en annexe. Ils concernent à ce jour majoritairement la technologie associant capteurs sous vide et absorption, consistent en modélisation, opérations de démonstration, développement d'outils d'étude et de conception d'installations et s'inspirent de l'expérience de Banyuls. A partir des résultats de suivi de Banyuls, des travaux de modélisation de l'installation (système de froid et bâtiment) ont été conduits et ont permis d'acquérir de bonnes connaissances en matière de conception et gestion d'installations de rafraîchissement solaire au fil du soleil. Le suivi a permis de constater:

- la montée en température des locaux (sous-sol) était retardée jusqu'en fin de saison grâce à au système mis en œuvre
- COP de la machine: 0,6-0,7, rendement global de l'installation: 36 à 38 %

Selon le bureau d'études Tecsol, « on peut définir des installations simples, fiables et performantes au fil du soleil avec des schémas hydrauliques simples". Toutefois, la configuration particulière de l'installation de Banyuls (absence de besoins de maintien d'une consigne de confort, grande inertie du bâtiment et du stock de bouteilles) ne permet pas une extrapolation à une installation mise en œuvre sur un immeuble de bureaux par exemple avec la nécessité d'un maintien réel de consigne d'ambiance.

4) Eléments de coûts

Compte tenu des domaines de températures de fonctionnement des machines à sorption, les capteurs solaires habituellement mis en œuvre sont généralement des capteurs sous vide. Une étude documentaire datant de fin 1999 fait état de fourchette de prix relativement élevés entre 600 et 800 euros/m². Depuis, les prix ont légèrement évolué, notamment avec l'arrivée de capteurs chinois, avec des coûts plus faibles, mais des performances apparemment également moindres.

Compte tenu du nombre encore relativement faible de références et faute surtout d'analyses suffisantes, les données globales de coût pour ce type d'installation restent limitées. Les quelques données dont on dispose font toutefois apparaître des écarts encore très conséquents par rapport aux systèmes à compression (de l'ordre de 300 €/kW_{fd}), dus essentiellement au coût des machines à sorption et celui du champ de capteurs solaires.

Ainsi pour le site de Banyuls, le coût de l'installation était de 294 531 €ht en 1991 (ratio investissement/production de froid: environ 4 290€/kW_{fd}), soit un surcoût d'environ 150 000 € par rapport à une solution classique à compression. Bénéfice environnemental affiché lors de la conception de l'installation (1991): pas d'emploi de gaz frigorigène (charge de 65 kg pour la taille de système nécessaire, avec des pertes annuelles de 10%). Pour les installations françaises récentes (voir annexe 1), les coûts globaux constatés ont montré une évolution contrastée : maintien pour la Diren Guadeloupe 4 563 €/kW_{fd}, réduction pour le CSTB 2 659 €/kW_{fd} et Galderma 3 273 €/kW_{fd}. Pour la Diren, l'intégration poussée des capteurs et le coût du transport vers la Guadeloupe sont mis en avant pour expliquer les chiffres. Mais pour le CSTB, il faut noter que pour des raisons de budget disponible, l'installation a été sous dimensionnée du point de vue du champ de capteurs, diminuant artificiellement le prix. La réduction de coût du poste « capteurs » fait partie des évolutions souvent citées avec l'arrivée sur le marché de capteurs sous vide d'origine chinoise moins chers que ceux disponibles en Europe. Pour autant, des données plus récentes (2005) font toujours apparaître un ordre de grandeur proche supérieur à 4 000 €/kW_{fd}.

Une tentative d'évaluation économique, réalisée dans le cadre d'une thèse récente (2003) et s'appuyant sur la méthode TEC a conduit au résultat suivant: en le comparant à un système à absorption gaz, le système solaire parvient juste à être compétitif, même à un coût du kWh gaz (ici GPL) de 7,5 c€/kWh. On comprend que la comparaison se fera en termes infiniment moins bons lorsque l'on envisagera la compétition avec du gaz naturel sur le continent. Pourtant on sait que les systèmes à absorption gaz ne sont presque jamais compétitifs par rapport à la compression, du fait des faibles COP de l'absorption. On voit ci la distance qui sépare les systèmes solaires d'une viabilité économique en termes de prix actuel des énergies et dans le contexte de non prise en compte des externalités. Dans le même travail, lorsqu'il simule le comportement du solaire utilisé en complément d'un système à absorption, et donc dans une configuration "idéale" puis que le système est sous-dimensionné, 100 % de la chaleur captée est donc utilisée (configuration du puits infini), D. Mugnier obtient le résultat qu'un taux de subvention de l'ordre de 80 % de l'investissement serait nécessaire pour parvenir à l'équilibre du bilan financier sur 15 ans.

5) Perspectives de développement - Commentaires

D'après l'étude documentaire de 1999 et les compléments des travaux du projet 25 de l'AIE, les cibles les plus envisageables sont celles listées au § 3.1, soit les grands bâtiments non résidentiels, le tertiaire. Depuis quelques années, le développement de machines à absorption de petites capacités (quelques kW fd) est l'un des axes de recherche des laboratoires et de certains constructeurs afin de viser le marché de petits bâtiments, voire du résidentiel individuel, à moyen terme. Peu de machines réellement validées sur des opérations nombreuses existent à ce jour sur le marché.

Toujours d'après cette même étude, le marché des machines à absorption adaptables aux systèmes solaires (température, taille) est très limité et peu de fabricants ont développé des produits adéquats. Il existe quelques machines de taille inférieure à 200 kW (jusqu'à 35 kW), l'offre technologique se situant ensuite au-dessus de 300 kW. Certains fabricants comme Yazaki, Climatewell travaillent pour améliorer la compacité de leurs systèmes et proposent des kits rassemblant machines à absorption, tour de refroidissement sèche ou humide, pompes, appoint (composition variable selon fabricant). Il commence également à apparaître sur le marché des machines à absorption de 5 à 15 kW (Climatewell, Phoenix, Rotartica, EAW), mais peu sont encore réellement validées en fonctionnement sur des opérations commerciales. Les fabricants de ces machines visent un créneau de marché comprenant petit tertiaire et grandes villas (à partir de 200 m²), notamment en liaison avec une application chauffage de locaux pour utiliser au mieux (et surtout prévenir les risques de surchauffe

estivale) des champs de capteurs des ssc par exemple. Si l'objectif visé est tout à fait louable, le système complet devient singulièrement complexe dans son dimensionnement, son installation, sa gestion (notamment complémentarité solaire-appoint) quoi qu'en disent les fabricants, sans que l'on soit assuré d'un fonctionnement aux performances nominales et durables sans longue période de réglage. Est-ce réellement compatible avec les créneaux visés ci-dessus où l'on ne dispose généralement pas d'un service technique ou d'entretien à demeure.

Même si le nombre global d'opérations en fonctionnement augmente, ces technologies souffrent encore d'un défaut persistant en termes de retours d'expériences de terrain fiables, exhaustifs et objectifs, résultant des difficultés rencontrées dans la collecte de données, leur degré d'exploitation et la validité de certaines expériences sur le plan de la reproductibilité (cf § 3.1).

Compte tenu des éléments cités ci-dessus, la liste des freins à la pénétration de ces techniques identifiés dans une étude documentaire datant de 1999 reste encore valable à l'issue des travaux du projet 25 de l'AIE (c'est notamment une des justifications de la mise en place du projet 38), même si des progrès ont été accomplis via les actions de recherche notamment en terme d'outil d'aide à la conception et au dimensionnement:

- investissement initial important
- manque de connaissances, de familiarisation avec ces techniques
- manque de retours d'expériences réellement consistants, fiables exploitables
- manque de compétences professionnelles (crucial pour des installations tout de même plus complexes à mettre en œuvre et à gérer que la simple production d'ECS)

Il ressort que ces technologies ne peuvent a priori pas encore actuellement être des alternatives à court terme aux classiques systèmes à compression, certaines configurations incluant par ailleurs ces systèmes comme appoint froid. D'ailleurs, la réflexion va de plus en plus vers des systèmes multi-usages (production d'énergie dispatchée entre plusieurs utilisations, saisonnières ou non) et pourvues de systèmes d'appoint chaud ou froid.

Par ailleurs, comme tout système utilisant les EnR, son inclusion dans un bâtiment ne peut se concevoir que dans le cadre d'une approche globale, avec un projet initial qui respecte les réglementations thermiques en vigueur, a bénéficié d'une conception orientée dans le sens de la réduction des consommations d'énergie. Comme pour des systèmes solaires thermiques plus simples (cesi, ssc), plaquer une installation de rafraîchissement solaire sur un bâtiment en ne s'étant pas préoccupé auparavant des aspects cités précédemment fournit peut-être à bon compte (s'il a des moyens financiers) une vitrine ou une opération de communication à un MO, mais n'est guère une démarche en cohérence avec les exigences du facteur 4 par exemple.

6) Conséquences en terme de besoin de R&D

Côté français, ces constats militent donc pour poursuivre les travaux de R&D technologique sur plusieurs aspects, notamment ceux ci-dessous:

- l'exploitation plus poussée et rigoureuse des données issues des opérations récentes de démonstration, notamment en terme de bénéfice environnemental
- l'étude, notamment par des moyens de simulation adaptés, des différentes configurations possibles d'installations combinant les variantes des quatre sous-ensembles cités au § 2, en terme de conception, gestion, optimisation
- le développement d'une offre technologique "machine" plus élargie.

Ceci s'est notamment traduit en 2004 par l'acceptation de 3 projets concernant le froid solaire dans le cadre de la session de l'appel à projet PBH 2010: développement d'un outil d'aide au dimensionnement et à la conception des installations de rafraîchissement solaire par absorption, optimisation du contrôle et de la régulation installations de rafraîchissement solaire par absorption, développement d'un échangeur dessicant pour système de rafraîchissement solaire et conditionnement d'air par DEC. Dans le cadre de la session 2006 de l'appel à projets ADEME-ANR Prebat, deux projets ont été également acceptés sur ce thème du rafraîchissement solaire, l'un à visée plus industrielle, consacré au développement d'une unité de rafraîchissement solaire, en complément d'un système solaire combiné, basée sur l'absorption/désorption de vapeur d'eau par un sel et utilisant des capteurs solaires plans, l'autre dans un but plus collaboratif, regroupant les principaux laboratoires bureaux d'études travaillant sur ce sujet, visant à fiabiliser et optimiser les différents procédés de rafraîchissement solaire. En parallèle avec ces projets et souvent en lien direct,

des thèses sont également en cours pour travailler sur certains aspects plus amont ou de manière plus pointue.

Par ailleurs, le manque ou la difficulté d'accès aux retours d'expériences d'installations réelles cités précédemment a conduit à la nécessité de définir un cadre pour un programme limité d'opérations de démonstration destiné à élargir le panel des quelques installations existantes en France et enrichir la base de données de fonctionnement déjà établie. Ce programme, lancé en 2005, devrait vraiment prendre son essor en 2007, maintenant qu'un document détaillant à la fois des recommandations pour la conception, mise en œuvre et réception des installations et une méthodologie commune de suivi et analyse de fonctionnement et performances est disponible, préparé en 2005 et 2006 par un groupe de travail froid solaire piloté par l'ADEME.

Annexe 1

De manière générale, les installations solaires de production de froid positif, destiné au rafraîchissement de locaux, sont composées des éléments suivants (les éléments entre parenthèses sont optionnels) :

- un champ de capteurs solaires plans, le plus souvent à tubes sous vide, et un circuit primaire,
- un échangeur et un circuit secondaire,
- (un stock solaire composé de 1 ou plusieurs ballons, côté froid ou chaud)
- (un système d'appoint chaud agissant sur le stock solaire chaud),
- une machine à absorption, une machine à adsorption ou un système DEC
- (un système d'appoint froid séparé placé en série en aval du stock solaire),
- un système de régulation général

Schémas de principe

Le schéma de principe général d'un système solaire à absorption est présenté en Fig. 1. Les Fig. 2 et 3 montrent un schéma de principe général d'un système solaire type DEC (avec usage chauffage également). Il faut savoir que d'autres schémas existent.

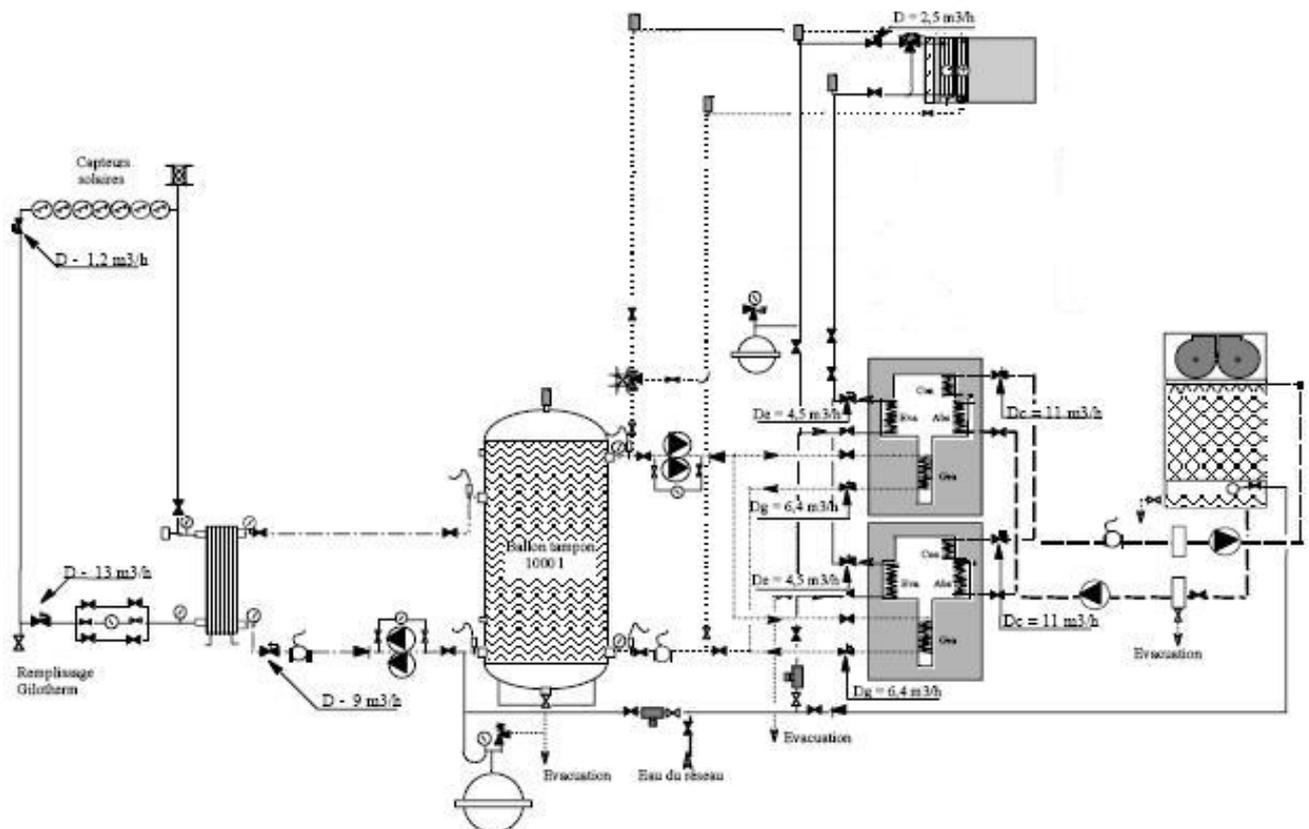


Fig 1 - Schéma de principe d'une installation de production de froid à absorption

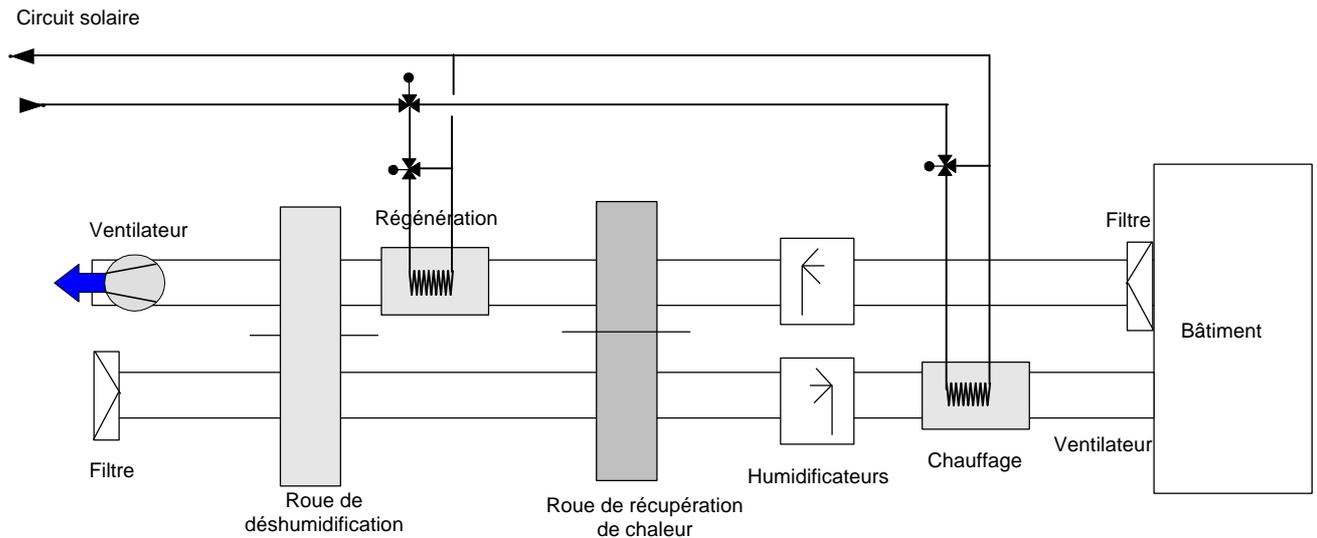
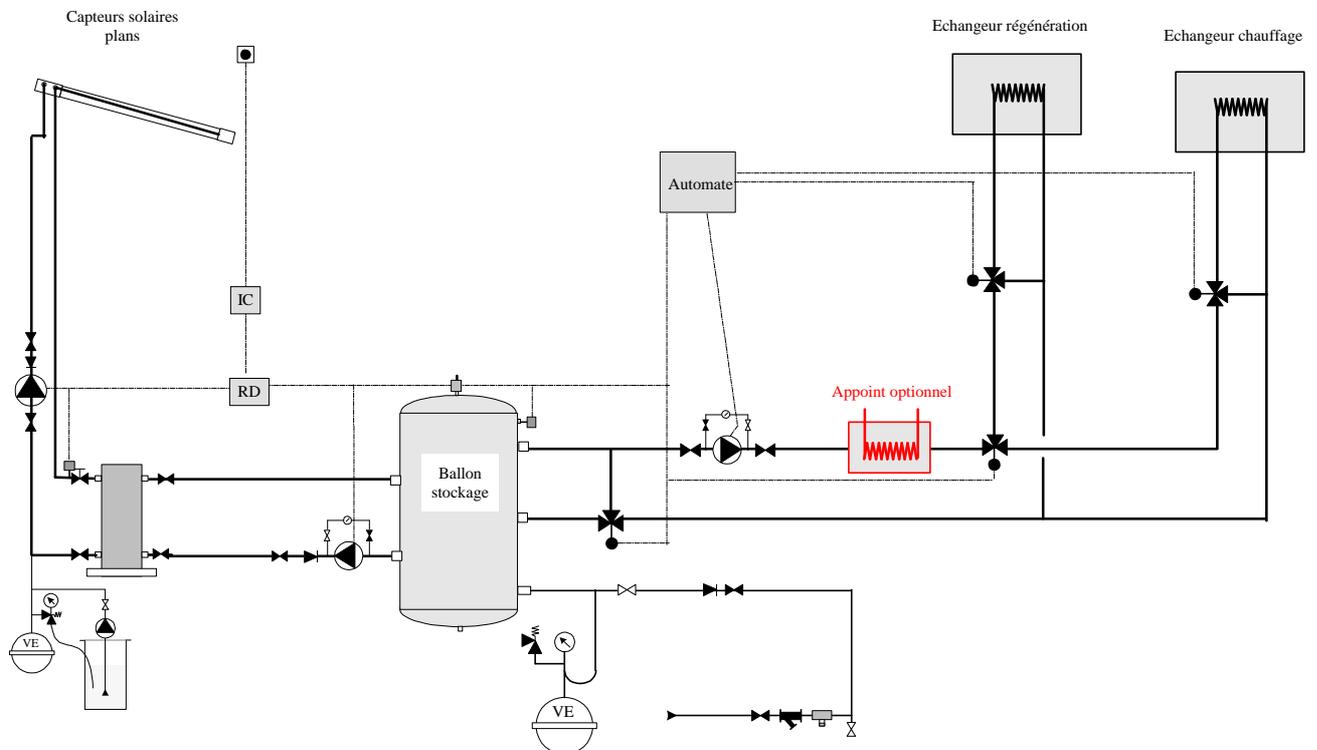


Fig 2 et 3- Schéma de principe d'une installation de production de froid par DEC



Principes de fonctionnement des installations concernées

1) Ab(d)sorption (cf figure 1)

L'installation type se compose de cinq boucles principales dans lesquelles circulent de l'eau ou un fluide antigel.

a) La boucle primaire (1)

La boucle primaire est une boucle fermée entre les capteurs solaires et l'échangeur. Le fluide utilisé est de l'eau ou du fluide antigel (pour utilisation sur l'année complète).

Le fluide est chauffé dans les capteurs solaires, puis se refroidit en transmettant sa chaleur à la boucle secondaire dans l'échangeur. La température de l'eau peut descendre à quelques degrés en-dessous de la température extérieure minimale du site (stagnation dans les capteurs la nuit en hiver) et dépasser 200°C (stagnation dans les capteurs l'été en plein midi, quand on a des capteurs sous vide, le dec fonctionne le plus souvent avec des capteurs plans).

La circulation se fait lorsque l'énergie solaire incidente disponible est suffisante pour réchauffer l'eau dans les capteurs. Le système de régulation pilote la marche et l'arrêt de la pompe primaire en fonction de l'ensoleillement et/ou des températures dans les circuits primaire et secondaire.

b) La boucle secondaire (2)

La boucle secondaire est une boucle fermée entre l'échangeur et le stock tampon chaud. C'est de l'eau chaude qui circule dans cette boucle.

L'eau du stock solaire est chauffée dans l'échangeur. La température de l'eau varie dans une fourchette un peu plus restreinte que dans la boucle primaire, avec un maximum de l'ordre de 95°C afin d'éviter tout risque de vaporisation ou de montée en pression, la température nominale de fonctionnement des machines frigorifiques à absorption variant entre 75° et 95°C (celle des machines à adsorption variant entre 60 et 95°C).

La circulation se fait lorsque la boucle primaire est en mesure de chauffer la boucle secondaire. Le système de régulation pilote la marche et l'arrêt de la pompe secondaire en fonction des températures dans les circuits primaire et secondaire et de l'état de la pompe primaire.

Un appoint par chaudière peut chauffer le stock chaud en cas d'insuffisance solaire. Le système devient alors une véritable climatisation, dans la mesure où il est capable d'assurer des consignes strictes.

c) La boucle du générateur (3)

La boucle du générateur alimente le générateur (ou bouilleur) de la machine à absorption. Elle est pilotée par la température disponible en haut du ballon tampon (mini. 75°C) et par la demande en froid.

Cette boucle peut, au travers d'un inverseur, permettre l'utilisation directe de la chaleur solaire en hiver, en combinaison avec l'appoint chaud s'il existe.

d) La boucle de refroidissement (4)

Cette boucle en eau tiède sert à évacuer l'énergie dégradée du cycle vers la tour de refroidissement. Elle fonctionne tant que la machine à absorption fonctionne, avec une régulation en température, avec temporisation. On peut y trouver une vanne trois voies permettant de stabiliser la température de retour vers la machine.

e) La boucle de distribution (5)

Le froid produit entre 7° et 15°C, avec un retour entre 12 et 18°C, est distribué par cette cinquième boucle, en eau. La distribution peut être directe ou au travers d'un appoint, généralement à compression. Dans ce cas, la machine à absorption est en série sur le retour vers le compresseur, qui ne se mettra en route que si la température de l'eau lui arrivant n'est pas suffisamment froide. Après l'appoint chaud, c'est une deuxième manière de réaliser une véritable climatisation.

2) DEC utilisant des capteurs à eau (cf figures 2 et 3)

L'installation type se compose de 4 boucles principales dans lesquelles circulent de l'eau ou un fluide antigel.

a) La boucle primaire (1)

cf §1.a)

b) La boucle secondaire (2)

cf §.1.b) aux points près valables uniquement pour les systèmes à ab(d)sorption

c) La boucle des échangeurs (3)

La boucle des échangeurs implique la présence de plusieurs vannes 3 voies permettant la connexion du ballon solaire soit avec un échangeur eau/air permettant la régénération de la roue desiccant en mode été, soit avec un autre échangeur eau/air permettant le chauffage direct de l'air neuf en mode hiver (si système à double usage).

d) La boucle de distribution (5)

Le froid est distribué directement par l'air neuf de soufflage et on distinguera l'énergie frigorifique solaire et celle apportée par un appoint (compresseur) en effectuant le bilan suivant :

$$\text{Energie frigo. solaire} = \text{Energie frigo. total} - \text{Energie frigo. appoint} - \text{Energie frigo. récupérée.}$$

3) DEC utilisant des capteurs à air (cf figure 4)

Pour les configurations avec DEC et capteurs à air, l'installation est beaucoup plus simple que dans les cas précédents. A noter que cette configuration mettant en oeuvre des capteurs à air avec la technologie DEC est peu répandue par manque d'expérience sur l'utilisation des 2 technologies en même temps. Cependant, dans certaines conditions (proximité entre champ de captation et système DEC), cette solution est très pertinente et prometteuse.

L'air de régénération de la roue à dessiccation est directement chauffé par l'air des capteurs solaires en mode été, suivant un trajet 11-9-10 (suivant Fig.4). L'air neuf de soufflage suit le trajet 1-2-3-4-5 alors que l'air extrait suit le trajet 6-7-8. En mode hiver, l'air neuf est réchauffé par les capteurs solaires avant d'entrer, suivant le trajet 11-2-3-4-5.

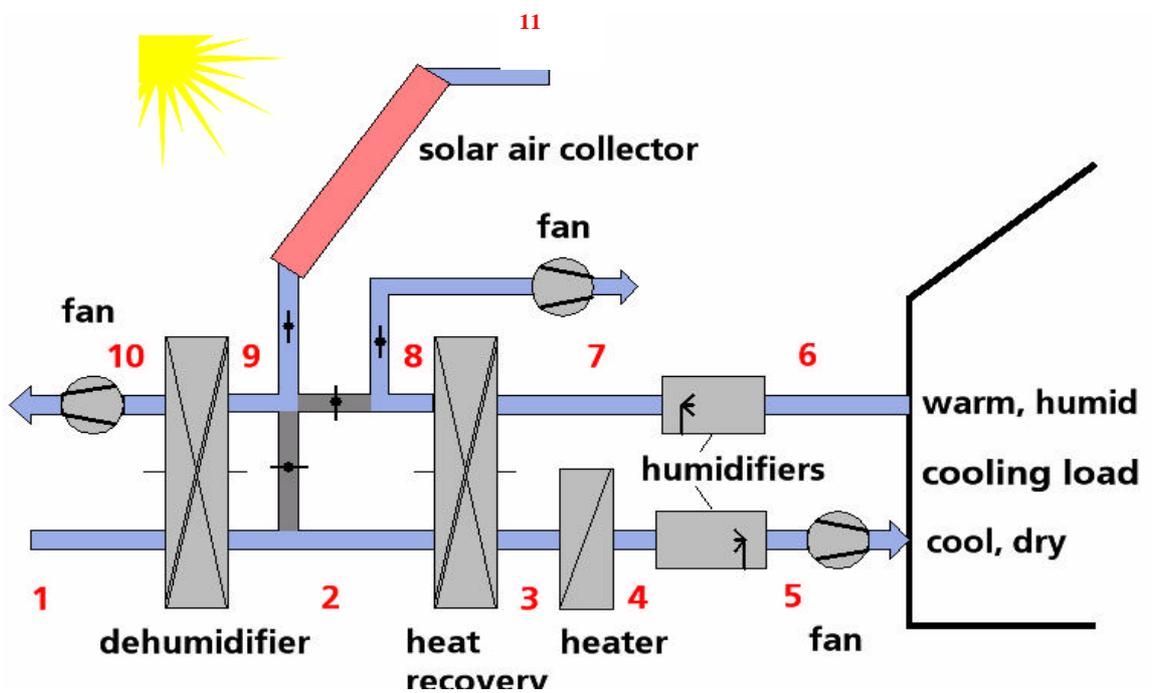


Fig 4- Schéma de principe d'une installation de production de froid par DEC et capteurs à air (source : Fraunhofer ISE)