

CONCOURS INTERNE
de TECHNICIEN SUPERIEUR TERRITORIAL
spécialité "BÂTIMENT, GENIE CIVIL"

Mercredi 14 septembre 2005

**REDACTION D'UNE NOTE, EVENTUELLEMENT ASSORTIE DE PROPOSITIONS, ETABLIE A PARTIR
DE L'ANALYSE D'UN DOSSIER, TENANT COMPTE DU CONTEXTE TECHNIQUE, JURIDIQUE
OU FINANCIER LIE A CE DOSSIER.
CE DOSSIER PORTE SUR LA SPECIALITE CHOISIE PAR LE CANDIDAT.**

(durée : 3 heures ; coef. : 4)

Aucun signe distinctif (nom, prénom, signature, n° de convocation...) ne doit figurer sur les copies, sous peine d'annulation de la participation du candidat. Seuls la date du jour de l'épreuve et les éléments présentés dans l'énoncé du sujet peuvent être portés sur la copie.

Les feuilles de brouillon (de couleur) jointes aux copies par les candidats ne seront pas notées par les correcteurs.

Lorsque des renvois et annotations précisés sur un document ne sont pas joints au sujet, c'est qu'ils ne sont pas indispensables.

Si des valeurs sont exprimées dans la copie, elles doivent l'être en euros.

SUJET

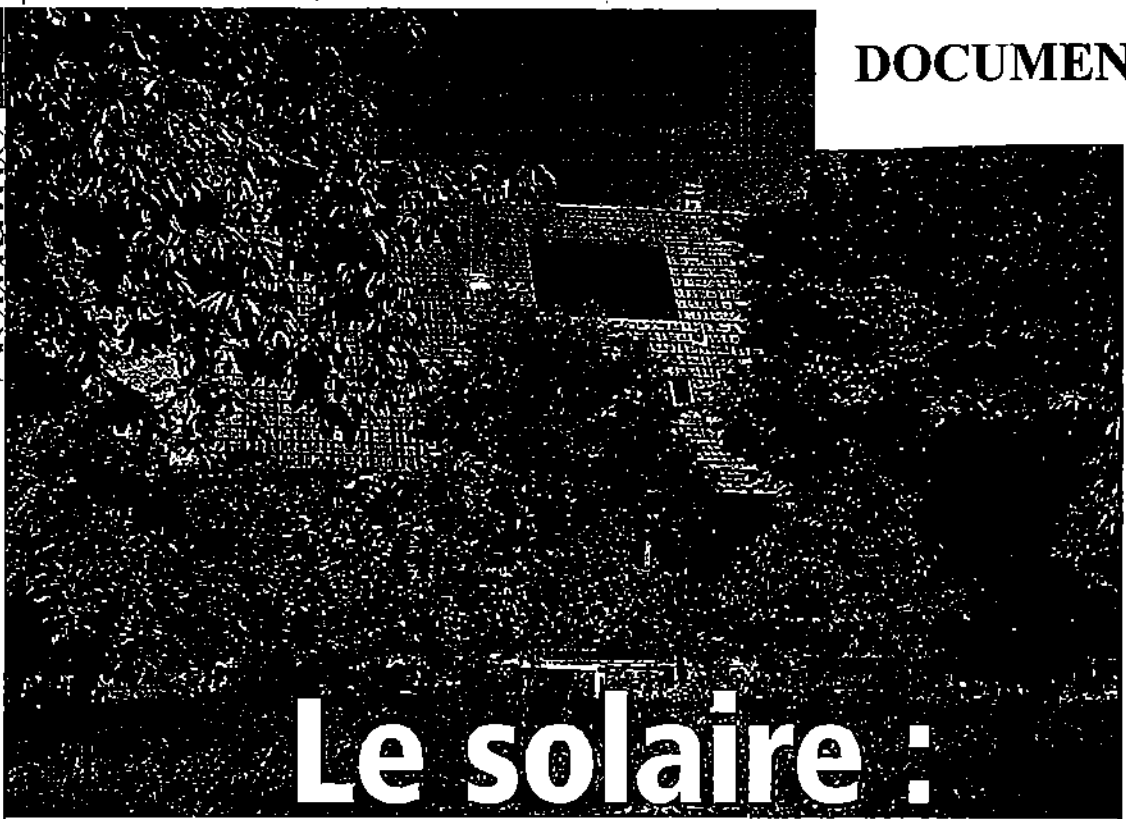
Vous êtes technicien supérieur territorial, responsable du service des bâtiments, au sein de la commune de BONVEN de 8 000 habitants. Le Maire projette de proposer au conseil municipal une série de mesures afin que la commune apporte sa contribution aux engagements de la France dans le cadre des accords de KYOTO.

Aussi, le Maire vous demande, dans une première partie, de rédiger, exclusivement à l'aide des éléments du dossier, une synthèse sur l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments, (12 points)

et, dans une seconde partie, de formuler des recommandations permettant aux élus de prendre des décisions en toute connaissance de cause pour développer l'utilisation de l'énergie solaire dans les bâtiments communaux. (8 points)

N. B. : le dossier comporte 8 documents.

<u>Document n°1 :</u>	Article sur " <i>Un marché pour préserver l'environnement</i> " paru dans Fil Pilote de mars 2003 (3 pages)	<i>Page n°3</i>
<u>Document n°2 :</u>	Article sur " <i>Les français et l'énergie</i> " paru dans Enerpresse - 03 novembre 2003 (2 pages)	<i>Page n°6</i>
<u>Document n°3 :</u>	Article sur " <i>Plan soleil : les enseignements des premiers résultats prometteurs</i> " paru dans la Revue de l'Energie de juillet/août 2003 (6 pages)	<i>Page n°8</i>
<u>Document n°4 :</u>	Article sur " <i>La filière photovoltaïque veut sortir de la marginalité</i> " paru dans Le Moniteur du 11 juin 2004 (2 pages)	<i>Page n°14</i>
<u>Document n°5 :</u>	Article sur " <i>Solaire thermique : se chauffer au soleil</i> " paru dans Le Moniteur du 11 juin 2004 (3 pages)	<i>Page n°16</i>
<u>Document n°6 :</u>	Article sur " <i>Solaire photovoltaïque : la lumière, source d'électricité</i> " paru dans Le Moniteur du 11 juin 2004 (2 pages)	<i>Page n°19</i>
<u>Document n°7 :</u>	Fiche pratique sur " <i>L'autorisation d'installer des capteurs solaires</i> " parue dans Le Moniteur du 11 juin 2004 (1 page)	<i>Page n°21</i>
<u>Document n°8 :</u>	Article sur " <i>Climatiser avec le soleil</i> " paru dans Le Moniteur du 11 juin 2003 (1 page)	<i>Page n°22</i>



Le solaire : un marché pour l'enviro

Lors du sommet de Kyoto, la France s'est engagée à lutter contre l'effet de serre. Conséquence directe, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) a mis en place le programme national d'amélioration

Primes, aides, TVA réduite et réduction d'impôt

L'Ademe attribue une prime à tout acquéreur d'un chauffe-eau solaire sous réserve qu'il soit certifié CSTBat et qu'il soit mentionné sur sa liste (consultable en ligne : www.ademe.fr). La mise en œuvre doit être réalsée par un installateur qui adhère à la charte de qualité Qualisol. Cette prime s'élève à 690 € pour un capteur de 2 à 3 m², à 920 € pour 3 à 5 m² et à 1 150 € pour 5 à 7 m². Ces aides seront dégressives, par périodes de deux à trois ans, jusqu'en 2006. Des aides régionales complémentaires peuvent être apportées par les collectivités territoriales (Conseil régional ou général) ou par EDF en Corse.

L'installation complète d'un chauffe-eau solaire bénéficie d'un taux de TVA réduit (5,5 %) pour les travaux réalisés sur des locaux d'habitation achevés depuis plus de deux ans, s'ils sont facturés par un professionnel. Sinon, le taux normal de TVA (19,6 %) s'applique.

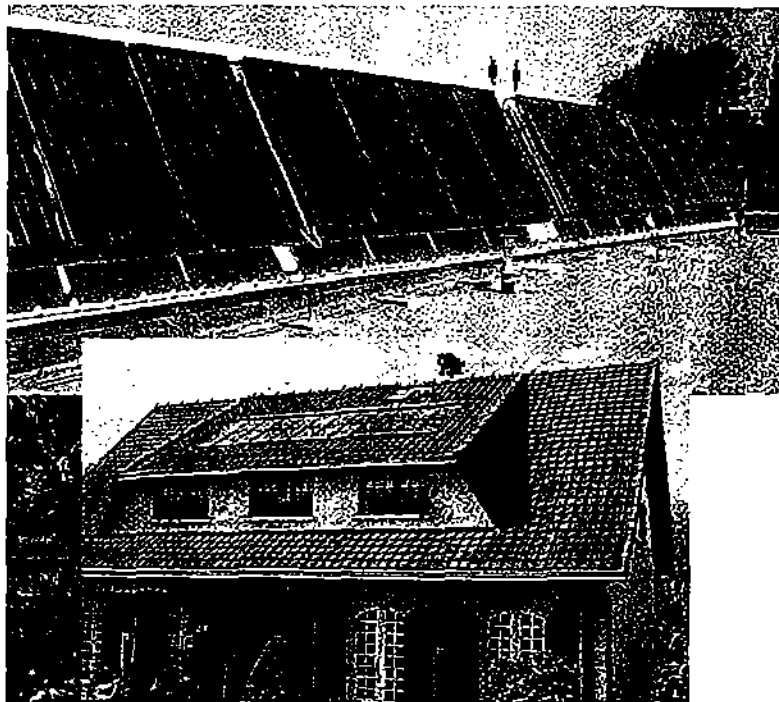
L'acquéreur bénéficie aussi d'un crédit d'impôt représentant 15 % du prix de l'équipement (pose non comprise) pour sa résidence principale. Le plafond est de 8 000 € pour un couple, auquel s'ajoutent 400 € par personne à charge, 500 € pour le deuxième enfant et 600 € à partir du troisième enfant.

En complément de ces aides, un prêt bonifié par EDF, spécifique aux installations labellisées par Promotelec avec chauffe-eau électrosolaires, devrait voir le jour dans le courant du deuxième trimestre 2003.

de l'efficacité énergétique. Couvrant la période 2000-2006, le Plan Soleil, qui figure au cœur de ce dispositif, encourage le recours à l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et pour le chauffage. Résultat : sur le territoire français et les Dom-Tom, 554 000 m² de capteurs solaires étaient opérationnels à la fin 2001. 85 % d'entre eux assurent la production d'eau chaude sanitaire (ECS) individuelle et collective dans le secteur résidentiel. Le reste correspond au chauffage des piscines de plein air. La quantité de chaleur produite annuellement par ces différents systèmes est évaluée à 208 GWh (400 kWh/m²/an), ce qui équivaut à la consommation annuelle de 65 000 ménages pour les usages spécifiques de l'électricité.

90 000 CESI* d'ici à 2006

La technique est au point : 70 % des besoins d'énergie peuvent être couverts par une installation solaire bien conçue. Comme la production d'ECS représente à elle seule jusqu'à 30 % de la facture énergétique d'un logement neuf, elle pourra donc baisser de 15 à 20 % avec un



préserv inement

chauffe-eau solaire. À l'horizon 2006, l'objectif est d'avoir installé 90 000 chauffe-eau électrosolaires individuels (CESI) et d'atteindre un rythme annuel de 30 000 unités, soit 120 000 m²/an de capteurs. « En 2002, 3 700 CESI ont été installés en France, ce qui est un peu inférieur aux prévisions. De grandes disparités géographiques expliquent ce relatif retard. S'il n'y a eu que 22 CESI installés en Ile-de-France, en revanche, six régions totalisent à elles seules 90 % du nombre total d'installations. D'où des "embouteillages" au niveau du service des autorités locales, chargé de l'examen des dossiers avant de verser leur abondement à la prime Ademe... En 2003, au moins 6 500 CESI devraient être installés en France », commente Richard Loyer, délégué général d'Enerplan.

En ce qui concerne les systèmes solaires combinés (production d'ECS et chauffage), l'objectif est d'arriver à un rythme de 500 systèmes par an d'ici à 2006. Pour l'eau chaude collective, on devrait atteindre 30 000 m² de capteurs par an, ce qui correspond à environ 15 000 logements. Pour

les soutenir dans cette démarche, l'Ademe verse des subventions aux maîtres d'ouvrage lors du pré-diagnostic solaire, de l'étude de faisabilité, puis des investissements réalisés dans le cadre de la Garantie de résultats solaires (GRS).

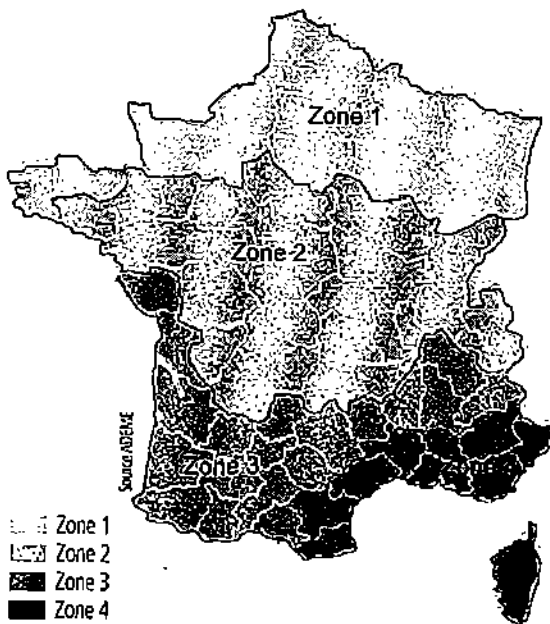
Signalons également que la France s'est engagée à porter sa production d'électricité d'origine renouvelable (toutes filières confondues) de 15 % (en 2000) à 21 % à l'horizon 2010. Essentiellement cantonné pour le moment aux zones non desservies par le réseau, le photovoltaïque est appelé à se généraliser et à se développer pour accompagner cette démarche. Son intégration au bâti (en façade et/ou en toiture), dès le stade de la conception architecturale, est l'une des pistes majeures de réflexion en la matière.

Un label Intégrant les CESI

Dès le mois de juin 2001, Promotelec prévoyait d'intégrer les CESI dans le cahier des prescriptions de son nouveau label dans l'habitat neuf. À partir de juillet 2002, les règles spécifiques à ces équipements étaient précisées. >

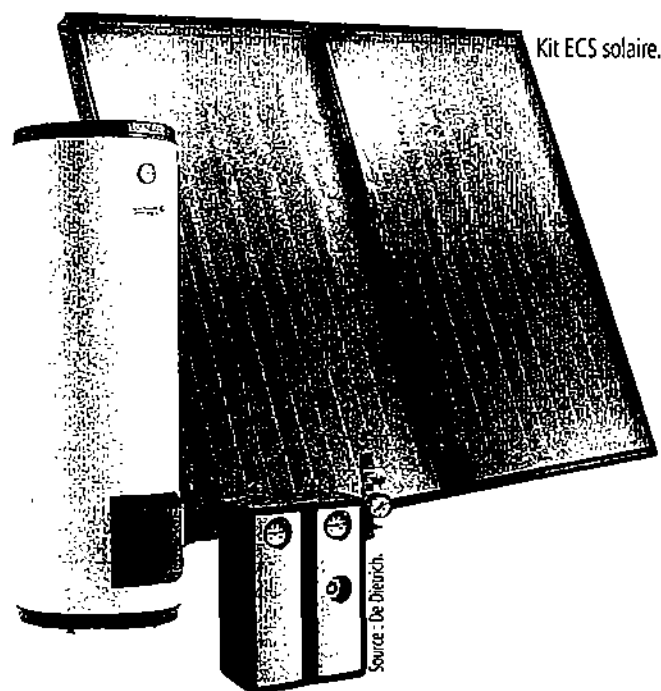
La France découpée en quatre zones

La France a été découpée en quatre zones climatiques, 1 à 4, dont "l'exposition énergétique" s'accroît du nord au sud. Les départements du littoral méditerranéen reçoivent 30 à 40 % de soleil en plus que ceux du nord, rendant ainsi leurs chauffe-eau solaires d'autant plus efficaces...



	Nombre d'occupants			
	1 ou 2	3 ou 4	5 ou 6	7 et plus
Volume du ballon solaire* (litres)	100 à 150	150 à 250	250 à 350	350 à 500
Volume total du ballon* (litres)	100 à 250	250 à 400	400 à 550	550 à 650
Zones climatiques (voir carte zones)	Surface des capteurs (m ²)			
1	2 à 3	3 à 5,5	4 à 7	5 à 7
2	2 à 3	2,5 à 4,5	3,5 à 6,5	4,5 à 7
3	2 à 2,5	2 à 4	3 à 5,5	3,5 à 7
4	2 à 2,5	2 à 3,5	2,5 à 4,5	3,5 à 6

a : pour un chauffe-eau solaire sans appoint
b : pour un chauffe-eau solaire avec appoint



Enerplan s'ouvre aux installateurs

Existant depuis 1983, l'association Enerplan regroupe les professionnels des énergies renouvelables (fabricants, sociétés d'ingénierie, etc.). « Elle élargit dorénavant son audience avec la création d'un collège de membres associés regroupant les installateurs. Ceux-ci bénéficieront d'actions de formation. Une charte de qualité est également prévue », précise Richard Loyer, son délégué général.

> Depuis le 1^{er} octobre 2002, les CESI répertoriés sur la liste émise par la commission d'homologation, à laquelle participent EDF, le CSTB, l'Ademe et Enerplan (consultable en ligne sur www.promotelec.com), s'inscrivent pleinement dans l'offre Vivrélec d'EDF. Les CESI ainsi retenus apportent suffisamment de confort et d'économie en fonction du type de logement. « Si la nouvelle version du Label Promotelec habitat neuf prend déjà en compte les installations mixtes électrosolaires pour la production d'eau chaude sanitaire, l'existant devrait prochainement suivre », précise Jack Jori de Promotelec. « Notre priorité est de ne jamais décevoir l'utilisateur. Il ne s'agit pas de vouloir faire du solaire à tout prix pour suivre un effet de mode. Les performances doivent être au rendez-vous et Promotelec confirme que l'installation pourra pleinement lui donner satisfaction »,

ajoute-t-il. La RT 2000 devrait aussi prendre en compte les CESI d'ici à la fin du premier trimestre 2003. Le moteur de calcul du CSTB sera adapté en conséquence.

* CESI : Chauffe-eau électrosolaire individuel

→ Contacts :

• Jack Jori ou Fabrice Auvinet, Promotelec
e-mail : jack.jori@promotelec.com
ou fabrice.auvinet@promotelec.com

• Ademe
Centre de Sophia-Antipolis
500, route des Lucioles - 06560 Valbonne
Tél. : 04 93 95 79 00

• Enerplan
Richard Loyer, délégué général
2^{ème}, avenue de la Libération
13120 Gardanne
Tél. : 06 19 28 54 10
Fax : 04 94 32 71 40
e-mail : enerplan@wanadoo.fr

• CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment)
4, avenue du Recteur Poincaré
75782 Paris Cedex 16
Tél. : 01 40 50 28 28 - Fax : 01 45 25 61 51
e-mail : informations@cstb.fr - www.cstb.fr

Exemples d'utilisation de l'énergie solaire

Le capteur vitré

Le capteur se compose d'une plaque et de tubes métalliques noirs qui, derrière un vitrage, absorbent l'énergie solaire. Réchauffé dans les tubes qu'il parcourt, un liquide caloporteur (eau + antigel) véhicule les calories jusqu'au ballon de stockage. En traversant le serpentin de l'échangeur thermique, le liquide cède sa chaleur à l'eau chaude sanitaire. Selon la zone climatique, la couverture solaire des besoins annuels en eau chaude sanitaire est de 40 à 60 % dans le nord de la France et de 60 à 80 % dans le sud. Le reste est fourni par un appoint électrique avec une résistance en position centrale ou au tiers supérieur. Sa position définit la capacité nominale du ballon (respectivement 1/2 solaire - 1/2 électrique ou 1/3 électrique - 2/3 solaire). Un dispositif d'asservissement heures pleines/heures creuses complète les ballons à résistance centrale. Les calculs reposent sur une consommation journalière par personne de 50 à 60 l d'eau chaude à 45 °C (pour une couverture solaire annuelle des besoins de 50 à 70 %). Attention ! Le surdimensionnement de l'installation pour viser un fort degré d'autonomie à la mauvaise saison est contre-indiqué car, l'été, la production du chauffe-eau solaire dépasserait alors les besoins effectifs.

Le combiné (ECS + chauffage)

Une installation solaire combinée (ECS + chauffage) possède un second ballon, muni de deux échangeurs : un qui est alimenté par les capteurs solaires, l'autre par un générateur d'appoint (pompe à chaleur, par exemple). Dans certains cas, le ballon d'ECS est incorporé dans le ballon tampon de chauffage, ce qui limite d'autant les déperditions. Le ballon tampon alimente un circuit de chauffage comportant des radiateurs, un plancher chauffant ou les deux (avec des régimes de température différents).

Le panneau photovoltaïque

Le plus souvent à base de silicium, les cellules solaires photovoltaïques convertissent directement la lumière du soleil en électricité. Pour obtenir une puissance suffisante, ces cellules sont reliées entre elles pour composer un module (ou panneau) solaire. L'électricité ainsi produite est stockée dans une batterie d'accumulateurs pour ensuite être délivrée, en fonction de la demande, en courant continu, en courant alternatif ou les deux simultanément grâce à un onduleur. Si l'électricité photovoltaïque produite est supérieure aux besoins en électricité de l'habitation, le surplus est injecté dans le réseau et racheté par EDF. Dans le cas contraire, le complément est fourni par le réseau (si l'installation y est raccordée). Des équipements peu voraces en énergie (réfrigérateur de type A, machines à laver sans chauffage, lampes fluocompactes, etc.) sont classiquement associés aux panneaux solaires. Des progrès sont encore attendus au niveau du rendement de conversion de l'énergie lumineuse en électricité, de la diminution du coût de fabrication des panneaux et de la réduction du coût du stockage de l'énergie.

Les Français et l'énergie

Peu sollicités, jamais écoutés, les Français ont pourtant des souhaits à formuler sur la future politique énergétique, mais aussi beaucoup de choses à apprendre. C'est ce que révèle un sondage réalisé l'an dernier, avant le lancement du débat national sur les énergies.



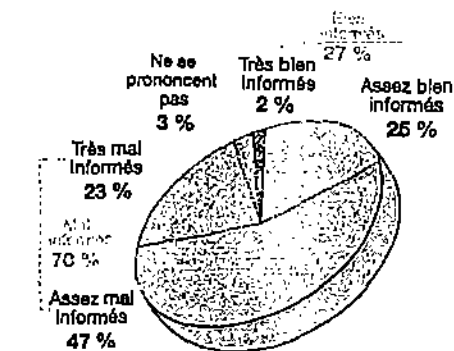
© Studio Blanc

Qu'on se le dise dans les cabinets ministériels et les cénacles d'experts : l'énergie intéresse la France d'en bas. Oh, bien sûr, ce n'est pas le sujet chaud de cet automne. Mais dans le sondage réalisé pour le compte du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie à l'automne 2002, peu avant le lancement du débat national sur les énergies, 51 % de nos concitoyens se sont déclarés intéressés « personnellement » par les questions énergétiques. Pas si mal à une époque où le prix de l'essence n'était pas susceptible de grimper ni les centrales nucléaires de s'arrêter faute d'eau pour les refroidir. Et les Français a du mérite de s'intéresser à un sujet sur lequel il est bien mal informé : 70 % des personnes interrogées s'estiment dans cette situation. Mauvais point pour

nous, journalistes, mais aussi pour le gouvernement, qui a souvent du mal à manier la concertation. Cela étant, ce n'est pas parce que l'on s'estime mal informé que l'on a forcément envie d'en savoir plus. Seuls 53 % des sondés souhaitent disposer de « beaucoup plus » d'informations sur l'énergie.

Les « gueules noires » pas mortes
Ce qui ne serait pourtant pas un luxe. D'accord, 59 % des sondés savent que l'électricité est la première énergie utilisée en France. Mieux, sept Français sur dix connaissent l'origine largement nucléaire des électrons consommés dans l'Hexagone. En revanche, personne ne sait vraiment d'où proviennent les ressources que nous importons. Bon nombre de Français imaginent qu'une bonne part du pétrole envoyé dans nos raffineries est extrait dans le sous-sol national : le mythe des « gueules noires » n'est pas mort, et l'on ignore que le charbon de nos centrales et chaufferies industrielles provient plus sûrement d'Afrique du Sud, de Pologne ou d'Australie que des mines de Lorraine. Quant au gaz naturel, Lacq supplante toujours dans l'imaginaire collectif la mer du Nord, l'Algérie ou le Qatar.

**L'énergie propre
ne doit pas
coûter trop cher**



70 % des Français ne se sentent pas suffisamment informés sur les questions liées à l'énergie en France, seul un quart d'entre eux estiment le contraire. (Source : Politique économique, n° 246, février 2003).

Gare au manque de vent
Car un Français sur deux craint de voir tarir les gisements d'énergie solaire, éolienne, nucléaire, hydraulique. Même la biomasse est menacée. Les sondés ne savent que très approximativement « qui consomme quoi ». L'industrie est perçue comme le secteur le plus énergivore, devant les transports, la consommation domestique et les services. Un quart en total désordre, le résidentiel et le tertiaire étant les plus gros consommateurs d'énergie, devant les transports, l'industrie et l'agriculture. Connus, l'impact climatique de nos consommations d'énergie est mal évalué. Si l'usage de la voiture ou le transport routier figurent

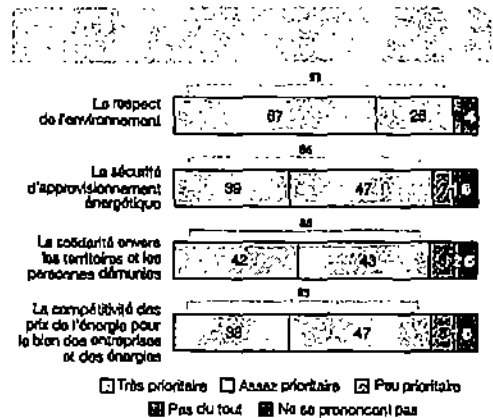
un choix de société

en tête (derrière la déforestation, il est vrai) des « causes possibles du risque de changement climatique », les centrales nucléaires, les ondes électromagnétiques, l'exploration spatiale figurent aussi en bonne place.

L'environnement d'abord

Cela explique sans doute les priorités que les personnes interrogées posent pour la future politique énergétique française. Elle devra respecter l'environnement, maintenir une solidarité entre les territoires, sécuriser ses approvisionnements et fournir l'énergie à un prix abordable. Et pour ce faire, 49 % des Français estiment nécessaire « un rééquilibrage de la production d'électricité entre le nucléaire et les autres formes d'énergie, quitte à payer son électricité plus cher ». À condition, tout de même, que le surcoût ne soit pas trop élevé. Pas question pour la majorité de payer plus de 2 % en plus pour l'énergie verte. En général, on préfère (à 63 %) « se sentir concerné » par les économies d'énergie. Une « chasse au Gaspi » que l'on pourrait mener en achetant une voiture moins gourmande, que l'on emprunterait moins fréquemment, ou en isolant mieux son logement. Bref, si, sur les grands dossiers, les Français se sentent mal armés pour le débat, ils sont prêts à consentir certains efforts dans leur vie quotidienne.

Valéry Laramée de Tennenberg



- Aménagés à juger les quatre grands objectifs de la politique énergétique de leur pays, les Français les considèrent tous prioritaires mais seul le respect de l'environnement recueille une majorité de réponses sur l'item « très prioritaire » (67 %).
- La sécurité d'approvisionnement, la solidarité envers les territoires et la compétitivité des prix de l'énergie ne sont considérées comme « très prioritaires » que par environ quatre Français sur dix. (Source : *Politique économique*, n° 246, février 2003).

Selon certaines analyses de cycle de vie, la production d'électricité par l'énergie nucléaire émet autant de carbone qu'avec les éoliennes.



© Framalome ANP / Centrale nucléaire de Tricastin

Le nucléaire, bon élève de la classe carbone

Le courant nucléaire n'est que marginalement un émetteur de gaz à effet de serre (GES). Lorsqu'une centrale au charbon produit un kWh, elle rejette environ un kilo de gaz carbonique, moitié moins si c'est une centrale au gaz. Un réacteur nucléaire, quant à lui, rejettera six grammes de CO₂ seulement. Pas plus qu'une éolienne ou qu'un barrage hydroélectrique. Résultat, comme l'indique l'étude « Changement climatique et électricité 2002 », réalisée par *Enerpresse* et PricewaterhouseCoopers, EDF a produit, en 2001, 477 TWh en émettant 17,5 millions de tonnes de CO₂. La même année, son grand rival allemand RWE a produit 149 TWh, en rejetant dans l'atmosphère 105 millions de tonnes de dioxyde de carbone.

PLAN SOLEIL : LES ENSEIGNEMENTS DES PREMIERS RÉSULTATS PROMETTEURS

par JEAN-LOUIS BAL

Directeur adjoint du bâtiment et des énergies renouvelables - Ademe

La chaleur à basse température représente le premier besoin énergétique français en quantité, 33 % de l'énergie finale consommée et est responsable d'environ 20 % des émissions de gaz carbonique de notre pays. Ce sont des usages qui peuvent être facilement satisfaits par une bonne conception architecturale et par une valorisation des énergies locales et renouvelables comme le bois, le solaire thermique et la géothermie. Constatant la faiblesse du marché spontané des technologies solaires, à l'exception des DOM et TOM, le ministère de l'Industrie a demandé en 1999 à l'ADEME de lancer un programme de développement, le Plan Soleil, avec comme objectif principal de créer une filière industrielle et commerciale capable de proposer au secteur du bâtiment des produits et services performants, compétitifs et fiables. Après 3 années de fonctionnement, le bilan établi par l'ADEME, ses partenaires territoriaux et professionnels se révèle positif. Le marché se développe et les procédures de qualité mises en œuvre assurent aux usagers un service à la hauteur de leurs attentes. Ce développement du marché n'est toutefois pas encore du même niveau que celui des autres pays européens et les prix restent encore trop élevés. Cependant, des opérations récentes menées dans l'habitat neuf ont permis des réductions de coût de l'ordre de 30 %. Le secteur de l'habitat neuf groupé devrait être dans les prochaines années la cible prioritaire du programme. Dans le cadre du débat national sur les énergies, l'ADEME propose comme objectif 2010 d'atteindre un marché annuel d'un million de m² de capteurs solaires, ce qui supposerait une évolution des mécanismes d'incitation financière.

En 1999, le ministère de l'Industrie chargeait l'ADEME de concevoir et conduire un programme de développement des applications thermiques de l'énergie solaire dans les bâtiments, tant dans le secteur tertiaire que dans celui de l'habitat. Initialement baptisé Helios 2006, il a rapidement été désigné sous le vocable Plan Soleil. À l'issue de ses trois premières années pleines (2000-2002), il est possible et souhaitable d'en tirer un premier bilan et d'étudier les perspectives ouvertes.

POURQUOI UN PLAN SOLEIL ?

Si l'on analyse la consommation d'énergie finale en France, on peut faire les constats suivants :

— la consommation d'énergie finale était en 2001 de 158 Mtep, la différence entre consommation d'énergie primaire, 267 Mtep, et consommation d'énergie finale s'expliquant par les usages non énergétiques (chimie) du pétrole et du gaz (16 Mtep) et par le rendement global du système énergétique qui tient compte notamment du rendement de conversion de l'énergie primaire en électricité, des consommations du secteur du raffinage et des diverses pertes de transport ;

— les secteurs résidentiel et tertiaire consomment 67 Mtep, dont 48 Mtep pour le chauffage de locaux et 4 Mtep pour le chauffage de l'eau sanitaire, soit 52 Mtep pour des usages thermiques à basse température, 3 Mtep pour la cuisson, 12 Mtep (140 TWh) pour les usages spécifiques de l'électricité ;

— le secteur de l'industrie consomme 38 Mtep dont 26 Mtep de combustibles (charbon, produits pétroliers, gaz et bois) et 12 Mtep (140 TWh) d'électricité ;

— le secteur des transports consomme 50 Mtep de produits pétroliers et 0,9 Mtep (10 TWh) d'électricité.

À la lecture de ces chiffres, un premier constat apparaît clairement : la chaleur à

basse température s'avère le premier besoin énergétique en quantité (33 %) de la société française. C'est aussi l'usage qui est le plus facilement satisfait par l'utilisation des EnR et qui est le plus à portée de maîtrise des consommations par le citoyen. On redécouvre à cette occasion tout l'intérêt de la bonne conception de l'architecture et de la construction ainsi que de la valorisation des énergies locales (bois, solaire et géothermie) pour lesquelles des technologies parfaitement maîtrisées sont disponibles: chaudières bois, planchers solaires et pompes à chaleur géothermiques. Ce constat est d'autant plus important que ces besoins de chaleur basse température sont liés aux secteurs résidentiel et tertiaire qui sont, après les transports, les deuxièmes contributeurs aux émissions françaises de gaz à effet de serre, environ 22 % des 544 millions de tonnes d'équivalent CO₂ et que les émissions de ces secteurs sont en progression.

Cela doit s'intégrer dans une démarche globale de proposition des technologies performantes dans l'habitat: un logement neuf bénéficiant des concepts et produits actuels de l'architecture climatique (dite aussi solaire passif, optimisation des surfaces vitrées, de leur orientation et de leur occultation en fonction des besoins, utilisation de l'inertie thermique du bâti, de la circulation d'air naturelle, isolation renforcée etc.) ainsi que des apports de systèmes solaires actifs (eau chaude et chauffage de l'habitat) peut voir ses besoins thermiques réduits à 20 kWh/m² de surface au sol-an (moyenne européenne) contre 80 kWh/m²-an pour un logement neuf respectant la réglementation thermique 2000, 182 kWh/m²-an pour la moyenne des logements français en 1997 et 320 kWh/m² en 1975. En réhabilitant des logements anciens avec les mêmes produits et services, il est possible de ramener leur consommation à 50 kWh/m²-an. Il est donc techniquement et économiquement

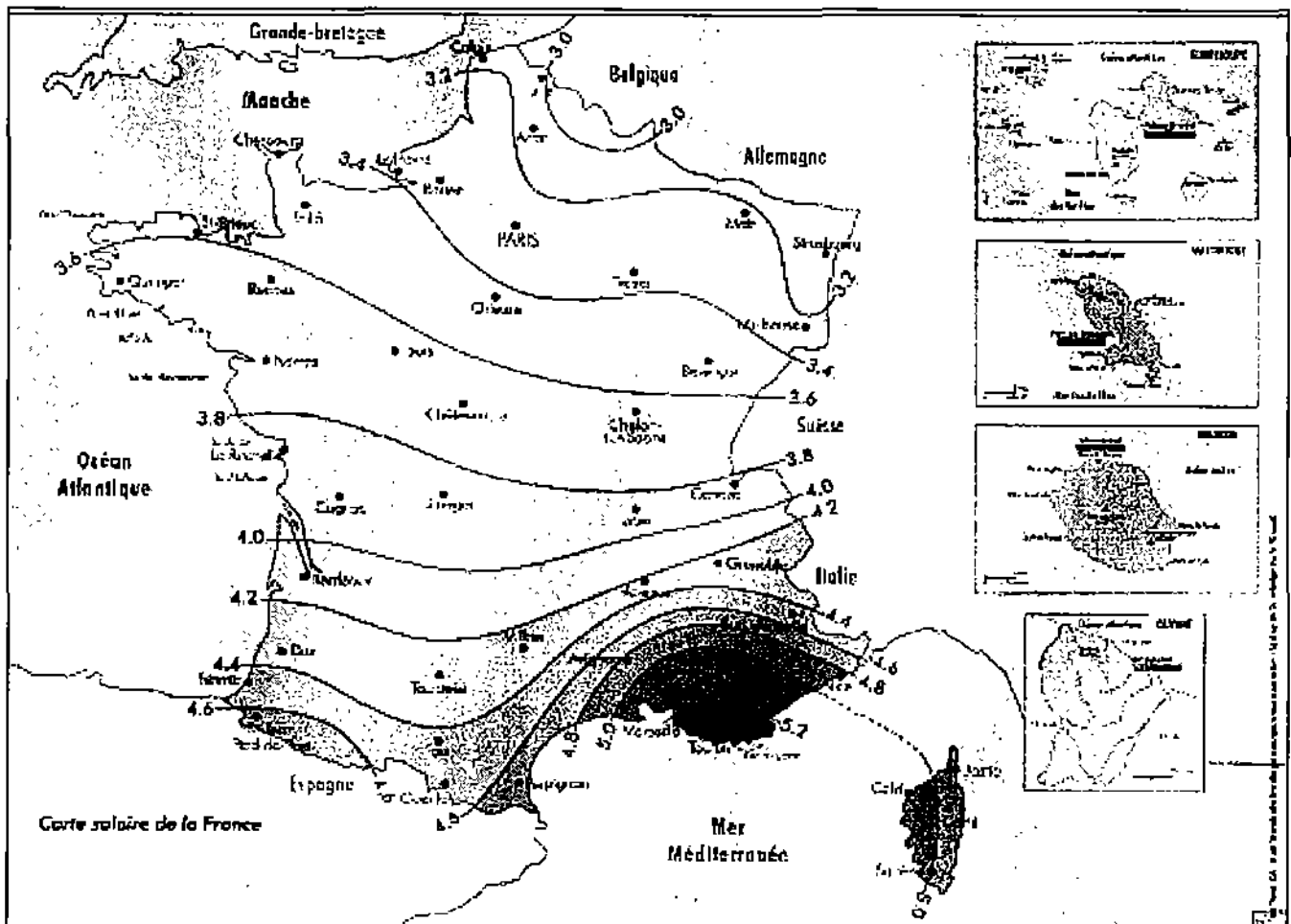
possible de diviser la consommation totale du secteur du logement d'un facteur 4 dans l'existant et dans le neuf. Il en est de même pour le secteur du bâtiment tertiaire.

(Pour rappel, il se construit environ 300 000 logements par an en France, dont les deux tiers en habitat individuel).

LE CONTEXTE FRANÇAIS EN 1999

L'utilisation directe du rayonnement solaire peut viser, dans les conditions climatiques françaises, au chauffage de l'eau sanitaire et au chauffage de l'habitat. Le bon ensoleillement du territoire, y compris dans le nord du pays (encadrés 1 et 2) permet de couvrir de 40 à 70 % des besoins cumulés en eau chaude sanitaire et en chauffage. L'application la plus simple est celle du chauffe-eau solaire sur des applications indi-

ENCADRÉ I - Gisement solaire



ENCADRÉ 2 - Performances des CESI en France

Les performances indiquées dans le tableau suivant correspondent à des besoins journaliers de 250 l/j à 45°C. Le CESI est à éléments séparés et circulation forcée. Les capteurs sont orientés plein sud et incliné à 45° par rapport à l'horizontale.

Stations	Surface capteurs [m ²]	Taux de couverture [%]	Productivité [kWh/m ² .an]
Lille	5,7	62	410
Abbeville	5,7	63	414
Paris	5,3	65	445
Rennes	4,9	63	469
Strasbourg	5,3	62	428
Lyon	4,5	63	503
Montélimar	3,7	64	617
Bordeaux	4,1	63	545
Marseille	3,2	66	675

Source : CLIPSOL - Campagne de mesures

viuelles ou collectives. Une extension à l'application au chauffage nécessite de passer par des émetteurs de chaleur à basse température qui favorisent un bon rendement des capteurs solaires, tels qu'un plancher chauffant, et est donc plus difficile à mettre en œuvre sur l'habitat existant.

Hormis les DOM et les TOM, où plus de 10.000 chauffe-eau solaires individuels (CESI), la plupart sans appoint, étaient installés chaque année, le marché français était pratiquement inexistant fin 1999 : une centaine de CESI par an, 2 à 3 installations collectives (1.000 m² de capteurs) et environ 70 installations de chauffage combiné de l'habitat et de l'eau sanitaire en 1999, soit environ 2.500 m² de capteurs solaires au total. La même année, il s'en installait plus de 600.000 m² en Allemagne.

Au plan industriel, deux fabricants français existent depuis plus d'une vingtaine d'années, et sont performants. L'un, Jacques Giordano Industries, s'est développé grâce au marché de l'eau chaude solaire dans les DOM et à l'exportation de capteurs. L'autre, Clipsol, a mis au point, d'abord seul, ensuite avec le soutien de l'ADEME, une technologie innovante : - celle du « PSD » (Plancher Solaire Direct) - qui valorise les calories solaires dans un plancher chauffant basse température (< 30 °C) et utilise l'inertie de ce

plancher chauffant comme stockage de l'énergie. Très performante, cette technologie est applicable à l'habitat neuf ou à des rénovations lourdes permettant l'installation d'un plancher chauffant adapté.

QUELS OBJECTIFS?

Quels que soient les mérites de ces industriels, leur offre est bien entendu insuffisante pour relever le défi d'un développement du marché à la hauteur des enjeux énergétiques et environnementaux : l'offre de matériels devait être étendue et l'offre de services, ingénierie et installation, devait quasiment être créée : une dizaine d'installateurs de chauffe-eau solaires existaient début 2000 et un seul bureau d'études compétent méritait d'être mentionné.

Afin d'assurer aux usagers un service de qualité et des performances à la hauteur de leurs attentes, l'ADEME a défini, d'une part, une charte de qualité dénommée Qualisol, à l'intention des installateurs et, d'autre part, des critères techniques stricts de sélection des matériels portant sur l'ensemble du système, de ses performances et de sa fiabilité.

Pour aboutir à un large déploiement des technologies solaires, il fallait également

réduire sensiblement le prix qui, sans subventions ou avantages fiscaux, ne permettait pas un amortissement de l'investissement.

L'objectif principal était donc de donner au solaire thermique tous les atouts pour être intégré par les acteurs du bâtiment dans leur pratique quotidienne (architectes, lotisseurs, constructeurs de maisons individuelles, maîtres d'ouvrage sociaux, etc.) et par les organismes financiers.

LES PRODUITS

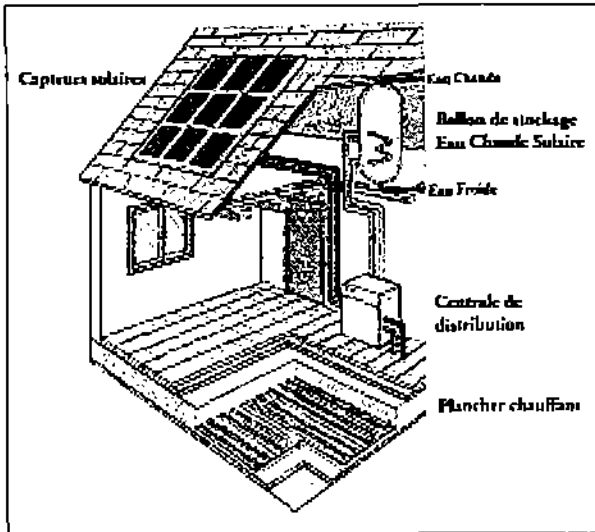
Le Chauffe Eau Solaire Individuel (CESI)

Un chauffe-eau solaire destiné à une famille-type de quatre personnes est composé de 4 m² de capteurs solaires et d'un accumulateur d'eau chaude de 200 l. Il coûte actuellement de l'ordre de 3 à 5000 € TTC installé. Ce prix devrait pouvoir descendre en dessous de 2 300 € dans le logement neuf lorsque le marché aura atteint un niveau suffisant, de l'ordre de 40 à 50 000 CESI installés par an. Ce chauffe-eau couvre par énergie solaire de 40 à 70 % des besoins annuels suivant la zone climatique, avec une productivité énergétique comprise entre 400 et 650 kWh thermiques/an.m² de capteurs.

Les Systèmes Solaires Combinés (SSC)

Les capteurs solaires peuvent aussi servir à chauffer l'habitat. La technique la plus connue en France est celle du plancher solaire direct (PSD) où l'eau chauffée en toiture par les capteurs circule ensuite dans les tuyauteries d'un plancher chauffant. L'inertie du plancher permet de stocker et restituer à l'habitat les calories solaires avec un décalage de plusieurs heures, c'est-à-dire en soirée, moment où les besoins en chauffage sont les plus élevés. En été, les capteurs sont affectés

ENCADRÉ 3 - Plancher Solaire Direct



ENCADRÉ 4 - Le PSD : des performances avérées

- Projet européen Thermie : 75 maisons neuves équipées de PSD
- Surface de capteur installée : 709 m²
- Surface de plancher chauffant de 4878 m² (soit 1.5 m² de capteur pour 10 m² de plancher)
- Campagne de mesures sur 2 ans
- Besoins totaux de chauffage : 435 237 kWh
141 634 kWh fournis par le solaire
- Taux de couverture des besoins de chauffage de 33 %
- Besoins totaux d'ECS : 281 361 kWh
189 366 kWh fournis par le solaire
- Taux de couverture des besoins en ECS de 67 %
- Besoins totaux de chauffage et d'ECS : 716 598 kWh
331 000 kWh fournis par le solaire
- Taux de couverture des besoins thermiques totaux de 46 %

Source : Clipsol

au seul chauffage de l'eau sanitaire. Un PSD, pour une maison mono-familiale moyenne, comporte entre 10 et 20 m² de capteurs solaires. Son surcoût, par rapport à une installation de chauffage à combustible fossile, est de l'ordre de 10 à 15 000 € et devrait pouvoir être ramené à 6 à 7 000 € dans les prochaines années avec le développement du marché et les efforts de R&D qui seront soutenus par l'ADEME. Le taux de couverture des besoins thermiques par l'énergie solaire

est de l'ordre de 50 % en moyenne sur des installations bien conçues et bien dimensionnées avec des variations suivant les zones climatiques, et une productivité énergétique comprise entre 350 et 500 kWh/an.m². (encadrés 3 et 4).

L'eau chaude solaire en Garantie de Résultats Solaires (GRS)

Le concept de Garantie de Résultats Solaires (GRS) consiste en une garantie, en quantité annuelle en fonction des besoins, de la fourniture de kWh solaires. Le client est remboursé de l'éventuel manque à gagner par le consortium concepteur-installateur-fournisseur si les performances garanties ne sont pas atteintes. Le résultat garanti est calculé en fonction des données d'ensoleillement et de la consommation d'eau chaude prévue. C'est ce dernier facteur qui est le plus sujet à caution. Il est très souvent surévalué, ce qui entraîne un surdimensionnement de l'installation solaire et, partant, un gaspillage de l'énergie solaire captée. L'énergie solaire rayonnée varie, quant à elle, très peu d'une année à l'autre même si la variation peut être élevée d'un mois à l'autre (encadré 5).

LES MOYENS MIS EN ŒUVRE

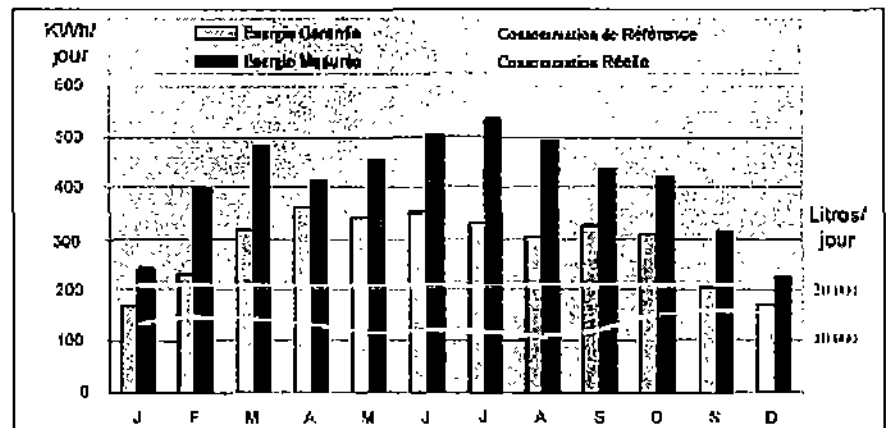
Le programme dénommé Plan Soleil s'est en premier lieu inscrit dans un partenariat avec les conseils régionaux au travers des Contrats de Plan État Région (CPER), auxquels sont venus s'ajouter des partenariats avec certains conseils généraux, ainsi qu'avec les secteurs professionnels du solaire thermique et du bâtiment.

Ce programme s'est traduit par :

- l'attribution de primes et de financements incitatifs à l'acquisition d'équipements solaires, apportés en partenariat avec la totalité des conseils régionaux et certains conseils généraux ; ces primes sont renforcées dans le secteur de l'habitat individuel par un crédit d'impôt et par la TVA à 5,5 % dans l'habitat existant ;
- la mise en œuvre d'un dispositif de qualification solaire des installateurs, à travers la charte de qualité QUALISOL ;
- la sélection de matériels innovants et de qualité proposés par les industriels ;
- des opérations de sensibilisation des maîtres d'ouvrages et des prescripteurs ;
- des formations pour les installateurs et les donneurs d'ordre (architectes, bureaux d'études) ;

ENCADRÉ 5 - Centre de Valmante

Bilan 1998 - Surface de capteurs 246 m² - Production annuelle 149 744 kWh soit 609 kWh/m²



Source : Tecsol

ENCADRÉ 6 - Installateurs Qualisol en avril 2003

• la mise en œuvre, depuis 2000, d'une campagne de communication de cohérence nationale, mais toujours régionalisée, à la fois citoyenne et « produit » (renvoi vers le numéro vert : 0 800 310 311).

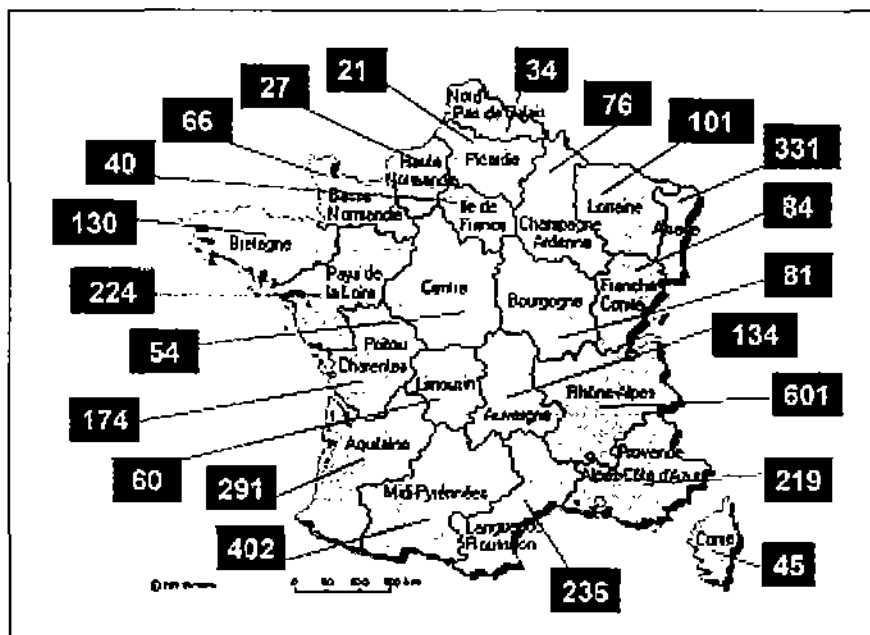
LES RÉSULTATS FIN 2002

Les résultats sont de plusieurs ordres : surface de capteurs solaires installés, évolution des prix, installateurs adhérents à la charte Qualisol, fabricants ou importateurs dont les matériels ont été sélectionnés et sont éligibles aux primes.

L'évolution du marché a été la suivante (voir tableau 1).

Ce résultat peut être considéré comme bon en métropole et très bon en DOM-TOM. Il est cependant encore insuffisant pour entraîner le cercle vertueux de la baisse des prix et du développement du marché.

Les prix constatés ont évolué dans le sens d'une baisse sensible mais encore insuffisante : l'objectif affiché était de réduire les prix installés à 550 €/m² en 2006 pour les CESI et l'évolution constatée a été de 960 €/m² en 2000 (marché annuel de 800 CESI) et de 883 €/m² en 2002 (marché annuel de 3 800 CESI). Une opération de 54 CESI sur un groupement d'habitations neuves a toutefois permis d'atteindre un prix installé de 655 €/m². Cette opération indique probablement la cible à suivre pour le futur : le logement neuf, de préférence groupé, car les coûts d'installation et



de commercialisation s'en trouvent considérablement réduits. Dans le collectif/tertiaire, on constate également une sensible diminution des prix mais les évaluations sont encore en cours.

Les installateurs Qualisol sont passés de 500 en fin 2000 à 3431 en avril 2003, (encadré 6). Leur nombre n'est toutefois pas le seul critère de réussite du programme. Des audits menés auprès des usagers montrent que leur travail est généralement de bonne qualité, en cohérence avec les engagements de la charte. En revanche, les statistiques montrent que moins de la moitié des installateurs sont réellement actifs sur le marché du solaire. Il faut toutefois se garder de tirer des conclusions hâtives de ce faible pourcentage : le Plan Soleil est jeune et un installateur de chauffage ou de plomberie

ne s'improvise pas vendeur et installateur de chauffe-eau solaires du jour au lendemain. L'ADEME se garde toutefois la possibilité de retirer l'adhésion à Qualisol aux installateurs inactifs ou ne respectant pas les engagements.

Les opérateurs éligibles, fabricants ou importateurs de systèmes sélectionnés par le comité technique mis en place par l'ADEME, sont maintenant au nombre de 24 pour les CESI et de 6 pour les SSC.

L'ADEME a, par ailleurs, lancé deux programmes de suivi instrumenté des performances thermiques des CESI et SSC. Ils portent sur 120 CESI et 42 SSC et les mesures faites sur deux années complètes (2003 - 2004) permettront d'évaluer les performances de ces systèmes en utilisation réelle par l'utilisateur. Actuellement, les mesures de performances réelles sur site n'ont été réalisées que par des fabricants et, dans le cas particulier des SSC, que pour le seul produit PSD. Il est donc essentiel pour le futur de disposer de données établies par un organisme comme l'ADEME, garant de l'objectivité, sur l'échantillon le plus large possible des produits mis sur le marché.

TABLEAU 1

		2000	2001	2002
Métropole	Surface totale installée (m ² /an)	6 350	17 650	23 400
	CESI	50 %	67 %	64 %
	SSC	26 %	19 %	17 %
DOM-TOM	Habitat collectif et tertiaire	24 %	14 %	19 %
	Surface totale installée (m ² /an)	24 056	32 354	40 526
Total France		30 406	50 004	63 926

LES PERSPECTIVES

Quel est le scénario de croissance possible pour le marché du solaire thermique en fonction de la maturité du marché, de ses acteurs et des objectifs à court et long termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre?

On retiendra les hypothèses suivantes:

CESI: taille moyenne = 5 m²

Prix dans le neuf: 3 000 €

Prix dans l'ancien: 4 500 €

Aides publiques totales actuelles (ADEME, Régions, crédit d'impôt): 2 075 €

SSC: taille moyenne = 12 m²

Prix (neuf ou ancien): 9 600 €

Aides publiques totales (ADEME, Régions, crédit d'impôt): 3 320 €

Collectif/tertiaire:

Prix (neuf ou ancien): 800 €/m²

Aides publiques totales (ADEME, Régions): 500 €/m²

À partir de 2006, le CESI est intégré au logement de référence dans la réglementation thermique (RT 2005), ce qui signifie que le futur propriétaire, s'il ne veut pas installer de chauffe-eau solaire, doit réaliser un investissement supplémentaire par rapport à la réglementation induisant une économie d'énergie équivalente à celle du CESI. À partir de cette date, son installation n'est donc plus aidée dans l'habitat neuf (ni sub-

vention, ni crédit d'impôt). Cet arrêt des aides au CESI dans l'habitat neuf pourrait être progressif afin de ne pas provoquer un désintérêt subit des usagers.

À partir de 2011, ce sera le cas du SSC (RT 2010).

Les prix diminuent de 3 % par an et les aides publiques baissent de 6 % par an (la part d'investissement payée par l'usager, subvention déduite, reste constante).

Le scénario de croissance suivant est compatible avec les scénarios d'augmentation de 2 % de la part totale des EnR dans le bilan en énergie primaire en 2010 comme proposé par les 15 États membres de l'Union européenne à Johannesburg (août 2002) (voir tableau 2).

L'énergie primaire substituée en 2010 est de 168 400 tep (0,06 tep par m² de capteurs solaires). Si l'on amortit l'investissement sur 15 ans, le coût de l'aide par tep est 235 €.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX DE CE SCÉNARIO

Le coût du CO₂ évité, sur base de 2,4 tCO₂/tep, soit 404 160 tCO₂ en 2010 sera de 98 €.

En solaire thermique, l'emploi constaté est de 3,1 emplois par 150 000 € d'activité (installation fabrication) plus un emploi par tranche de 1 000 tep en exploitation. (Source: Observ'ER - ministère de l'Industrie).

L'activité (chiffre d'affaires) serait en 2010 de 656,4 M€, soit 4 376 emplois dont 75 % en France soit environ 3 300 emplois français. Ce pourcentage est basé sur l'hypothèse que les fabricants français maintiendraient une part de 50 % du marché, les travaux d'installation étant forcément entièrement nationaux.

Le total de la surface installée, en tenant compte de l'existant 2002, sera de 3 460 000 m² soit 207 600 tep et, donc, 207 emplois forcément français.

Le total des emplois créés en France en 2010 serait donc de l'ordre de 3 500.

CONCLUSION

Le coût par tep économisée ou par tCO₂ évitée peut paraître élevé. L'aide publique n'est cependant pas justifiée uniquement par ces facteurs de court terme, mais surtout par la nécessité de construire une filière industrielle qui, après 2010, permettra de réaliser des économies d'énergies non renouvelables et d'éviter des émissions de gaz à effet de serre à des coûts qui seront alors devenus acceptables. La question qui se pose est surtout de savoir comment financer cette aide publique: crédits d'impôts, subventions directes par l'ADEME ou par un « fonds chaleur » encore à créer, systèmes d'obligations imposées aux fournisseurs d'énergies ou un savant mélange de ces différentes possibilités. Ce sera un sujet de débat passionné et passionnant pour les mois à venir ■

TABLEAU 2

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Cumul
CESI Habitat neuf Qté	2000	10000	25000	40000	60000	80000	217000
CESI H N- m ²	10000	50000	125000	200000	300000	400000	1085000
CESI Habitat existant Qté	10000	20000	30000	45000	60000	80000	245000
CESI H E -m ²	50000	100000	150000	225000	300000	400000	1225000
Collectif/tertiaire -m ²	15000	20000	25000	30000	40000	60000	100000
SSC Qté	500	1000	2000	4000	6000	12000	25500
SSC m ²	6000	12000	24000	48000	72000	144000	306000
Investissement en M€	67,8	141,2	234,4	351,2	477,6	656,4	1928,6
Coût total des aides en M€	34,9	53,1	74,8	106,5	136,2	187,7	593,2
Total en m ²	81000	182000	324000	503000	712000	1004000	2806000

La filière photovoltaïque veut

• Quoique marginale en France la filière photovoltaïque est dynamique notamment sur les marchés à l'export.

• Le marché se divise en systèmes raccordés au réseau électrique, en systèmes d'approvisionnement de bâtiments isolés et en usages professionnels.

Le premier segment est le plus important.

En 2002, la production mondiale de panneaux solaires a progressé de près de 40%, à 560 MW. Mais, en France, l'énergie photovoltaïque cumule plusieurs handicaps: un coût d'installation encore élevé, un prix de rachat par EDF jugé faible et partant, un retour sur investissement de plus de 20 ans en l'absence d'aides complémentaires de l'Ademe et des régions.

Le coût d'installation minimum pour un système complet d'un kWc (10 m²) était estimé, en 2003, à 7 000 euros TTC environ, pose comprise. Comme le coût d'une centrale photovoltaïque dépend du volume du marché, plus le marché se développera, plus le prix baissera. Reste que la France accuse pour l'heure un retard par rapport à l'Allemagne ou l'Espagne.

En effet, le prix d'achat par EDF de l'énergie photovoltaïque a été fixé à 15,25 centimes d'euro par kWh en France métropolitaine (le double en Corse et dans les Dom), dans la limite de 5 kWc (1) pour les particuliers (arrêté du 13 mars 2002) pour un contrat dont la demande a été faite avant le 31 décembre 2002 (2), au lieu de 46 à 62 centimes en Allemagne.

Dans les Dom-Tom, on estime que le raccordement au réseau n'est pas rentable au-delà de 200 mètres et qu'alors une solution autonome prévaut. En métropole, cette distance dissuasive passe à 2 ou 3 km. Dans les pays industriels, ce segment de marché est trop faible pour faire baisser les coûts.

Ce constat explique en partie l'ouverture de marchés domestiques



importants de systèmes raccordés aux réseaux au Japon et en Allemagne, afin de doper leurs industries dans un domaine stratégique. L'autre raison de cet engagement tient à l'espoir que les capteurs photovoltaïques deviennent à terme des composants avancés de l'enveloppe des bâtiments (tuiles, éléments de façade, etc.) assurant une fonction de maîtrise de la demande d'électricité dans l'habitat et le tertiaire.

Alors que la France a souscrit aux objectifs de Kyoto, s'engageant à réduire par quatre ses émissions de gaz à effet de serre, elle n'installe que 3 à 4 MW d'électricité photovoltaïque par an. Bien loin de l'Allemagne qui a programmé 200 à 250 MW pour 2004 (après 90 MW en 2003). Pour Arnaud Mine, P-DG d'Apex BP Solar France (370 millions de dollars de CA et 10 millions de dollars de résultat net prévus en 2004), ensemble et n°1 du secteur en Europe et en Amérique du Nord. C'est toute l'approche même du photovoltaïque qui doit évoluer. «La vi-



« Pour les sites isolés, comme ici à la ferme des Poulains, l'installation solaire reste une option intéressante.

La filière industrielle : petite mais active

Malgré les appels répétés à une diversification des sources d'énergie, l'industrie photovoltaïque, n'a pas encore la place qu'elle pourrait occuper: 58 millions d'euros de CA l'an passé sur le marché intérieur et 60 autres millions à l'export. Sur les 58 millions réalisés en France; 32 millions proviennent du solaire raccordé au réseau (17 millions dans les Dom et 15 en métropole); les 26 restants provenant du solaire isolé (dont 24 millions dans les Dom-Tom). La filière industrielle est à l'image du marché: petite mais active. Ainsi, la société Photowatt, implantée à Bourgoin-Jallieu mais très portée par le marché allemand et l'export, se situe-t-elle au 10^e rang mondial pour la production de panneaux photovoltaïques fabriqués à partir de déchets de l'industrie électronique. Elle devrait doubler rapidement sa production autour de 30 MW crête. Le marché français ne représente que 4% de sa production. On rencontre ensuite des «ensembliers». Ces sociétés ne fabriquent pas seulement des panneaux ou des cellules mais des systèmes complets: panneaux, onduleurs et systèmes de commandes. Deux filiales de groupes pétroliers s'illustrent: BP Solar (filiale du britannique BP) à Montpellier et Total Energie à Lyon (ex-filiale à 100% de Total, détenue à 50/50 par Total et EDF). Il existe enfin toute une série de petites entreprises qui réalisent 2 à 3 millions d'euros de CA en équipant des sites isolés. Certaines ont été créées par des ingénieurs ou des consultants; souvent d'anciens militants.

sion qui a dominé a été celle du producteur qui raisonne en terme de prix du kWh. Il faudrait au contraire promouvoir l'approche qui concerne les bâtiments "à énergie positive", ceux qui ne rejettent pas de gaz à effet de serre. Or, dans les conditions actuelles, le surcoût du photovoltaïque par rapport à des bâtiments polluants n'est que de 15%, voire de 5% si l'on ne tient pas compte du poids du foncier. Or, le parc qui existera dans 50 ans

sortir de la marginalité



Usine Tenesa: montage de panneaux solaires photovoltaïques pour installation d'électricité dans les villages.

se construit aujourd'hui, c'est maintenant qu'il faut agir.»

Un basculement vers le solaire raccordé au réseau

La France est pourtant un pionnier du solaire photovoltaïque, avec une industrie compétitive et des laboratoires reconnus. Une situation mise en péril par la quasi-absence d'un marché domestique. L'objectif du SER est d'ouvrir le marché sur ce segment du «raccordé réseau» pour atteindre un niveau de coût compétitif (voir interview de Philippe Chartier ci-dessus). L'activité réalisée en métropole ne correspond qu'à 4 ou 5 Mwc installés, alors qu'il en faudrait au moins quelques dizaines. La demande, en matière de solaire raccordé au réseau, émane du secteur de la maison individuelle où l'on enregistre 2000 à 3000 demandes de raccordements par an mais aussi du secteur tertiaire et de l'habitat collectif qui semble prêt à franchir le pas et s'adresser à la filière industrielle. Ces demandes ne peuvent pas être satisfaites, le

«Une baisse des coûts du kWh est possible»

Non, à l'horizon 2010, un programme très ambitieux de promotion couvrirait au mieux 1 % des 35 à 40 TWh supplémentaires nécessaires pour atteindre les 21 % annoncés.

☑ Quel rôle le PV peut-il jouer dans les bilans énergétiques à moyen terme qui justifierait un effort en sa faveur dès aujourd'hui ?

Le premier rôle du solaire photovoltaïque, même si ce n'est pas le plus important en volume aujourd'hui, est de fournir de l'électricité là où le raccordement au réseau s'avère économiquement impossible. C'est le cas notamment dans les zones rurales des pays du Tiers-monde, là où le nombre potentiel d'abonnés par kilomètre de ligne est faible, leur niveau de consommation peu élevé et la péréquation des tarifs, largement utilisée par le passé dans les pays industriels pour tirer les lignes électriques à la campagne, difficile à réaliser. Deux milliards d'habitants au moins sont concernés. La baisse régulière des prix des équipements solaires photovoltaïques va leur permettre d'accéder progressivement à l'électricité et améliorer sans cesse la compétitivité de la solution décentralisée par rapport à la construction de lignes électriques.

Le second rôle est de fournir en terme des composants avancés de maîtrise

de la demande d'électricité dans l'habitat et le tertiaire, notamment dans les zones urbaines des pays développés. L'évolution devrait conduire à l'émergence de composants de l'enveloppe assurant en plus la couverture d'une partie de la demande électrique.

Le troisième rôle est d'approvisionner des réseaux locaux en association avec d'autres sources d'énergie notamment fossiles qu'elles économisent lorsque la pointe de consommation correspond à l'ensoleillement maximal (rafraîchissement, climatisation). Toutes ces perspectives expliquent la volonté de pays comme le Japon et l'Allemagne de capter une activité industrielle prometteuse sur leur territoire.

☑ Peut-on espérer une baisse significative du coût du kWh photovoltaïque ?

Oui. La technologie est en pleine évolution. La baisse des coûts du photovoltaïque depuis 20 ans est de l'ordre de 20 % pour chaque doublement d'un marché mondial qui croît de plus de 30 % par an. Des perspectives s'ouvrent notamment en matière de couches minces plus facilement déposables sur des supports de formes diverses. Le coût reste certes encore élevé aujourd'hui (0,5 euro/kWh au niveau du système complet) mais il ne restera pas à ce niveau.

PHILIPPE CHARTIER,
conseiller stratégie
et recherche du syndicat
des énergies
renouvelables (SER).

☑ Quelles sont les différentes formes d'énergie solaire que l'on peut rencontrer dans le monde du bâtiment ?

Deux types de capteurs solaires peuvent être incorporés à l'enveloppe des bâtiments en toiture ou en façade. Les panneaux photovoltaïques fournissent de l'électricité. Les capteurs solaires thermiques produisent de l'eau chaude pour les usages sanitaires et pour couvrir parfois en plus une partie des besoins de chauffage.

☑ Le solaire photovoltaïque (PV) peut-il contribuer aux objectifs de l'Europe en matière d'énergie renouvelable ?

budget de l'Ademe ne pouvant assurer le complément indispensable de financement.

La question d'un autre mode de financement des installations raccordées au réseau est impérative. Ceci malgré les aides du Feder (Europe) et de l'Ademe. «Le problème, c'est la modicité du budget dédié à l'ouverture du marché photovoltaïque de l'Ademe, épuisé à ce jour pour 2004 et menacé de complète disparition en 2005. Ce système suffisait pour passer de 1 à 5 Mwc, mais aujourd'hui, c'est devenu insuffisant à l'aune de ce qu'il

faut financer», souligne le SER. Il suggère de supprimer les aides de l'Ademe au profit d'une augmentation du tarif de rachat: il passerait de 15 à 50 centimes d'euro, comme en Allemagne. Autre piste, lier solaire photovoltaïque et solaire thermique grâce à deux mesures. Tout d'abord, augmenter l'avantage fiscal (comme pour le solaire thermique) de 15% à 40 ou 50%. Ensuite, faire évoluer le Code de l'urbanisme et le Code de la construction dans un sens plus favorable au solaire. Par exemple, en conditionnant l'attri-

bution du permis de construire à l'analyse d'une solution solaire alternative, ceci y compris pour la réhabilitation. C'est la piste qui semble se dessiner dans les débats parlementaires actuels sur la loi d'orientation sur l'énergie

JEAN-MICHEL GRADT ■

(1) Le watt crête est une référence qui correspond à une puissance nominale délivrée par un générateur photovoltaïque dans les conditions optimales de fonctionnement (à midi et par temps clair) avec des panneaux recevant un rayonnement solaire perpendiculaire.
(2) Le contrat porte sur 20 ans. Pour les demandes déposées après le 1^{er} janvier 2003, le tarif de départ sera diminué de 5% chaque année.

Reproductions effectuées par le C.D.G. 56
avec l'autorisation du C.F.C.
КЕРГОВАЦІОН ІНСТІТУТ.

Solaire thermique: se

Les techniques solaires thermiques sont désormais matures et favorisées par les aides de l'Ademe pour des applications individuelles et collectives.

Le Plan soleil 2000-2006 conduit par l'Ademe avec les professionnels a permis de relancer l'activité «solaire thermique» en France. «Aujourd'hui, estime Richard Ledoyen, délégué général de l'association professionnelle de l'énergie solaire Enerplan, la filière a atteint un bon niveau de qualité, notamment avec les Avis techniques sur une vingtaine de capteurs et, bientôt, sur les systèmes complets de chauffe-eau solaires individuels, la charte de qualité Qualisol signée par les installateurs et la généralisation de la garantie de résultats solaires dans le collectif.» De plus, la réglementation thermique permet désormais de valoriser les solutions solaires.

Parallèlement aux fabricants de capteurs, des ensembleurs proposent des gammes de solutions très complètes. Les constructeurs de chaudières ont très largement investi ce marché, aujourd'hui rejoints par quelques industriels de la menuiserie, notamment des producteurs de fenêtres de toit.

Eau chaude sanitaire et chauffage

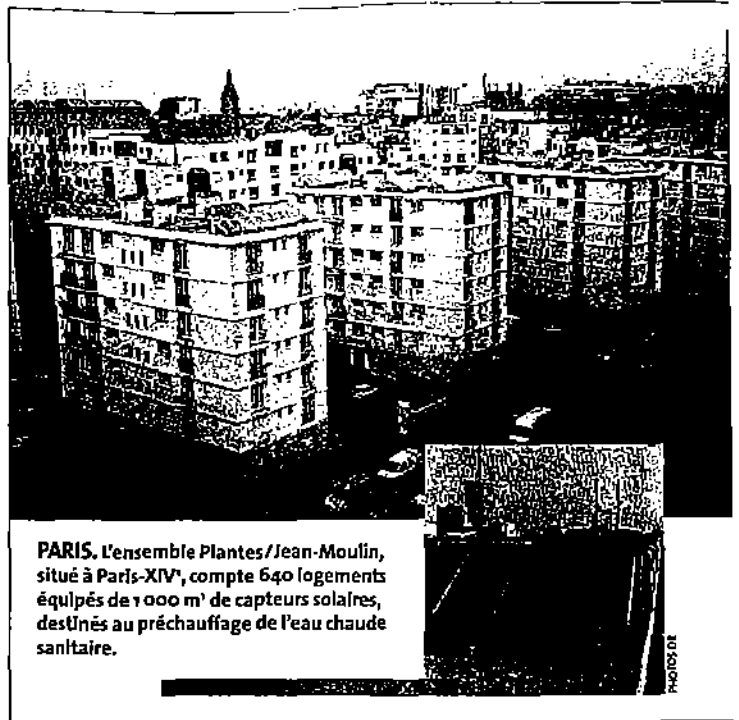
André Joffre, P-DG du bureau d'études Tecsol et président d'Enerplan, souligne que le solaire n'est pas seulement efficace dans les régions bénéficiant d'un ensoleillement important. «La différence de coût entre régions peu ensoleillées et très ensoleillées est relativement faible: un chauffe-eau solaire coûtera à Paris 6% de plus qu'à Toulouse, pour une production d'eau chaude équivalente.»

La technique «de base» en solaire thermique est le chauffe-eau solaire individuel (Cesi), destiné à la production d'eau chaude sanitaire. La surface de capteurs est en général de 4 à 6 m² et le ballon de stockage de 200 à 400 litres. Les capteurs solaires transmettent la chaleur du soleil à un fluide caloporteur (de l'eau additionnée de glycol antigel), qui la transmet à son tour au ballon d'eau chaude par l'intermédiaire d'un échangeur. 50 à 80% des besoins annuels d'eau chaude peuvent ainsi être couverts. Le complément est fourni par une autre source d'énergie: l'électricité via une résistance dans le ballon ou une chaudière via un deuxième échangeur. La régulation qui gère ce type d'installation repose sur un fonctionnement différentiel: elle compare la température du capteur à celle du préparateur. Si le capteur est plus chaud que le ballon, la pompe le met en marche. Dans le cas contraire, elle l'arrête.

Avec le système solaire combiné (SSC), il s'agit de produire non seulement de l'eau chaude, mais également une partie du chauffage. Le principe de fonctionnement ressemble au précédent: le fluide caloporteur puise sa chaleur au niveau du capteur et la transmet à un ballon mixte qui comprend un stockage d'eau chaude sanitaire et un stockage de volume tampon pour le chauffage. Ce procédé peut fournir 20 à 50% des besoins annuels en chauffage et en eau chaude. Il est complété par une énergie d'appoint. La surface de capteurs doit être plus importante que pour l'eau chaude seule: 10 à 20 m² pour une maison de 100 m².

Plancher solaire direct

Ces systèmes font appel à des émetteurs basse température et l'énergie peut être stockée dans un ballon ou dans la dalle de béton elle-même, comme dans la solution du plancher solaire direct de la société Clipsol. «Une chape flottante de 100 m² et de 12 cm ▶



PARIS, l'ensemble Plantes/Jean-Moulin, situé à Paris-XIV, compte 640 logements équipés de 1 000 m² de capteurs solaires, destinés au préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

UNE MAISON BIOCLIMATIQUE à Fontai

L'événement a été annoncé comme une première en France: la construction d'une maison bioclimatique à chauffage solaire avec appoint d'une pompe à chaleur aérothermique permettant jusqu'à 70% d'économie de chauffage. On doit l'innovation aux Eco-bâtisseurs, un groupement de professionnels du bâtiment spécialisés dans la construction de maisons individuelles HQE. Cette expérience d'investissement dans le développement durable a été réalisée à Fontainebleau-Avon (Seine-et-Mame), avant tout parce que la ville, signataire d'un Agenda 21 en 1997, entend bien jouer un rôle moteur dans ce domaine lié à la protection de l'environnement. Le modèle témoin des Eco-bâtisseurs est une maison à ossature

de bois de 160 m² avec isolation renforcée (37% en plus). Trois axes innovants dans la conception ont été suivis par l'Atelier-4C, maître d'œuvre: une architecture bioclimatique avec isolation renforcée des murs et triple vitrage aux fenêtres. L'installation sur toiture de 12 m² de capteurs solaires couvrant en partie les besoins de chauffage et d'eau chaude (gratuité de service sur six mois environ). Enfin, la pose d'une pompe à chaleur aérothermique puisant les calories sur l'air extérieur jusqu'à une température de -10°C et fournissant en moyenne 3 kWh d'énergie pour 1 kWh consommé. A noter que cette pompe est réversible et fournit de l'air froid l'été. Ce dispositif optimise d'environ 77% les seules performances de l'actuelle réglemen-

chauffer au soleil

HLM: réduction des charges d'eau chaude à l'Opac de Paris

Dans le cadre de son plan patrimonial pour la maîtrise de l'énergie et le développement des énergies locales et renouvelables pour la réduction de l'effet de serre, signé avec la région Ile-de-France en mars dernier, l'Opac de Paris s'est engagé à réaliser cinq installations de production d'eau chaude solaire pour alimenter plus de 1000 logements. Les deux premières opérations, engagées en 2003, concernent les ensembles Plantes/Jean-Moulin (Paris-XIV^e) et Porte-de-Chaisy (Paris-XIII^e), qui comptent respectivement 640 et 150 logements, équipés de 1000 m² et 200 m² de capteurs solaires destinés au préchauffage de l'eau chaude sanitaire (ECS). Ces équipements doivent couvrir au moins 40% des besoins d'ECS. Une garantie de résultats solaires (GRS) engage, pendant cinq ans, le groupement d'entreprises constitué du bureau d'études, de l'installateur, de l'exploitant et du fabricant de panneaux. La télérelève est assurée par le bureau d'études Tecsol pour suivre les performances des installations à distance. Dans le cas du groupe Plantes/Jean-Moulin, il s'agit du remplacement d'installations solaires existantes réalisées au cours des années 1980. « Ces matériels peu performants et

manquant d'entretien étaient, pour certains d'entre eux, hors service depuis plusieurs années », expliquent Marion Cottin et Fabrice Mondon, chargés d'études à la direction de la gestion patrimoniale de l'Opac. Les capteurs ont été remplacés par des équipements neufs. Par ailleurs, des travaux de rénovation ont été réalisés sur l'installation gaz, qui assure le chauffage et l'appoint de l'ECS quand la chaleur stockée dans les ballons est insuffisante pour maintenir l'eau sanitaire à la température de consigne de 55°C. Les nouvelles chaudières, équipées d'un récupérateur sur les fumées, permettent de réduire encore de 15% les consommations d'énergie. L'objectif de l'Opac est donc atteint: diminuer les charges des locataires et réduire les émissions de CO₂ et NO_x dans l'atmosphère. Trois autres installations d'eau chaude solaire collective sont prévues par l'Opac d'ici à 2005: 40 logements à Saint-Cloud (92), 30 à Paris-XV^e et

170 à Paris-XVII^e (groupe Saussure). Dans ce dernier cas, les logements sont équipés de chaudières individuelles. Les panneaux solaires assureront donc un préchauffage collectif de l'eau, qui alimentera ensuite les chaudières individuelles. Au total, ces cinq opérations réduiront de 350 t/an les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. Leur financement est assuré de 60 à 70% par les subventions de la région Ile-de-France dans le cadre du plan patrimonial pour la maîtrise de l'énergie, et de l'Ademe dans le cadre du plan Soleil. Or ce plan doit s'achever en 2006. Qu'advient-il ensuite? « L'Opac souhaite poursuivre sa démarche en faveur des énergies renouvelables, en particulier le solaire. Mais, sans l'appui financier de l'Ademe, il faudrait que les coûts des produits et des prestations d'installation baissent significativement et que les rendements des capteurs augmentent », suggère Fabrice Mondon.

ISABELLE DUFFAURE-GALLAIS ■

MAÎTRE D'OUVRAGE: OPAC DE PARIS. MAÎTRE D'ŒUVRE: BET TEC SOL INSTALLATEURS; DALKIA (PLANTES/JEAN-MOULIN), HERVÉ THERMIQUE (PORTE-DE-CHOISY), FORET (SAUSSURE). EXPLOITANTS: ELYO (PLANTES/JEAN-MOULIN), ELYO (PORTE-DE-CHOISY), DOMOSERVICE (SAUSSURE). FABRICANTS DE CAPTEURS: VIESSMANN (PLANTES/JEAN-MOULIN), GIORDANO (PORTE-DE-CHOISY), GIORDANO (SAUSSURE).

Fontainebleau: jusqu'à 70% d'économie de chauffage

Installation thermique pour un surcoût de construction de 10 à 20%. Quelques chiffres fournis par les Eco-bâtisseurs illustrent le volume d'économie: 2400 kWh d'électricité ont été nécessaires pour chauffer la maison l'hiver dernier, au lieu de 19500 kWh de gaz. L'économie globale de charge sur un tel pavillon occupé par une famille de quatre personnes est de l'ordre de 800 euros par an.

JEAN-FRANÇOIS CALTOT ■

Contact: ecobatisseurs@wanadoo.fr
(site web: <http://www.ecobatisseurs.fr>).

FONTAINEBLEAU-AVON.

En Seine-et-Maine, la construction d'une maison bioclimatique à chauffage solaire devrait permettre de réduire jusqu'à 70% la facture de chauffage.



Solaire thermique: se chauffer au soleil

► d'épaisseur offre des propriétés de stockage comparables à celles d'une cuve de 7 m³ d'eau», explique André Jean, P-DG de Clipsol. En outre, la masse de béton permet la diffusion lente sur plus de 24 heures de l'énergie accumulée, avec un déphasage de quatre à six heures. Cette solution procure un excellent confort et permet de supprimer le vecteur eau de stockage/distribution en faisant circuler directement le fluide caloporteur antigel dans les tubes du plancher chauffant et dans les capteurs solaires. Le plancher solaire direct PSD permet ainsi d'éliminer la contrainte de l'utilisation d'un échangeur, qui n'aurait pu que faire baisser le rendement. Cette technique, qui a fait ses preuves depuis vingt ans, est aujourd'hui proposée dans une nouvelle version: la solution Blocsol PSD Combi, qui est un système complet de chauffage solaire à appoint intégré avec une chaudière à puissance modulante. Pour éviter les surchauffes en période estivale, la quantité d'énergie captée peut être limitée en faisant baisser le rendement du capteur solaire par l'adaptation du débit de la boucle capteur solaire. On peut aussi évacuer l'énergie excédentaire en milieu de nuit en refroidissant le ballon de stockage dans les capteurs solaires. Par ailleurs, des réflexions sont en cours chez Clipsol pour développer un plancher rafraîchissant qui utilise ce surplus d'énergie.

Garantie de résultats solaires

L'énergie solaire permet également de produire une partie (40 à 60%) de l'eau chaude sanitaire des immeubles, des hôpitaux ou des maisons de retraite, des hôtels..., grands consommateurs d'eau chaude tout au long de l'année. Plus complexes qu'en maison individuelle, ces installations, qui peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres carrés de capteurs, sont conçues et dimensionnées par un bureau d'études. Les aides à l'investissement de l'Ademe s'accompagnent d'un ensemble d'aides financières aux études techniques: prédiagnostic, études de faisabilité. A partir de 50 m² de capteurs, l'installation est souvent assortie d'une garantie de résultats solaires (GRS). C'est un engagement du fabricant de

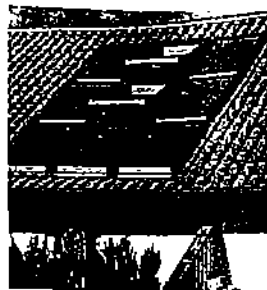
Les capteurs solaires à circulation de liquide

Pour la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage des locaux ou des piscines, la climatisation

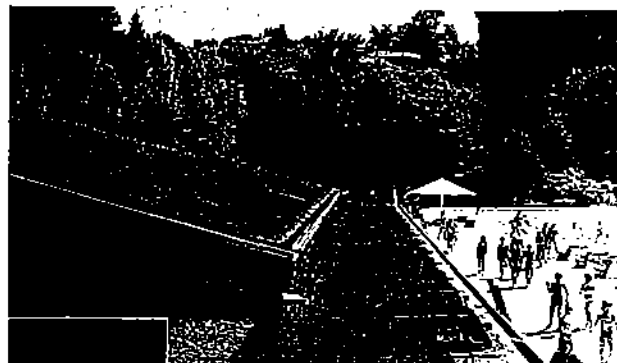
► CAPTEUR VITRÉ

Ce système est le plus répandu. Il consiste à capter l'énergie solaire sur un absorbeur plan au travers d'un vitrage.

Avantage: la maturité du produit.
Inconvénient: la difficulté d'atteindre des températures élevées avec un bon rendement.



▼ CAPTEUR SANS VITRAGE (OU «CAPTEUR MOQUETTE»)



Souvent utilisé en préchauffage des piscines, ce système consiste à capter l'énergie solaire sur un absorbeur noir constitué de tubes juxtaposés en matériau de synthèse.

Avantage: le prix.
Inconvénient: des pertes élevées.



◀ CAPTEUR SOUS VIDE

C'est un capteur vitré dont l'isolation est assurée par la mise sous vide de l'absorbeur à l'intérieur de tubes en verre.

Avantage: son rendement à température élevée.
Inconvénient: le prix.

Pour en savoir plus

- <http://www.ademe.fr>: des guides téléchargeables sur le chauffe-eau solaire individuel, le système solaire combiné, l'eau chaude solaire collective;
- <http://www.tecsol.fr>: manuel technique du chauffe-eau solaire collectif téléchargeable;
- <http://atec.estb.fr>: Avis techniques sur les capteurs solaires;
- DTU 65.12 (norme NF P 50-601): réalisation des installations de capteurs solaires plans à circulation de liquide pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

capteurs, de l'installateur, de l'exploitant et du bureau d'études vis-à-vis du maître d'ouvrage, sur la production énergétique annuelle de l'installation. Pour surveiller le fonctionnement de l'installation et mesurer les performances pendant la durée de la garantie (cinq ans), un dispositif de télésurveillance est mis en place. Si l'installation ne remplit pas ses promesses, elle sera mise à niveau par le groupement d'entreprises signataires du contrat et/ou le maître d'ouvrage sera dédommagé.

Intégration esthétique

Si la qualité et la durabilité des équipements sont désormais assurées, il demeure un frein à la progression du solaire: l'intégration des capteurs dans l'architecture des bâtiments (voir fiche pratique en page 61). Pour récupérer le maximum d'énergie solaire, les capteurs doivent, en effet, être orientés plein sud et inclinés de 40° à 50° par rapport à l'horizontale. Il est cependant possible de s'écarter de ces conditions optimales sans trop perdre en efficacité: une orientation sud-est ou sud-ouest et une inclinaison entre 15° et 60° restent admissibles. A la pose sur la toiture, on peut préférer l'intégration des panneaux dans la couverture: celle existante est remplacée par les capteurs, qui sont intégrés dans le plan de la toiture. La pose est plus onéreuse, mais le résultat esthétique souvent plus réussi. Les capteurs peuvent également être posés en couverture d'un décrochement de façade ou d'une véranda, en auvent, en garde-corps ou même au sol, par exemple sur un talus. L'Ademe, qui soutient la recherche dans le domaine des énergies renouvelables, a réuni des professionnels en séminaire fin avril afin de déterminer les axes prioritaires de recherche sur l'énergie solaire thermique à l'horizon 2010. L'architecture et l'intégration au bâti ont été l'un des thèmes retenus. L'Agence méditerranéenne de l'environnement a aussi lancé une étude sur ce sujet. L'objectif est de présenter, dans un document technique à paraître fin 2004, une synthèse de savoir-faire, d'astuces, de propositions d'intégration, mais également des éléments d'ordre juridique ou normatif.

ISABELLE DUFFAURE-GALLAIS ■

Solaire photovoltaïque: la lu

La cellule solaire photovoltaïque produit une tension d'environ 0,6 volt. Plusieurs cellules en série forment un module qui produit du courant continu et peut être intégré dans un bâtiment.

Fabriquer de l'électricité à partir de la lumière du soleil: telle est la propriété des matériaux semi-conducteurs comme le silicium. Cet «effet photovoltaïque» est exploité pour alimenter en électricité des sites isolés éloignés des réseaux de distribution ou dans des petites unités de production raccordées au réseau. L'élément de base de tels sys-

tèmes est la cellule solaire photovoltaïque, généralement en silicium cristallin de couleur bleutée. Une cellule produit une tension d'environ 0,6 volt, quelle que soit sa surface. Mais plus sa surface est importante, plus l'intensité du courant produit est élevée. Pour obtenir une tension plus forte, il suffit de relier les cellules individuelles en série,

afin d'additionner leurs tensions. Cet assemblage de cellules constitue un module. Encapsulé entre deux vitres en verre trempé et intégré dans un cadre en aluminium, un module a une durée de vie de vingt-cinq à trente ans. Plusieurs modules interconnectés constituent un panneau. Plusieurs panneaux forment un champ photovoltaïque.

Un onduleur transforme le courant continu produit par les panneaux en courant alternatif à 50 Hz et 220 V, compatible avec les usages domestiques et le réseau de distribution. En site isolé, des batteries d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie produite en excès pour la restituer durant les périodes sans soleil. En

BRISE-SOLEIL PHOTOVOLTAIQUES et réfléchissants pour une école

D'une pierre deux coups: les brise-soleil photovoltaïques, qui équiperont à la fin juillet l'école primaire des Vergers, à Illkirch-Graffenstaden (Bas-Rhin), répondent d'abord à une demande de rideaux. La façade située au sud expose enseignants et élèves à des pointes de chaleur difficiles à supporter en été. A une première fonction de protection, la proposition de l'agence strasbourgeoise Architecture et soleil en ajoute une seconde: la production annuelle de 22 000 kWh, le tout «pour une somme un peu moins importante que des pare-soleil standard», souligne Philippe Carbiener, adjoint au maire chargé de l'environnement.

Pour cette première illustration française d'une technique courante dans les pays voisins, le bureau de contrôle Norisko a souhaité lancer une procédure Atex⁽¹⁾. Dans ce cadre, le Centre scientifique et technique du bâtiment se concentrera sur deux points: la résistance mécanique des vitrages feuilletés et trempés, intégrant les cellules photovoltaïques, dans un espace couramment utilisé pour des jeux de ballons; la capacité de ces mêmes vitrages à supporter les fortes chaleurs concentrées par les cellules. «Les résultats de l'Atex pourraient ouvrir la voie à un marché national pour ce type de matériau», estime Bruno Mosser, dirigeant d'Architecture et soleil. En plus de la protection thermique et de la production électrique, les brise-soleil transmettront la lumière naturelle vers les plafonds, par l'intermédiaire des réflecteurs imaginés par Bruno Mos-



ser. Tirant parti de trumeaux de trois mètres de large, l'architecte a également prévu d'habiller la façade par un écran végétal, qui contribuera tant à la qualité architecturale qu'à la régulation thermique de l'ouvrage. **LAURENT MIGUET ■**

(1) Atex: appréciation technique d'expérimentation.

ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN. Les brise-soleil photovoltaïques, qui équiperont à la fin du mois prochain l'école primaire des Vergers, à Illkirch-Graffenstaden, dans le Bas-Rhin, répondent d'abord à une demande de rideaux.

MAÎTRE D'OUVRAGE: VILLE D'ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN. MAÎTRE D'ŒUVRE: ARCHITECTURE ET SOLEIL. VITRAGE: WEHR (GROUPE SAINT-GOBAIN). ÉLECTRICITÉ: KUHN. STRUCTURE DES BRISE-SOLEIL: MÉTAL EST. CALENDRIER: MAI À JUILLET 2004. MONTANT DES TRAVAUX: 216 160 EUROS.

mière, source d'électricité

cas de raccordement au réseau, c'est celui-ci qui constitue le réservoir d'énergie; les batteries ne sont pas nécessaires. En fonction du système utilisé, tout ou partie de la production est injecté dans le réseau public et le reste est consommé par le producteur. En cas de production insuffisante, le réseau fournit l'électricité nécessaire. L'installation comporte alors deux compteurs: l'un mesure la fourniture d'électricité au réseau, l'autre la consommation. L'en-

semble de l'installation est contrôlé par un système de régulation. La puissance produite par un module photovoltaïque sous un ensoleillement standard de 1 000 W/m² est appelée la puissance-crête du module. Elle s'exprime en watts-crête (Wc). En général, un module de 0,5 m² produit une puissance-crête de 50 Wc. Les modules du marché ont des puissances-crête de 10 Wc, 50 Wc, 75 Wc ou 120 Wc.

ISABELLE DUFFAURE-GALLAIS ■

Quelques chiffres

► Un système photovoltaïque de 1 kWc couvre une surface d'environ 10 m² et produit environ 1 000 kWh par an. Il coûte 5 000 à 9 000 euros, installation comprise, en fonction du degré d'intégration dans le bâtiment.

► Les besoins électriques (éclairage et autres usages, à l'exclusion du chauffage et de l'eau chaude sanitaire) d'une maison individuelle de quatre personnes, sans gaspillage, représente environ 2 500 kWh/an. Un système photovoltaïque de 25 m² (2,5 kWc) peut produire l'équivalent de cette consommation.

(Source Ademe.)

LE PHOTOVOLTAÏQUE en démonstration au parc des expositions de Munich

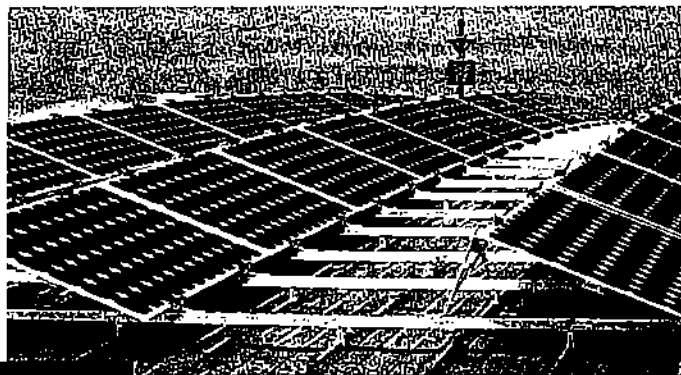
Les toitures du parc des expositions de Munich constituent le support du plus grand ensemble photovoltaïque (1 MWc) au monde. Le site est optimal: l'ensoleillement global munichois atteint presque 1 200 kWh/an.m², la météo bavaroise permet de compter sur 1 650 h de soleil, environ 20% d'une année, soit 1 000 h d'ensoleillement utiles. De plus, le parc des expositions avec ses millions de visiteurs constitue le cadre idéal pour démontrer les propriétés et l'intérêt du photovoltaïque. Le dispositif est prévu pour analyser les résultats, qui permettront de développer et d'améliorer les techniques, de réduire les coûts d'installation et répondre à la demande croissante de la population en énergies durables. Munich et la Bavière comptent aussi de nombreuses sociétés impliquées depuis longtemps dans le solaire et le photovoltaïque, qui ont pu trouver dans ce projet l'occasion de s'affirmer en précurseurs exemplaires. L'installation, 7 800 modules solaires comprenant chacun 84 cellules installées sur six toitures diffé-

rentes, se contente, à défaut de participer à la définition architecturale du site, de réunir différents avantages pratiques. Une vingtaine de modules reliés en circuit produisent 500 V, permettant à chaque toit la fourniture de 170 kWc. La moitié de la surface totale des toits de la partie nord du parc, soit 38 000 m², a été équipée des structures des panneaux pour obtenir 7 900 m² de surface utile de modules à cellules monocristallines au silicium sans cadre, conçus et réalisés par Siemens Shell. Leur tension est de 20,6 V, leur courant de 6,3 A, pour une puissance maximale de 130 W et un taux de rendement de 15%. Les modules sont inclinés de 28° et orientés plein sud. Ils ne dépassent pas 11 kg avec leur structure et peuvent être installés par une seule personne, sans grue ou échafaudage. Chaque module est équipé d'une prise de branchement permettant, au montage, d'éviter de protéger contre le soleil les surfaces des modules, les dangers de la mise sous tension ayant déjà causé des accidents. La

simplicité du système de branchement permet aussi de pouvoir changer rapidement un module défectueux ou endommagé par la grêle ou les tempêtes, même quand le dispositif est en service. Le délai entre la conception et la réalisation permet de comprendre le temps gagné grâce à ces modules conçus spécialement pour des grandes installations: les études ont débuté en 1995, les travaux ont commencé en août 1997, et la mise en service a eu lieu en novembre 1997. Tout le dispositif, avec 1 MWc annuel, permet de produire 1 000 000 kWh d'électricité, permettant d'approvisionner 350 foyers pendant un an, ou de couvrir la moitié des besoins énergétiques de la foire hors des périodes de salon. Ce million de kilowattheures, qui représente 4% des besoins annuels du parc, permet de réduire la nuisance sur l'environnement de 1 000 tonnes de CO₂, responsables en grande partie de l'effet de serre.

XAVIER BÉLORGEY ■

MUNICH. Les toitures du parc des expositions de Munich, en Allemagne, constituent le support du plus grand ensemble photovoltaïque au monde, avec une puissance de 1 MWc.



COÛT DU PROJET: ENVIRON 7 MILLIONS D'EUROS. **RÉPARTITION DU BUDGET:** EON 50%, SIEMENS AG 10%, STADTWERKE MÜNCHEN (SWM) 10%, MINISTÈRE BAVAROIS DE L'ECONOMIE, DES TRANSPORTS ET DES TECHNOLOGIES 20%, MINISTÈRE FÉDÉRAL DE L'ENSEIGNEMENT, DE L'ECONOMIE, DE LA RECHERCHE ET DES TECHNOLOGIES 10%. APRÈS LA MISE EN SERVICE, L'INSTALLATION EST PASSÉE AUX MAINS DU SOLARENERGIE-FÖRDERVEREIN BAYERN E.V, UNE FONDATION AVANT POUR MISSION D'ENCOURAGER DES PROJETS SUR LES ÉNERGIES DURABLES AVEC DES MOYENS FINANCIERS ET SON SAVOIR-FAIRE TECHNOLOGIQUE.

FICHE PRATIQUE

- ↳ **Quoi?** La pose de capteurs solaires est soumise à une simple déclaration de travaux dès lors qu'elle ne crée pas de surface de plancher nouvelle et n'entraîne pas de changement de destination de l'immeuble.
- ↳ **Qui?** Le maire doit contrôler la bonne insertion des équipements solaires dans le paysage.
- ↳ **Comment?** Lors du dépôt d'un permis de construire, le demandeur doit se montrer particulièrement vigilant.

L'autorisation d'installer des capteurs solaires

Une déclaration de travaux est-elle suffisante pour l'installation de capteurs solaires sur des bâtiments existants?

Oui. La pose de capteurs solaires modifie l'aspect extérieur des bâtiments mais n'entraîne pas de changement de destination de l'immeuble et ne crée pas de surface de plancher nouvelle, telle qu'elle est définie à l'article R. 112-2 du Code de l'urbanisme. Dans ces conditions, elle est soumise à une simple déclaration de travaux (DT), en vertu de l'application combinée des articles L. 421-1, 2^e al., L. 422-1, 2^e al. et R. 422-2 m du Code de l'urbanisme. Par analogie (appareil aérofrigoriférant sur toit d'immeuble); voir l'arrêt du Conseil d'Etat du 29 juin 1998, n° 157110.

Pourquoi?

La circulaire n° 80-32 du 29 février 1980 du ministère chargé de l'Urbanisme concernant l'instruction des permis de construire relatifs aux capteurs solaires est antérieure à la réforme de la loi n° 86-13 du 6 janvier 1986 dissociant notamment les travaux et ouvrages soumis à permis de construire ou à déclaration de travaux. A noter toutefois que le Code de l'urbanisme ne fait aucune référence aux capteurs solaires.

Dans le cas d'une construction neuve, que devra préciser la demande de permis de construire?

Il faut mentionner l'installation des capteurs solaires et s'enquérir des dispositions spéciales des documents d'urbanisme locaux concernant l'aspect de l'habitation (pente des toits, couleurs, matériaux). Une vigilance particulière doit être apportée à la confection d'un certain nombre de pièces du dossier: le plan de masse des constructions, le projet architectural, le volet paysager de la demande de permis (et notamment le document graphique permettant d'apprécier l'insertion du projet dans son environnement), la notice descriptive, l'étude d'impact si elle est exigée. Cette attention sera d'autant plus grande que la construction envisagée se situe dans un espace protégé au titre de législations particulières.

Par exemple?

En cas de constructions situées aux abords de monuments historiques, en sites classés ou inscrits, secteurs sauvegardés ou zone de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager (ZPPAUP), le permis de construire ou la DT est soumis, selon les

cas, à l'avis simple ou conforme notamment de l'architecte des Bâtiments de France (ABF).

Pour les capteurs solaires sur constructions existantes, ne nécessitant qu'une simple DT, l'autorité consultée est réputée avoir émis un avis favorable à défaut de réponse dans le délai d'un mois (art. R. 422-8 du Code de l'urbanisme).

En matière de DT, la délivrance de l'autorisation prévue par les articles 9 et 12 de la loi du 2 mai 1930, dans les sites classés ou en instance de classement a été déconcentrée au préfet. Elle est délivrée après avis obligatoire mais simple de l'ABF et consultation facultative de la commission départementale des sites.

Qui contrôle la bonne insertion des équipements solaires dans le paysage urbain et dans le paysage rural?

C'est d'abord l'autorité compétente pour délivrer les permis de construire ou se prononcer en matière de DT: le maire au nom de la commune (ou le président de l'établissement public de coopération intercommunale) s'il existe un POS ou un PLU approuvé, voire une carte communale. En l'absence d'un tel document, ce sera le maire au nom de l'Etat ou le préfet, après avis du maire. Ces derniers peuvent s'entourer des avis ou conseils, outre du service instructeur, de l'architecte-conseil ou du paysager-conseil, de l'ABF si le projet se situe dans un site protégé, du Caue...

Quelles erreurs éviter?

Que ce soit en toiture, en applique ou en terrasse, la pose de capteurs solaires doit respecter, pour obtenir une efficacité maximale, un certain nombre de règles techniques pour leur orientation, inclinaison, intégration paysagère. Elle doit aussi respecter un certain nombre de règles administratives quant aux règles d'occupation ou d'utilisation du sol. Des recommandations techniques peuvent être obtenues auprès de l'Ademe, des Caue, des agences départementales pour l'information sur le logement (Adil), etc. ■

Fonctionnement défectueux et responsabilité décennale

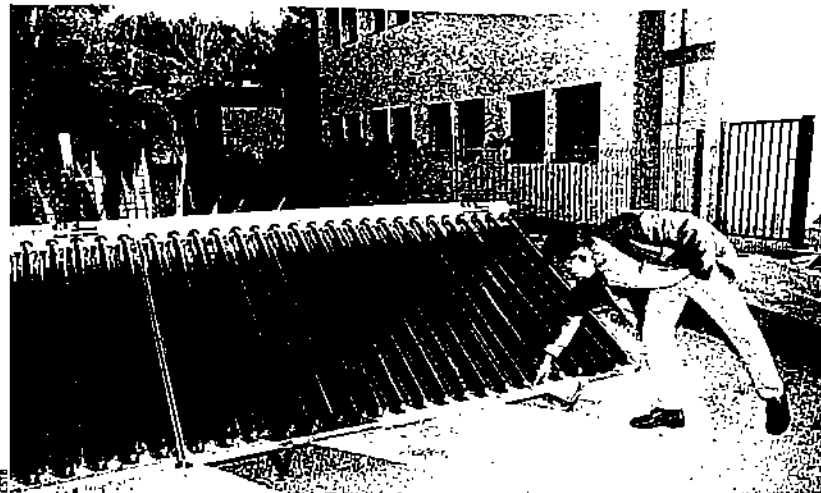
Le fonctionnement défectueux de capteurs solaires ayant une fonction d'appoint est susceptible de rendre l'immeuble impropre à sa destination. C'est ce qu'a décidé la Cour de cassation (3^e ch. civ., 27 septembre 2000, «SMABTP c./Cop. Résidence Les portes du Mall», n° 1287 FS-D). Il s'agissait d'un immeuble vendu par lots en l'état futur d'achèvement, équipé de capteurs solaires en toiture devant fournir, par le préchauffage de l'eau chaude sanitaire collective, un appoint d'eau chaude, le chauffage complet de cette eau étant assuré par l'installation individuelle de système au gaz des appartements. Les panneaux solaires se sont révélés déficients. L'assureur, subrogé dans les droits des copropriétaires qu'il avait indemnisés, s'est retourné contre l'entreprise, mais l'assureur de celle-ci refusait d'appliquer la garantie décennale.

La Cour de cassation a estimé que «les capteurs sont des éléments d'équipement dont le non-fonctionnement rend l'immeuble impropre à sa destination, compte tenu des risques de surchauffe de l'eau chaude sanitaire collective et parce que les objectifs d'économie d'énergie promis par le promoteur n'étaient pas atteints». Ce qui est retenu, pour permettre l'application de la garantie décennale, c'est donc la destination voulue de l'ouvrage et non sa destination objective.

EN SAVOIR PLUS ► VOIR le «Dictionnaire permanent construction urbanisme», Editions législatives.

Climatiser avec le soleil

La climatisation solaire est expérimentée dans le cadre du projet européen Solarclim sur deux sites français et un espagnol. Elle utilise l'énergie fournie par le soleil et fait appel à une machine à absorption.



Un système de rafraîchissement solaire par machine à absorption de lithium est installé sur le site du CSTB de Sophia-Antipolis (Alpes-Maritimes), où il rafraîchit 250 m² de bureaux. Il est composé de 63 m² de capteurs sous vide posés en terrasse et d'une machine à absorption Yazaki de 35 kW placée dans un local technique.

La production de froid pour les besoins de la climatisation des bâtiments est souvent assurée par des machines à compression. Consommatrices d'électricité et utilisant des fluides réfrigérants peu écologiques, elles ont une grande incidence sur les pics de demande d'électricité sur le réseau. Elles peuvent entraîner des problèmes de capacité de production et de distribution de l'électricité en été, comme on a pu le constater en France en 2003. La production de froid par machine à absorption, qui utilise une source chaude à basse température (80°C à 120°C), peut être fournie par un brûleur gaz, mais aussi par l'énergie solaire produite par des capteurs plans, sélectifs ou sous vide. C'est le concept de climatisation ou rafraîchissement solaire, expérimenté dans le cadre du projet européen Solarclim sur deux sites français (métropole et Guadeloupe) et un espagnol. Ce programme de recherche, coordonné par le bureau d'études Tecsol, vise à tester la technologie sur des bâtiments tertiaires. L'un des systèmes est installé sur le site du CSTB de Sophia-Antipolis

Les avantages de la climatisation solaire

- La source d'énergie est le soleil, donc sans rejet.
- Les besoins de froid coïncident avec les périodes où l'apport solaire est le plus important.
- La consommation électrique des auxiliaires est plus de 20 fois inférieure à celle d'un compresseur.
- L'appoint éventuel se limite le plus souvent à une chaudière à gaz à haut rendement, intervenant pour moins de 30% des besoins.
- Les fluides frigorigènes employés sont inoffensifs, contrairement aux fluides de type HCFC utilisés dans les systèmes conventionnels.
- La source de bruit principale (moteur et compresseur) est supprimée et l'absence de pièce mécanique en mouvement entraîne une durée de vie plus longue que celle des groupes de réfrigération classiques.

(Alpes-Maritimes), où il rafraîchit 250 m² de bureaux. Il est composé de 63 m² de capteurs sous vide posés en terrasse et d'une machine à absorption Yazaki de 35 kW (puissance frigorifique nominale) placée dans un local technique.

Une eau entre 75°C et 95°C

Les capteurs sous vide produisent de l'eau à une température élevée, entre 75°C et 95°C. La chaleur produite est dirigée vers la machine à absorption où est dissociée, par ébullition, une solution d'eau et de bromure de lithium. Après refroidis-

sement, la recombinaison des deux composants produit, par absorption de chaleur, des frigories. Le froid est ensuite distribué par un réseau d'eau glacée alimentant une centrale de ventilation, qui assure la circulation de 630 m³/h d'air frais. Les niveaux de froid produits varient entre 7°C et 12°C, et permettent d'abaisser la température des locaux de 6 à 8°C par rapport à l'extérieur. Installée en juillet 2003 mais opérationnelle fin août 2003, l'installation n'a pu faire la preuve de son efficacité que durant deux mois. «L'ensemble fonctionne bien», constate Dominique

Caccavelli, responsable du service Energies renouvelables du CSTB, qui regrette cependant une capacité de stockage limitée à 300 l, ce qui n'assure qu'une autonomie de quinze minutes en cas de passage nuageux. Le suivi des performances sera assuré en 2004 sur la première saison complète.

Financée par l'Ademe, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et l'Union européenne, cette opération de démonstration représente 150 000 euros d'investissement, soit 600 euros/m². Une installation comparable utilisant une pompe à chaleur reviendrait à 220 euros/m².

Un autre projet de climatisation solaire est en cours pour les bâtiments des laboratoires Galderma à Sophia-Antipolis, avec 517 m² de capteurs. L'installation solaire couvrira une partie des besoins en froid, le complément étant apporté par l'électricité et le gaz. Les capteurs seront installés sur les auvents protégeant les parkings du site. Cette opération permettra de substituer 26,9 TEP/an et d'éviter le rejet dans l'atmosphère de près de 100 t de CO₂ par an. ■

Conception des installations collectives

Développé dans le cadre d'une collaboration CSTB-Ademe, SimSol est un logiciel de conception et de dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude solaire en habitat collectif et en secteur tertiaire. Cet outil de prédiction des performances thermiques des installations collectives est accessible gratuitement sur le site <http://software.cstb.fr>.

Centrale thermique solaire en Espagne

La société allemande Solar Millennium AG doit lancer, cette année, la construction de la plus grande centrale solaire du monde, sur le plateau espagnol de Guadix. Deux centrales de thermie solaire, d'une surface totale de collecteurs de 1,1 million de mètres carrés, fourniront plus de 300 gigawattheures de courant électrique au réseau espagnol.

L'énergie solaire en congrès

Le premier congrès organisé par l'association professionnelle de l'énergie solaire Enerplan aura lieu les 14 et 15 octobre à Paris, et aura pour thème «Energie solaire et bâtiment». Il permettra de découvrir l'offre solaire en France. Au programme: une conférence plénière européenne, six ateliers de travail, des visites d'installations, un espace d'exposition. Programme détaillé sur le site www.enerplan.asso.fr.