

### EDITORIAL

Kyoto, et après ?

La "COP 11", 11ème conférence des parties de la convention climat de l'ONU s'est ouverte le 28 novembre dernier à Montréal (Canada). Cette première conférence des signataires du protocole de Kyoto, depuis son entrée en vigueur en février 2005, doit poursuivre la mise en oeuvre du traité. Mais les objectifs des pays signataires restent difficiles à atteindre. Il faudrait une plus grande incitation de la part des décideurs politiques et une plus grande implication des acteurs économiques. Mais comment inciter quand l'état lui-même ne donne pas l'exemple ! Et que le plus gros pollueur mondial (Etats-Unis) se désintéresse de ce problème !

INES-EDUCATION

### QUOI DE NEUF A L'INES ? 1

Pare-soleil photovoltaïques

Exposition « Energie au Futur » 1

Les promesses du gouvernement 2

Energie solaire, chaleur du sol et pompe à chaleur 2

Quel est l'impact des renouvelables sur le prix final du carburant ? 3

La climatisation solaire 4

**SALON - CONFERENCES 8**

**A LIRE 8**

**FICHE TECHNIQUE 9**  
Thermique

**Depuis le 3 octobre**, le bâtiment de l'INES est équipé de pare-soleil photovoltaïques.

88 modules PW1250-115 d'origine PHOTOWATT ont été installés et répartis sur 2 étages. Cette installation comprend également deux onduleurs Fronius IG60 de 4 600 Watts de puissance nominale. Ces onduleurs permettent la réinjection totale de l'énergie électrique photovoltaïque produite vers le réseau électrique via un compteur. Un afficheur grand format installé dans le hall indique la puissance instantanée, l'énergie produite et le CO2 évité. Un système d'acquisition sur PC enregistre des données de production électrique, l'irradiation solaire, la température ambiante et la température des cellules.

Bien que le bâtiment INES ne soit pas un exemple de sobriété énergétique, ces pare-soleil ont pour but de diminuer les besoins en climatisation en été et surtout d'offrir un exemple d'utilisation de l'énergie photovoltaïque.

Une simulation des besoins en climatisation sur la partie sud du bâtiment avec le logiciel Pléiades+Comfie a permis d'estimer le gain en énergie sur la climatisation à 3 000 kWh. Cette installation photovoltaïque, d'une surface 89,5 m<sup>2</sup>, est composée de 8 branches de 11

### Pare-soleil photovoltaïques

modules de 115 Watt de puissance crête chacun.

La puissance crête de l'installation est de **10 120 watts**. L'énergie électrique produite et injectée vers le réseau est estimée par simulation à **10 718 kWh/an**, ce qui permet d'éviter l'émission d'environ 5 tonnes de CO2 en prenant la moyenne Europe (0,476 gr/kWh), ou environ 1 tonne de CO2 en France (0,089 kg/kWh).

L'investissement total est de **68 825 € TTC** sans les aides et de **23 283 € TTC** avec les aides de l'ADEME (41 %) et de la Région Rhône-Alpes (25 %).

Francis DOMAIN

[domain@ines-solaire.com](mailto:domain@ines-solaire.com)



Face sud du bâtiment INES

### Bilan de l'exposition « Energie au Futur »

Du **19 septembre au 28 octobre 2005**, INES-Education a organisé l'exposition « l'énergie du futur » sur le parc Technologique de Savoie Technolac au Bourget du Lac (73).

L'exposition itinérante développée par ENERPLAN a été associée à d'autres animations (ASDER/ADEME/OIKOS/...). Cette manifestation avait pour but de faire décou-

vrir les énergies renouvelables aux scolaires et au grand public. 2037 personnes intéressées par ces nouvelles thématiques se sont déplacées.

## LES PROMESSES DU GOUVERNEMENT

**FRANCE**

Lors du "Rendez-vous Climat 2005" qui se tenait le 14 novembre dernier à Paris, Dominique de Villepin a exprimé l'intention du gouvernement de soutenir davantage l'énergie solaire photovoltaïque et les équipements en énergies renouvelables.

Face aux impacts du changement climatique, il semblerait que les pronostics des scientifiques aient cette fois abouti à une prise de conscience globale et unanimement partagée. Dominique de Villepin, a rappelé la nécessité de développer, dès aujourd'hui, des sources d'énergies plus propres. Il a par ailleurs évoqué toute une série de mesures destinées à renforcer les annonces du plan climat 2004, parmi elles :

- l'augmentation l'année prochaine du crédit d'impôt de 40 % à 50 % pour les équipements en énergies renouvelables,
- le taux des matériaux isolants et les chaudières à condensation passera de 25 % à 40 %, en cas de travaux réalisés moins d'un an après l'acquisition d'un logement ancien antérieur à 1977,
- la mise en place d'une nouvelle réglementation thermique imposant une meilleure isolation aux constructions neuves, à la rénovation de logements anciens ou encore à l'établissement systématique d'un diagnostic énergétique des logements lors de la vente (à partir de mi 2006) et de la location (en juillet 2007),

- création d'un fonds pour l'implication du secteur bancaire dans la diffusion de prêts cobonifiés et dédiés aux travaux d'économie d'énergie,
- le soutien à l'énergie solaire photovoltaïque en augmentant de 50 % le tarif d'achat de l'électricité aux particuliers (soit 0,225 €/kWh pour la métropole, pour les DOM le prix reste inchangé : 0,305 €/kWh). En ce qui concerne les installations dans le logement collectif, le tertiaire et l'industrie, le prix d'achat sera doublé. La différence entre le prix de marché et ces tarifs, destinés à favoriser le développement des filières renouvelables, est prise en charge par le fonds de contribution au service public de l'électricité, financé par le contribuable.

Il est à noter que la France reste dans le peloton de queue des nations qui ont recours à l'énergie photovoltaïque, avec 26 mégawatts installés fin 2004 contre 794 MW en Allemagne et 1132 MW au Japon, numéro un mondial.

Le plan climat prend aujourd'hui une nouvelle ampleur, même si beaucoup regrettent que les premières mesures annoncées en

2004 n'aient pas été suffisamment loin, notamment en matière d'exemplarité de l'Etat au sein de ses propres services ou encore face à l'absence de pénalités claires ou d'exigences sine qua non auprès des constructeurs, promoteurs et industriels. Reste toujours malgré tout cette possibilité pour les collectivités, à l'instar de la ville de Barcelone qui a inscrit dans la loi l'obligation de l'utilisation du solaire dans les permis de construire, d'agir à leurs échelles dans le cadre de plans climats territoriaux. Si cette démarche reste pour le moment soumise au volontariat des élus locaux, la Datar, prochainement Diact, a également rappelé la possibilité d'inscrire des obligations environnementales au sein des prochains contrats de plan.

Pour en savoir plus sur les nouvelles mesures annoncées : [cliquez ici](#)

Marie-Laure FABER

[faber@ines-solaire.com](mailto:faber@ines-solaire.com)

## ENERGIE SOLAIRE, CHALEUR DU SOL ET POMPE A CHALEUR



La question nous est souvent posée de savoir si on ne pourrait pas stocker la chaleur solaire dans le sous-sol ?

Nous avons déjà abordé des éléments de réponse dans Du Soleil n° 10 pages 4-5, en présentant la solution des sondes verticales de Neckarsulm en Allemagne. Il y a aussi beaucoup de questions autour du « comment utiliser la chaleur du sol au moyen de sondes, fondations ou pieux, et si une recharge solaire est éventuellement nécessaire ».

Plus de 20 ans d'expériences suisses sont désormais disponibles pour les ingénieurs dans un guide pour la conception, la réalisation et la maintenance d'ouvrages de

fondation utilisant la chaleur du sol au moyen de pompes à chaleur.

Un peu de théorie des propriétés

et des échanges thermiques du sous-sol, et beaucoup de considérations pratiques pour calculer et réaliser une « géostructure énergétique » et les réponses à des questions souvent posées :

- Faut-il recharger thermiquement des pieux échangeurs ?
- Comment raccorder les têtes de pieux ?
- Quelle est la résistance thermique d'un pieu échangeur et son influence sur le dimensionnement de la pompe à chaleur ?
- Quel matériau faut-il choisir pour les tubes ?
- Qu'est-ce qu'un test de réponse géothermique qui permet de qualifier une sonde dans son contexte géologique ?
- Quelle différence y-a-t-il entre le

logiciel de simulation TRNSYS et PILESIM qui permet de simuler des configurations de systèmes thermiques comprenant des pieux échangeurs ?

En ordre de grandeur on retiendra qu'un pieu peut délivrer 40 à 60 W/m en moyenne, autant qu'une « bonne » sonde, mais au maximum une énergie de 50 à 100 kWh/m an. Cette valeur est très dépendante de la nature du sol et de l'hydrogéologie locale. Au-delà et selon la nature du sol, il faut recourir à une recharge estivale en général par « free cooling », ou par des apports solaires !

Les installations avec pieux échangeurs sont avant tout des installations de pompes à chaleur, réversibles ou non. Toutefois, beaucoup des informations que l'on trouve dans ce guide sont utiles aussi pour un projet de stockage saison-

nier de chaleur solaire par sondes verticales dans le sol, quand il s'agit de dimensionner les sondes ou de mieux comprendre le sous-sol.

Signalons encore qu'il existe chez le même éditeur en français un autre document intéressant : **Bases de dimensionnement des systèmes exploitant la chaleur du sol à basse température**, D025, datant de 1988, mais encore très actuel.

Le guide D0190 de la société des ingénieurs et architectes suisses ([www.sia.ch](http://www.sia.ch)) est disponible depuis novembre 2005 en français (100 pages, au prix de 57 €)

[Pour commander : cliquez ici](#)

Jean-Christophe HADORN  
hadorn@ines-solaire.com

### QUEL EST L'IMPACT DES RENOUEVELABLES SUR LE PRIX FINAL DU COURANT ?

ALLEMAGNE

On sait que l'Allemagne a un tarif d'achat de l'électricité produite par le renouvelable favorable au développement des technologies, notamment éolienne et photovoltaïque.

Ces achats à 50 cts €/kWh sont financés par tous les consommateurs d'électricité allemands. Quel est le surcoût moyen ?

Une étude BEE (association allemande des énergies renouvelables) montre que l'impact est 0,54 cts €/kWh pour un prix moyen payé par un ménage de 19,6 cts €/kWh, soit un surcoût de 2,8 % pour le consommateur final. Un impact très faible qui explique aussi en partie le bon accueil fait par les consommateurs aux énergies renouvelables en Allemagne, qui représente en 2005 10 % de la production.

Globalement BEE estime que les prix de l'électricité ne devraient pas augmenter en Allemagne du fait des renouvelables, car le coût moyen des nouvelles installations a tendance à baisser.

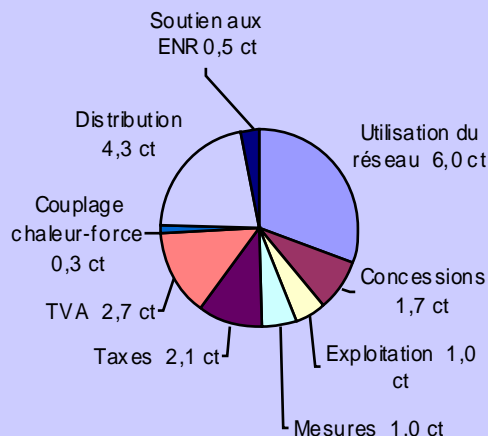
Pour 2006 et 2007 une tension sur le prix du silicium pourrait cependant annuler cette baisse pour le photovoltaïque. Le calcul sur une longue période des effets du prix d'achat du renouvelable sur le prix du kWh moyen en Allemagne n'est pas fourni par BEE. Si un tel rapport existe, nous serions heureux à « Du

Soleil » de le lire et de le présenter. Avis à nos lecteurs.

Source : BEE et [www.dgs.de](http://www.dgs.de)

Jean-Christophe HADORN  
hadorn@ines-solaire.com

Composition du prix du kWh moyen 2005 en Allemagne pour un ménage



## UNE MISE EN PLACE PROGRESSIVE ET ENCOURAGEANTE

*Le développement de la climatisation lié notamment à l'amélioration des conditions de vie a un impact dévastateur sur l'environnement notamment dans les pays du Sud où l'on a pu observer une augmentation de température dans les villes de près de dix degrés par rapport à la campagne alentour. Il est donc urgent de trouver des alternatives viables à la climatisation traditionnelle et si l'optimisation de la conception architecturale permet une nette amélioration des conditions de confort, elle peut s'avérer incompatible avec les besoins des architectes et dans ce cas la climatisation solaire permettra de limiter les conséquences sur l'environnement. L'usage de la technique de dessiccant cooling est particulièrement intéressant du point de vue environnemental car cela permet d'éviter l'emploi des fluides frigorigènes et nous nous proposons de présenter une première expérience française testée sur **la maison des énergies** de Chambéry.*

La demande de climatisation en France connaît actuellement un essor considérable ce qui provoque une surconsommation électrique et des rejets de gaz à effet de serre importants. Ainsi, selon un rapport de l'ADEME, les climatiseurs français ont consommé en 2002 quelques 12,1 térawattheures (TWh) soit la production de 1,7 réacteur nucléaire moyen (84 % pour les bureaux, 16 % pour l'habitat).

Pire encore : les hydrofluorocarbures utilisés dans les climatiseurs ont un pouvoir de réchauffement de 1300 fois supérieur à celui de CO<sub>2</sub>. Le concept de rafraîchissement solaire par dessiccation/évaporation avec régénération solaire constitue une alternative encourageante pour lutter pour la préservation de l'environnement.

Des installations à dessiccation existent aux Etats-Unis et en Europe de Nord depuis des dizaines d'années. Aux Etats-Unis le nombre des fabricants est passé de 2 en 1980 à plus de 10 en 2001 avec plus de 5 700 systèmes installés dans les bâtiments tertiaires. Quelques installations furent utilisées récemment en Europe de l'Ouest surtout en Allemagne où l'on recense 7 installations solaires à dessiccation. La chambre de commerce de Fribourg est équipée d'un système autonome qui permet de rafraîchir l'été et préchauffer l'hiver deux salles de réunion de 65 m<sup>2</sup> et 148 m<sup>2</sup> contenant 120 personnes. Avec 100 m<sup>2</sup> de collecteurs solaires et 60 kWh de capacité de froid, les économies en énergie primaire sont de 30 000 kWh et celles d'émission de CO<sub>2</sub> de 8 800 kg/an.

### PRINCIPE D'UN SYSTEME A DESSICCATION

Ce procédé de refroidissement utilise le rafraîchissement par évaporation couplé à la déshydratation (ou déshumidification) à sorption de l'air. Ce dernier est directement traité en fonction des conditions de confort souhaitées. L'eau sert de réfrigérant, elle est en contact direct avec l'air à refroidir. La déshydratation utilise une roue contenant un matériau dessiccant comme déshumidificateur. Le matériau absorbe la vapeur d'eau et assèche l'air puis il est régénéré (desséché) par chauffage (dans un régénérateur), afin d'être à nouveau disponible. Comme les besoins de climatisation correspondent aux périodes de fort ensoleillement, l'énergie solaire peut servir comme source de chaleur pour la déshumidification du matériau dessiccant. Les principaux composants de ce type de système ainsi que les évolutions correspondantes dans le cas d'un fonctionnement en dessiccation sur un diagramme de l'air humide sont présentés sur la **figure 1**. Selon les

conditions extérieures, l'installation peut avoir 4 modes de fonctionnement :

- **Ventilation** : dans ce cas l'air extérieur est soufflé sans aucun traitement (seulement étape **D-E** sur le schéma).
- **Humidification directe** : l'air est humidifié dans l'humidificateur (**C-D**).
- **Humidification indirecte** : l'air extérieur est refroidi dans l'échangeur rotatif (roue métallique en nids d'abeilles : **B-C**) par l'air de retour (**G-H**) refroidi par humidification dans (**F-G**). Ce mode est utilisé lorsqu'il y a une source d'humidité dans le local et qu'il faut limiter son humidité.
- **Mode dessiccant** : lorsque la température de l'air est assez élevée les modes précédents sont inefficaces et dans ce cas l'installation

fonctionnera en mode dessiccant. Dans ce mode, l'air extérieur chaud et humide, traverse une roue à dessiccation en rotation lente et est donc déshumidifié (**A-B**).

L'air étant chauffé par le phénomène de sorption, un premier refroidissement est obtenu à travers l'échangeur rotatif (**B-C**). Ensuite, il est humidifié et donc refroidi dans un humidificateur (**C-D**) permettant d'ajuster la température et l'humidité selon les niveaux souhaités. L'air repris dans la pièce est humidifié pour profiter au maximum du potentiel de refroidissement dans l'échangeur thermique (**G-H**). Enfin la roue à dessiccation doit être régénérée (**I-J**) par chauffage de l'air repris issu de l'échangeur à des températures variant de 40°C à 70°C. Compte tenu des niveaux de température requis, il est possible d'utiliser des capteurs solaires plans classiques.

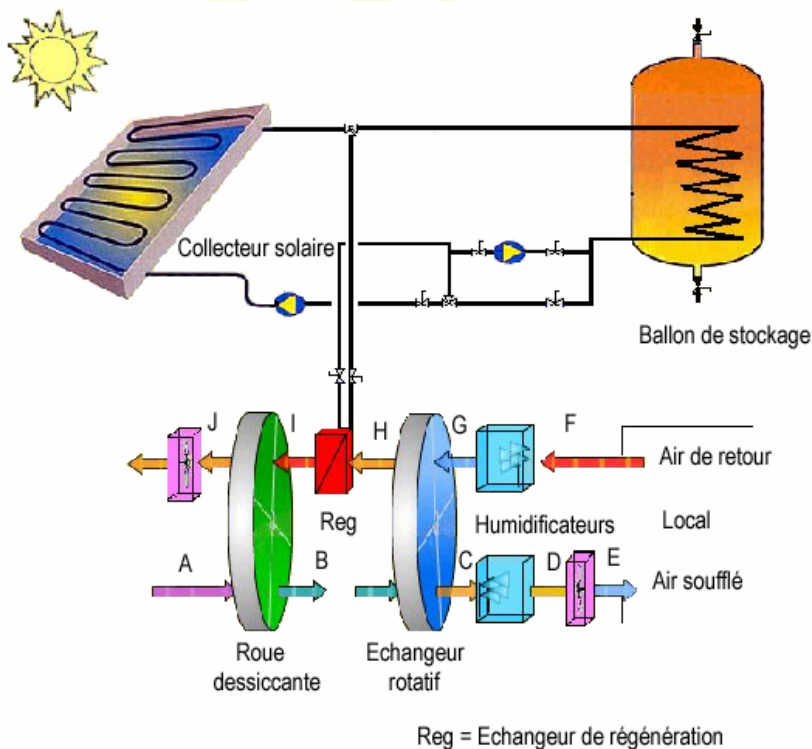


Figure 1 : Schéma d'un système à dessiccation standard (desiccant cooling).

Ce système est généralement bien adapté aux bâtiments tertiaires dans les régions tempérées ou à fort gradient de température jour-nuit.

Dans les régions méditerranéennes humides, cette configuration ne permet pas toujours de réduire suffisamment l'humidité pour bénéficier assez du rafraîchissement évaporatif.

Des configurations plus complexes utilisant une autre roue enthalpique ou un groupe de froid complémentaire doivent alors être utilisés.

Voyons à présent le détail des différents éléments technologiques composant ce type d'installation.

### SYSTEMES A HUMIDIFICATION

L'utilisation du processus d'évaporation pour le rafraîchissement des ambiances fut l'œuvre des civilisations anciennes qui ont dû palier les problèmes d'inconfort estival par le recours aux techniques naturelles de rafraîchissement telles que l'arrosage des planchers de bâtiments, la conception et la mise en place de systèmes évaporatifs simples (jets d'eau et fontaines) dans les bâtiments. Le développement technologique a permis d'améliorer la performance de cette technique de rafraîchissement passif à travers la conception de systèmes nouveaux à évaporation directe dans lesquels l'air est

en contact direct avec l'eau (systèmes à pads (tissus humides) ou à buses) et à évaporation indirecte à travers un échangeur évaporatif (échangeur à plaques, à tubes et rotatif).

Dans un humidificateur direct, l'écoulement d'air non saturé est mis en contact avec de l'eau froide qui s'évapore et puise sa chaleur latente dans l'air qui voit sa température sèche décroître et son humidité augmenter tout en conservant une enthalpie quasiment constante. La température minimale qui peut être atteinte est la température humide de l'air entrant.

Dans un échangeur évaporatif indirect, l'air soufflé est séparé de l'air repris dans lequel de l'eau est vaporisée. Cet air transmet de la chaleur à l'air refroidi et son enthalpie diminue. L'efficacité d'un système évaporatif est le rapport entre la variation réelle de température et la variation théorique maximale que la température sèche peut subir dans le cas idéal où la température de sortie est égale à la température humide de l'air entrant. L'efficacité d'un système évaporatif direct est de l'ordre de 90 % alors que celle d'un système évaporatif indirect varie entre 70 % et 80 %.

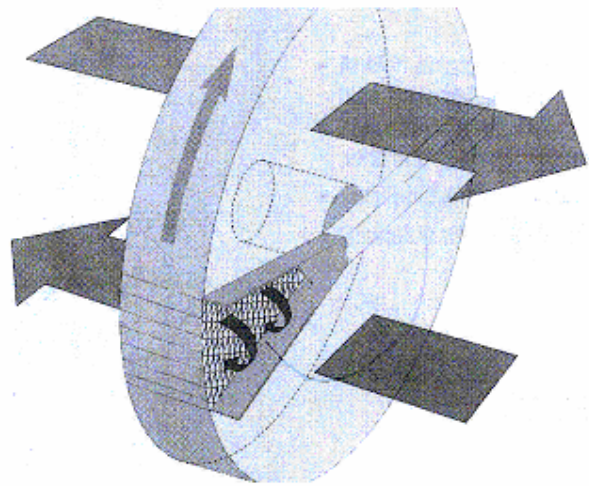
### SYSTEMES DE DESHUMIDIFICATION A SORPTION

La sorption est un phénomène physique qui consiste à fixer les molécules d'un élément (élément adsorbé ou absorbé) à une surface généralement granulée et poreuse (surface sorbante). Les matériaux dessiccants constituent une classe particulière des sorbants. Ils ont

une grande affinité pour l'eau. Ils attirent l'eau en formant à leur surface une zone à faible pression de vapeur. La vapeur de l'air, ayant une pression plus élevée, se déplace de l'air vers la surface du matériau et l'air est déshumidifié. On parle d'absorption lorsqu'il y a

changement de phase de la vapeur vers l'état liquide et d'adsorption lorsque la vapeur reste piégée à l'état gazeux dans les pores de l'adsorbant à la manière d'une éponge qui retient l'eau à travers ses capillaires. Actuellement les sorbants les plus utilisés sont le

$\text{SiO}_2$  (silica gel),  $\text{ClLi}$  (Chlorure de Lithium),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Alumine activée) et le Bromure de Lithium. Ces substances sont déposées sur un support à structure en nids d'abeilles (une roue). Lorsque la substance devient saturée, il faut la chauffer pour qu'elle libère l'eau. Ce processus de régénération a besoin d'une source de chaleur qui utilise de l'énergie électrique, du gaz ou même de l'énergie solaire.



Une configuration typique consiste à faire tourner cette roue lentement entre deux courants d'air à sens d'écoulement opposés, l'air de process et l'air de régénération. L'air de process s'écoule entre les cannelures de la roue et le matériau dessiccant se charge d'humidité. En absorbant l'humidité, le matériau devient saturé et la pression de vapeur à sa surface augmente. Quand la roue traverse l'air de régénération, elle est chauffée par celui-ci et la pression à sa surface continue à augmenter en permettant ainsi à la vapeur d'être libérée dans l'écoulement. Après la réactivation, la roue est refroidie par une partie de l'air de process pour qu'elle puisse de nouveau absorber de l'humidité.

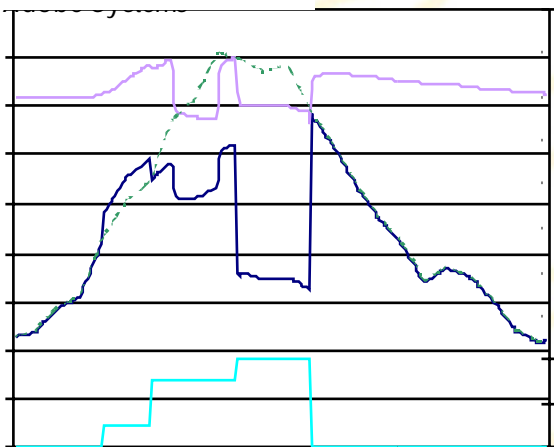
## PRESENTATION DU SYSTEME DE RAFFRAICHISSEMENT D'AIR PAR DESSICCATION

**La maison des énergies** qui se situe à Chambéry est prévu pour trois usages qui sont l'hébergement des bureaux de l'ASDER (Association Savoyarde pour le Développement des Energies Renouvelables), l'accueil du public dans une salle d'exposition et l'organisation de stages sur les énergies renouvelables. Les salles d'exposition et de formation sont recouvertes d'une toiture végétalisée. Leurs façades sud sont largement vitrées et disposent d'occultation afin de limiter les déperditions en hiver et les apports solaires en été. La salle de formation, de surface de  $70 \text{ m}^2$  et occupée par 40 personnes, est équipée d'une installation à dessiccation solaire. La puissance de cette installation est de  $7 \text{ kW}$  et elle dispose de  $16 \text{ m}^2$  de capteurs solaires intégrés en toiture du hall. Même si la taille de l'installation est faible, elle aura un intérêt démonstratif évident pour les locaux tertiaires.



Afin d'étudier le potentiel de rafraîchissement du système et de modéliser son comportement, un modèle a été implémenté dans l'environnement de simulation orienté objet SPARK qui permet la résolution de tout type d'équations et constitue le solveur d'équation du logiciel standard américain pour la simulation dans le bâtiment Energy+.

**La figure 2 ci-après**, montre l'évolution de la température de l'air pendant une journée d'été pour des conditions météorologiques moyennes. La salle est occupée de 9h à midi et de midi jusqu'à 18h. L'efficacité des humidificateurs est de 0,85 et celle de l'échangeur rotatif de 0,8. La roue à dessiccation est de type SECO (Klingenberg) qui utilise le Chlorure de Lithium comme matériau dessiccant. Son diamètre est de  $695 \text{ mm}$ . Celui-ci est fonction du débit d'air soufflé qui, dans ce cas est de  $0,6 \text{ kg/s}$ . La température de régénération est de l'ordre de  $45^\circ\text{C}$ . Cette température est généralement fournie par l'installation solaire qui utilise un ballon tampon d'eau chaude de  $1,5 \text{ m}^3$ .



**Figure 2** - Evolution des températures de l'air pour des conditions météorologiques moyennes.

Le local est vide de midi jusqu'à 14h.

- Le mode de fonctionnement :
- 1 en ventilation
  - 2 en humidification directe
  - 3 humidification indirecte
  - 4 mode dessiccant

En fonction des conditions extérieures et intérieures, les différents modes de fonctionnement présentés en début d'article sont successivement utilisés de la manière suivante :

- L'installation fonctionne uniquement en ventilation jusqu'à 11h puis en humidification indirecte jusqu'à 15h de l'après midi.
- Entre midi et 14h, la salle est vide mais reste rafraîchie par humidification indirecte.
- A 15h la température de la salle dépasse 26°C et l'humidification indirecte est inefficace ce qui conduit à passer en mode dessiccant. Le coefficient de performance calculé sur ce type d'installation est de l'ordre de 8 ce qui rend le procédé particulièrement intéressant alors que la consommation des humidificateurs en eau est très faible de l'ordre de 2 l/kWh de rafraîchissement soit environ 2 m<sup>3</sup> /mois.

## CONCLUSION

Ces travaux préparatoires ont permis de mettre en valeur l'intérêt de la technique et la campagne d'essais qui commence devrait permettre de valider les premiers résultats numériques obtenus.

Par ailleurs, si la technologie semble éprouvée, reste à en faire baisser le coût pour un vrai développement en masse mais l'essor que connaît ce procédé chez nos voisins européens doit nous conduire à explorer rapidement cette technique qui pourra intéresser de nombreux maîtres d'ouvrages souhaitant mettre en avant l'aspect environnemental de leur projet.

## REFERENCES

Systèmes de climatisation à faible consommation d'énergie, guide de faisabilité et de pré - dimensionnement, cahiers du CSTB n° 3454, avril 2003.

<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.raee.org/climasol>: Projet européen Altener Climasol : promotion de la climatisation solaire.

Etienne WURTZ

[etienne.wurtz@univ-savoie.fr](mailto:etienne.wurtz@univ-savoie.fr)

Thomas LETZ

[letz@ines-solaire.com](mailto:letz@ines-solaire.com)

INES

Savoie Technolac - 50 avenue Lac Léman

BP 258 - 73375 LE BOURGET DU LAC CEDEX

Chadi MAALOUF

[chadi.maalouf@univ-lr.fr](mailto:chadi.maalouf@univ-lr.fr)

LEPTAB

Université de la Rochelle

17042 LA ROCHELLE CEDEX 1

## SALONS—CONFÉRENCES

**18/19 janvier 2006**

**CLEAN ENERGY POWER** : salon international et congrès sur les énergies renouvelables, l'efficacité de l'énergie et les transports

Lieu : **Berlin (Allemagne)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)  
[Programme](#)

**22/24 janvier 2006**

**WREEC 2006**

Lieu : **Tripoli (Libie)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)

**24/26 janvier 2006**

**7ème ASSISES DE L'ÉNERGIE** : bâtiments d'aujourd'hui et de demain, les collectivités territoriales en action

Lieu : **Dunkerque (59)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)  
[Programme des conférences](#)

**10/12 février 2006**

**ERNEUEBARE ENERGIEN** : salon international et conférence sur le thème des énergies renouvelables et de l'efficacité de l'énergie

Lieu : **Böblingen (Allemagne)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)  
[Programme](#)

**08/10 mars 2006**

**POLLUTECH CHINA 2006**

Lieu : **Shanghai (Chine)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)

**10/12 mars 2006**

**CHINA INTERNATIONAL** : wind power & Photovoltaic Generating Equipment Exhibition

Lieu : **Shanghai (Chine)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)

## JOURNÉE THÉMATIQUE SFT - IBPSA

(ORGANISÉE PAR INES RDI  
ET INSA)

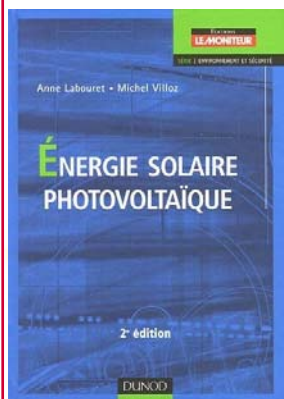
21 mars 2006 à 09h00

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES  
BÂTIMENTS, VERS DES BÂTIMENTS  
AUTONOMES EN ÉNERGIE

Lieu : **le Bourget du Lac (73)**

Pour en savoir + : [cliquez ici](#)

## A LIRE



### ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Auteurs : A. Labouret,  
M. Villos

Editeur : DUNOD

Prix : 57 €

Pour commander :  
[cliquez ici](#)

Ce manuel du professionnel de l'énergie photovoltaïque expose aux concepteurs, installateurs et donneurs d'ordres impliqués dans ce type d'équipements, les outils et les méthodes pour : élaborer et optimiser un cahier des charges, calculer, mettre en place et entretenir les composants nécessaires (panneaux solaires, batteries, régulateurs de charge, convertisseurs, etc.), afin de concevoir et mettre en œuvre des installations photovoltaïques adaptées à des besoins précis, en privilégiant toujours l'économie d'énergie et en gardant à l'esprit les possibilités et les limites de cette énergie novatrice. Il s'appuie pour cela sur une présentation détaillée des phénomènes physiques (conversion et stockage de l'énergie solaire), ainsi que des technologies disponibles et en développement.

## BULLETIN D'ABONNEMENT

Du Soleil est distribué en 2005 gratuitement via Internet

E-mail .....

Nom ..... Prénom .....

Fonction .....

Société .....

Adresse .....

Tél ..... Fax .....

## INES EDUCATION

Parc Technologique de Savoie Technolac  
50 avenue du Lac Léman—Bâtiment LYNX

BP 258

FR-73375 LE BOURGET DU LAC CEDEX

T : +33 (0) 4 79 253 640

F : +33 (0) 4 79 253 690

[info@ines-solaire.com](mailto:info@ines-solaire.com)

[www.ines-solaire.com](http://www.ines-solaire.com)

Les informations recueillies sont nécessaires pour votre adhésion. Elles font l'objet d'un traitement informatique et sont destinées au secrétariat de l'INES. En application de l'article 34 de la loi du 6 janvier 1978, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Si vous souhaitez exercer ce droit et obtenir communication des informations vous concernant, veuillez vous adresser à INES-EDUCATION—Savoie Technolac—BP 258—73375 le Bourget-du-Lac CEDEX

Directeur de la publication : Jean-Christophe HADORN

Prix du numéro : 10 € TTC

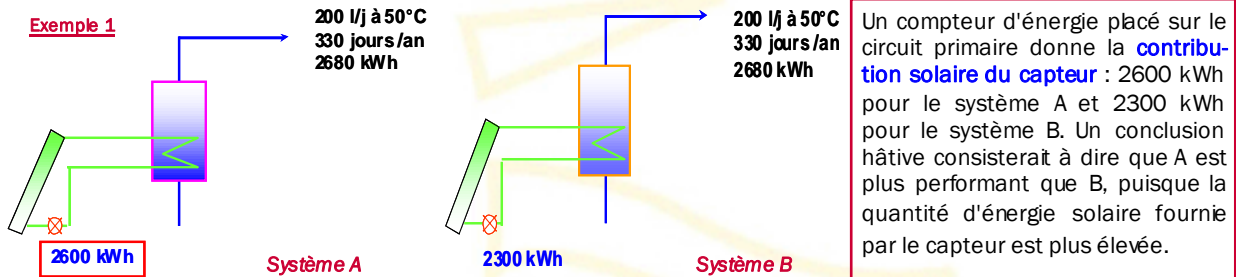
Rédaction et édition : INES EDUCATION

## DE LA BONNE INTERPRETATION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE

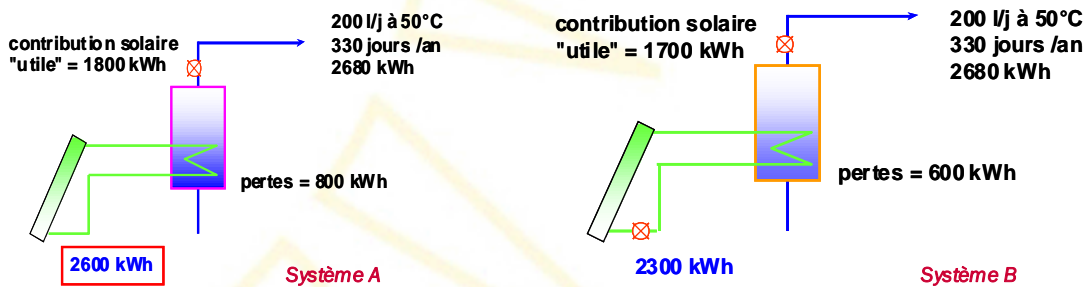
ST1

Les indicateurs de performance utilisés pour caractériser le fonctionnement d'un système solaire thermique sont souvent présentés avec un certain flou, lié à l'absence de norme très claire sur ce point, mais également à des difficultés méthodologiques rencontrées sur certains systèmes. Nous présentons ici les principes de base, en utilisant l'exemple du chauffe-eau solaire pour des raisons de simplicité, mais les concepts restent évidemment valables dans le cas de systèmes solaires combinés (SSC), qui fournissent également un part de chauffage.

Considérons les deux chauffe-eau solaires suivants, équipés de 4 m<sup>2</sup> de capteurs solaires et d'un ballon de 200 litres, fabriqués par deux constructeurs différents et assurant le même service.



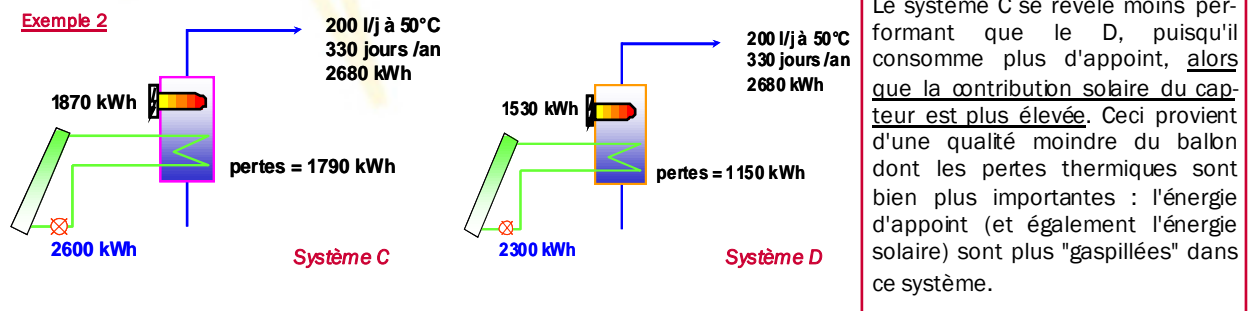
Poussons un peu plus loin l'analyse en examinant de plus près le ballon de stockage.



Un compteur d'énergie placé sur le circuit eau chaude sanitaire donne la **contribution solaire du système**, appelée généralement **utile**. Malgré des pertes de ballon supérieures, le système A reste plus performant que le B, puisque la contribution utile est supérieure de 100 kWh.

Pour ces systèmes, le **taux de couverture solaire** est le rapport entre l'énergie fournie par la partie solaire de l'installation et la fourniture totale d'énergie. Dans notre exemple, il atteint  $1800/2680 = 67\%$  pour le système A et  $1700/2680 = 63\%$  pour le système B.

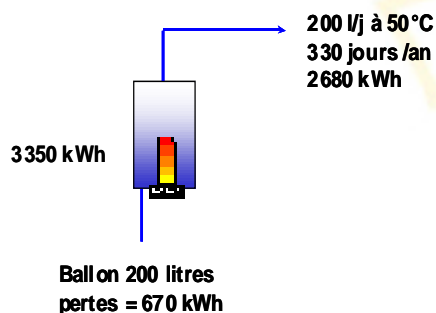
La production solaire utile n'est aisément mesurable que si l'appoint n'est pas intégré dans le ballon solaire. Dans le cas contraire, il faut évaluer précisément le système complet, en mesurant également l'appoint consommé. Considérons les deux chauffe-eau électro-solaires de l'exemple 2. Le volume total du ballon doit être plus important que dans l'exemple précédent, de manière à ce que le volume disponible pour l'appoint permette de couvrir les besoins, même en l'absence de soleil. Nous retiendrons dans l'exemple une valeur de 350 litres (200 litres pour l'appoint, 150 litres pour le solaire).



Dans les systèmes précédents, le **taux de couverture solaire** ne peut pas être précisément défini, puisqu'on ne connaît pas la proportion de pertes liées au solaire ou à l'appoint. Certains logiciels font alors une approximation en calculant le taux de couverture solaire par rapport aux énergies entrant dans le stockage. On aurait avec l'exemple précédent des valeurs de  $2600/(1870+2600) = 58\%$  pour le système C et  $2300/(1530+2300) = 60\%$  pour le système D.

Pour avoir une analyse correcte d'un projet solaire, les données présentées, ci-dessus, sont insuffisantes. La vraie question est : quelle économie le système solaire apporte-t-il par rapport à un système équivalent non solaire ?

Equivalent signifie ici : assurant le même service et utilisant la même énergie d'appoint. Considérons dans notre exemple le système de référence suivant :

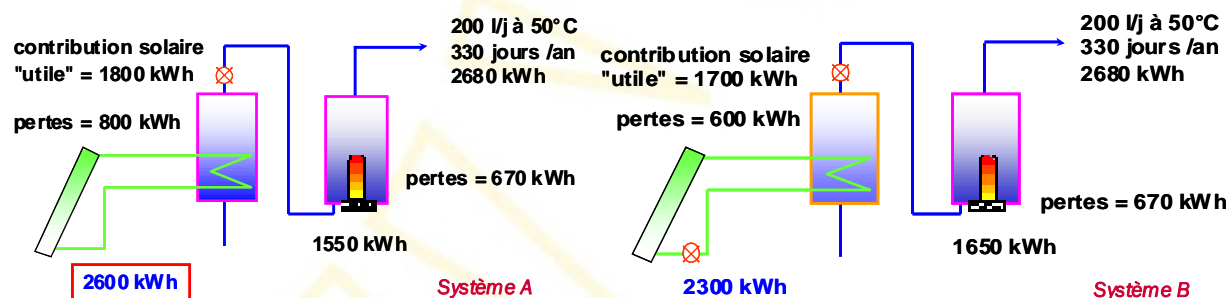


Pour fournir 200 litres par jour, un volume de stockage de 200 litres est suffisant. Les pertes thermiques du ballon sont donc en conséquence moins importantes.

L'**économie d'énergie** apportée par les projets solaires, qui finalement est le "bon" indicateur intéressant à la fois l'utilisateur (réduction de la facture énergétique) et la collectivité (réduction d'émissions polluantes ou de déchets radioactifs), vaut  $3350 - 1870 = 1480$  kWh pour le système C et  $3350 - 1530 = 1820$  kWh pour le système D, qui se révèle clairement plus performant.

Le **taux d'économie d'énergie** est obtenu en divisant l'économie d'énergie par la consommation de référence. On obtient pour notre exemple  $1480/3350 = 44\%$  pour le système C et  $1820/3350 = 54\%$  pour le

Si on revient à l'exemple 1, et qu'on introduit un chauffe-eau électrique en appoint, on constate que l'énergie solaire utile se traduit directement par une économie d'énergie d'appoint du même niveau, soit 1800 kWh pour le système A et 1700 kWh pour le système B.



Dans l'exemple 1, le **taux d'économie d'énergie** vaut  $1800/3350 = 54\%$  pour le système A et  $1700/3350 = 51\%$  pour le système B.

Une difficulté, quand on utilise les indicateurs **économie d'énergie** et **taux d'économie d'énergie**, réside dans le choix du système de référence auquel le système solaire est comparé. Autant les choses sont claires dans le cas d'un chauffe-eau solaire [norme prEN 12976-2], autant les choses sont complexes dans le cas de SSC, pour lesquels il n'existe pour l'instant pas de recommandations universellement admises. On pourra cependant se référer aux indications de la RT 2000, dont un arrêté décrit de manière assez exhaustive les systèmes de référence [arrêté du 29 novembre 2000, modifié par arrêtés du 9 novembre 2001 et 22 décembre 2003].

Les indicateurs **taux de couverture** et **taux d'économie** sont insuffisants pour caractériser correctement un système : en effet, un surdimensionnement de la surface de capteur conduira à des valeurs élevées, alors que l'intérêt économique du projet se trouve pénalisé. C'est pourquoi on introduit un autre indicateur : la **productivité** (en kWh/m<sup>2</sup>), définie comme une quantité d'énergie ramenée au m<sup>2</sup> de capteur solaire. A la lumière de ce qui a été expliqué plus haut, on constate que la productivité peut être calculée à différents niveaux, selon que la quantité d'énergie considérée est la **contribution solaire du capteur**, la **contribution solaire du système** ou l'**économie d'énergie**. Le tableau suivant donne les valeurs obtenues pour les exemples précédents :

| Unité : kWh/m <sup>2</sup>         |           | Système A | Système B |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| productivité du capteur solaire    | exemple 1 | 650       | 575       |
| productivité du système            | exemple 2 | 450       | 425       |
| productivité en énergie économisée | exemple 2 | 370       | 455       |

Quand on compare les résultats de mesures de différentes installations, il faut donc veiller à bien utiliser les mêmes indicateurs, et être précis sur la terminologie utilisée. De même, quand on utilise des logiciels différents, il faut avoir en tête les éléments précédents, afin de pouvoir analyser les chiffres fournis en toute connaissance de cause.

Dans les exemples précédents, nous avons considéré un appoint électrique, mais les principes présentés restent valables dans le cas d'un appoint apporté par un échangeur hydraulique alimenté par une chaudière gaz, fuel ou bois.

Thomas LETZ  
letz@ines-solaire.com