LE JOURNAL DES

ÉNERGIES RENOUVELABLES

HORS-SÉRIE SOLAIRE THERMIQUE COLLECTIF – AVRIL 2017 – 25 €

Spécial solaire thermique collectif

Marché et perspectives

L'HORIZON S'ÉCLAIRCIT POUR LA CHALEUR SOLAIRE

Retours d'expériences

BAILLEURS SOCIAUX : LE SOLAIRE ALLÈGE LA FACTURE

Bonnes pratiques

LE SOLAIRE SE MET AU COMMISSIONNEMENT

SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - **FILIÈRE** - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - **BALLON D'EAU CHAUDE** - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - **POMPE À CHALEUR** - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - **SOLEIL** - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - **AUTOCONSOMMATION** - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - **ÉNERGIE** - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - **BAILLEURS SOCIAUX** - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - **CAPTEURS** - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - **SOLAIRE DIRECT** - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - **CHALEUR** - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - **CLIMATISATION** - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - **CHAUFFAGE** - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - **EAU CHAUDE SANITAIRE** - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR

RENAISSANCE

Vincent Jacques le Seigneur
Directeur de la publication

Le solaire est source de chaleur. D'une utilisation évidente et efficace, reposant sur des technologies simples et robustes, le solaire thermique reste pourtant le parent pauvre des énergies renouvelables. Pire, il connaît une descente aux enfers qui ne semble jamais devoir cesser : en 2016, il a encore régressé de 35 %, ce qui le fait revenir à son niveau de 2004, que ce soit pour le chauffe-eau solaire ou les systèmes solaires combinés. Et la fermeture imminente de Clipsol, une des deux entreprises historiques du secteur, décidée par son actionnaire majoritaire Engie, semble sonner le glas de la filière dans l'indifférence générale. Quel gâchis !

Fort heureusement, des signes encourageants pourraient annoncer un nouveau départ pour la filière. Pour faire cesser la mauvaise réputation du solaire thermique, des mesures simples et de bon sens commencent à porter leurs fruits.

En premier lieu, l'information. L'initiative Socol, portée depuis 2009 par le syndicat professionnel Enerplan avec l'appui de l'Ademe, a permis de fédérer plus de 1 600 professionnels qui bénéficient d'une boîte à outils commune : schémas hydrauliques types de façon à gagner du temps, donc de l'argent, et faciliter les interventions ultérieures sur les installations ; guides de bonnes pratiques afin de ne pas répéter toujours les mêmes erreurs ; ratios pour le dimensionnement, car une bonne adéquation entre la surface de capteurs et le volume d'utilisation d'eau chaude conditionnent la rentabilité économique de l'installation.

La formation, ensuite. Qualisol est une qualification professionnelle spécifique mise en place par l'association Qualit'ENR en 2015. Exigée par les financeurs publics, elle vient compléter la qualification RGE (reconnu garant de l'environnement) des bureaux d'études. Cette montée en compétence des artisans du secteur est urgente car si l'absence d'exigence sur les énergies renouvelables de la réglementation thermique (RT2012) a beaucoup freiné l'essor du solaire thermique, l'arrivée du label E+C- pour expérimenter des bâtiments de type BEPOS à faible empreinte carbone de la future RT2020 annonce sa renaissance.

Enfin, l'instrumentation et le suivi, exigés par l'Ademe pour bénéficier des aides substantielles du fonds chaleur (420 M€ en 2017). Ajoutés à l'analyse des besoins afin de bien dimensionner l'installation, c'est un atout certain pour le développement du solaire thermique, notamment dans le collectif – habitat social, hôtel, hôpitaux, camping, etc.

Reste à rassurer les investisseurs. Et là aussi, des solutions existent, comme le commissionnement, qui commence à se généraliser à tous les domaines du bâtiment, du contrat de garantie de résultat solaire (GRS) que le maître d'ouvrage peut signer avec le bureau d'études afin de s'assurer du bon fonctionnement de son installation, avec à la clef une pénalité si la production annoncée n'est pas au rendez-vous, au contrat de performance énergétique solaire (CPE solaire) qui engagerait conjointement le bureau d'études, l'installateur et l'exploitant, ou encore au contrat CREM (conception, réalisation, exploitation, maintenance).

Le solaire thermique concourt à la réduction des émissions de carbone mais permet aussi, plus prosaïquement, des économies substantielles. Les retours d'expériences des bailleurs sociaux courageux qui se sont lancés dans l'aventure montrent que le poste "eau chaude sanitaire" a baissé de 40 à 60 % avec le recours au solaire thermique. S'il est encore de 10 à 15 % plus cher au kWh que la solution chaudière gaz à condensation, la parité devrait être atteinte en 2020. Autant dire demain pour des investisseurs qui doivent raisonner à moyen terme.

Illustration de couverture :
Capteurs solaires thermiques en toiture et panneaux photovoltaïque en façade de la résidence Malaunay.
Crédit : *Logéal*

journal-enr.org

Abonnement de 1 an (5 n°s),
au *Journal des Énergies renouvelables* :
France 89 €, Europe 99 €, Monde 109€

Administration : Nathalie Bouhours
(tél. : 01 44 18 00 80)

Directeur commercial et publicité :
Jérôme Chabaudie (tél. : 01 44 18 73 47)

Directeur de la publication :
Vincent Jacques le Seigneur

Conseiller éditorial :
Vincent Boulanger

Rédacteur en chef adjoint :
Timothée Bongrain (tél. : 01 44 18 73 44)

Responsable des produits éditoriaux :
Romain David (tél. : 01 44 18 73 42)

Rédacteurs : Aude Richard, Juliette Talpin.

Secrétaire de rédaction : Rachel Laskar

Maquette – réalisation : Marie Agnès Guichard

Mise en page : Alice Guillier et Marie Agnès Guichard

Dépôt légal : 2e trimestre 2017
ISSN 2491-8687
Commission paritaire : n° 1118 G 84361

Éditeur : Observ'ER
Observatoire des énergies renouvelables
146 rue de l'Université – 75007 Paris
Tél. : + 33 (0)1 44 18 00 80
www.energies-renouvelables.org

PRINT ENVIRONNEMENT
IMPRIM'VERT®

Imprimerie de Champagne
ZI Les Franchises – 52200 Langres
Certifiée Iso 14001 et Print Environnement

Ce numéro est imprimé sur du Cocoon Silk, papier extra blanc, 100 % recyclé, certifié FSC® (issu de la gestion forestière responsable).

RECYCLÉ Papier FSC® C101670

ADEME

Le hors-série solaire thermique collectif a bénéficié du soutien de l'Ademe.

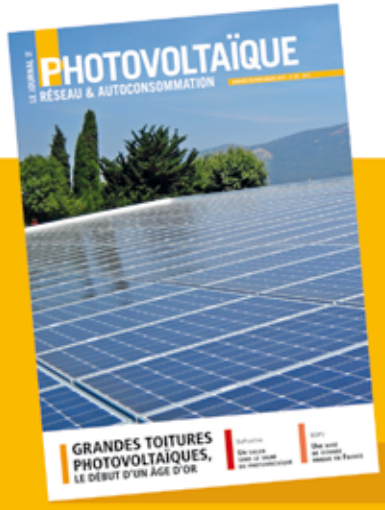
DÉCOUVREZ LES **3 JOURNAUX** DES ÉDITIONS OBSERV'ER

LE JOURNAL DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

5 numéros par an

+ 40 envois *"L'Actu EnR"*
(newsletter hebdo dédiée aux EnR)

www.journal-enr.org



LE JOURNAL DU PHOTOVOLTAÏQUE
RÉSEAU & AUTOCONSOMMATION

5 numéros par an

+ 40 envois *"L'Actu PV"*
(newsletter hebdo dédiée au photovoltaïque)

www.journal-photovoltaique.org

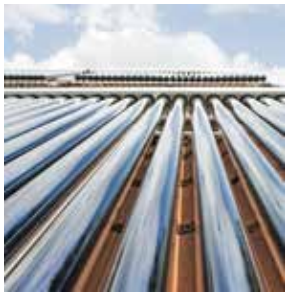
LE JOURNAL DE L'ÉOLIEN
ONSHORE & OFFSHORE

5 numéros par an

+ 40 envois *"L'Actu Éolien"*
(newsletter hebdo dédiée à l'éolien)

www.journal-eolien.org

Abonnement sur : librairie-energies-renouvelables.org



MARCHÉ ET PERSPECTIVES

L'HORIZON S'ÉCLAIRCIT POUR LA CHALEUR SOLAIRE

p. 4

Même si le marché du solaire thermique collectif a poursuivi sa baisse en 2015 et 2016, certains indicateurs repassent au vert.

RETOURS D'EXPÉRIENCES

BAILLEURS SOCIAUX, LE SOLAIRE ALLÈGE LA FACTURE

p. 12

Les contre-performances des installations solaires ne doivent pas occulter que de multiples sites fonctionnent bien et assurent de substantielles économies d'énergies fossiles au maître d'ouvrage.

BONNE PRATIQUES

LE SOLAIRE SE MET AU COMMISSIONNEMENT

p. 26

Avec les exigences de performance énergétique, le commissionnement commence à se généraliser à tous les domaines du bâtiment.

INNOVATION

POMPE À CHALEUR SOLAIRE JUSQU'À 67 % DE COUVERTURE ENR

p. 34

La pompe à chaleur solaire utilise des capteurs non vitrés pour produire de l'eau chaude sanitaire collective toute l'année.

SOMMAIRE

MARCHÉ ET PERSPECTIVES

L'horizon s'éclaircit pour la chaleur solaire 4

Réglementation : label E+C-, un strapontin pour le solaire thermique ? ... 8

Prespectives : le solaire collectif rentable dès 2019-2020 9

Réseaux de chaleur : les promesses du tandem bois-solaire..... 10

RETOURS D'EXPÉRIENCES

Bailleurs sociaux : le solaire allège la facture 12

Chauffage solaire : des petits collectifs Bepos avec capteurs mutualisés 16

Maison de l'Île-de-France : l'autonomie par le solaire 18

De l'eau chaude solaire pour les patients 21

Centres aquatiques : Sète opte pour les panneaux hybrides..... 22

BONNES PRATIQUES

Deux plateformes pour réussir les installations..... 24

Conception-installation : la filière apporte des garanties 25

Le solaire se met au commissionnement 26

Exploitation : entre formation et objectifs de performance 28

Instrumentation et solaire connecté : vers un suivi systématique des installations ? 30

Valophis : conseils pour du solaire performant 32

INNOVATION

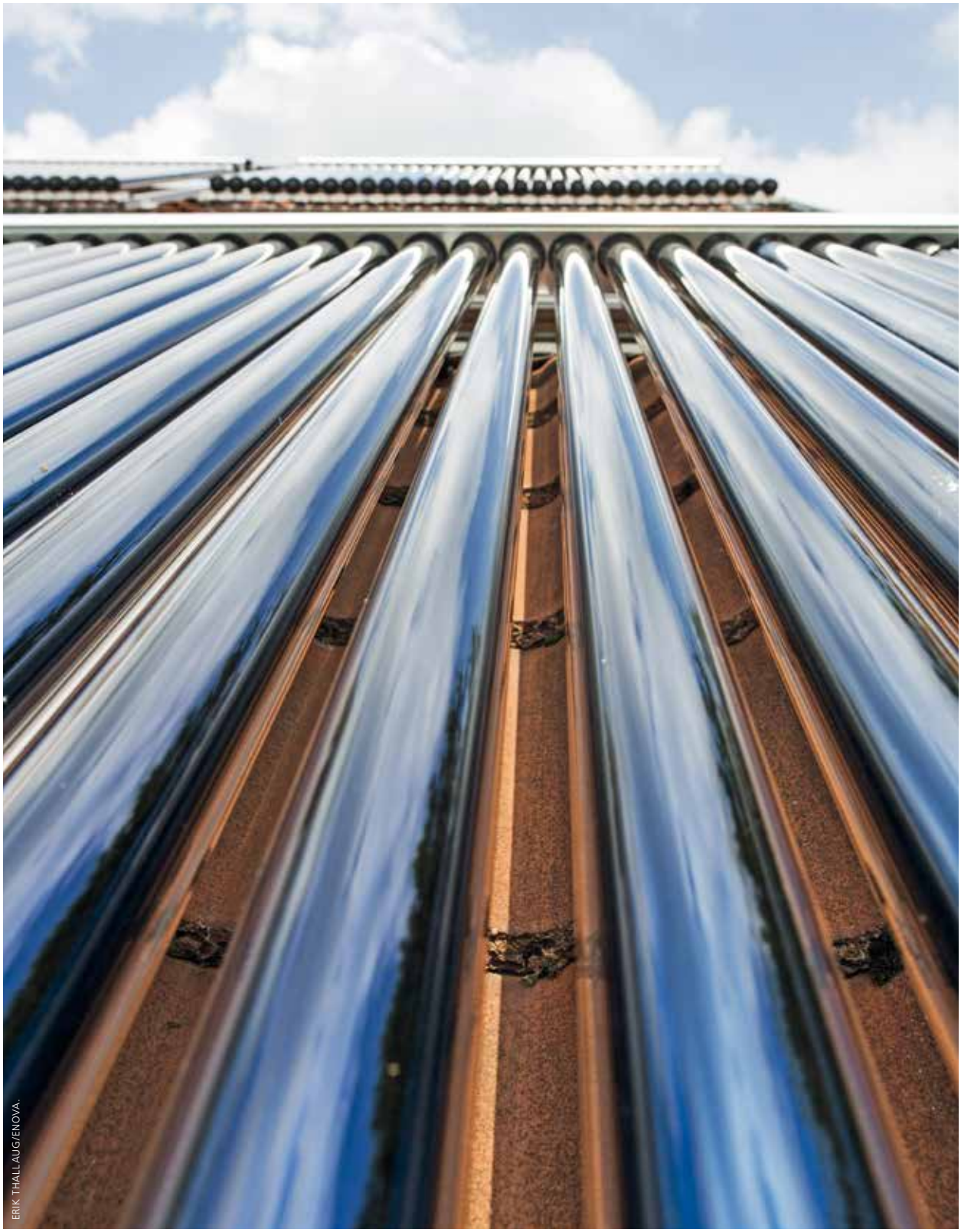
Pompe à chaleur solaire : jusqu'à 67 % de couverture EnR..... 34

Capteurs hybrides : le boom de la cogénération solaire 36

Chauffage solaire : un marché de niche dans le collectif 38

Froid solaire en recherche de compétitivité 39

L'HORIZON S'ÉCLAIRCIT
POUR LA CHALEUR SOLAIRE



ERIK THALLAUG/ENOVA.

Même si le marché du solaire thermique collectif a poursuivi sa baisse en 2015 et 2016, certains indicateurs repassent au vert. Le moteur de calcul de la RT 2012 le valorise désormais à son juste niveau et le décret sur le bonus de constructibilité devrait lui être favorable. PAR JULIETTE TALPIN

Depuis octobre 2016, la technologie solaire thermique est enfin traitée à sa juste valeur par le moteur de calcul de la RT 2012… Désormais, dans les tableurs des bureaux d'études, sa consommation en énergie primaire est minorée de 20 % par rapport aux formules de calcul précédentes. Cette bonne nouvelle marquerait-elle la fin de la crise du solaire thermique dans le collectif ? Car la RT 2012 et son absence d'exigence sur les énergies renouvelables ont beaucoup freiné cette technologie pourtant en plein développement entre 2005 et 2012. La RT 2005 et le label BBC (bâtiment basse consommation) ont été porteurs pour le solaire thermique et ils ont permis, grâce aussi à la mise en place du Fonds chaleur de l'Ademe en 2009, une hausse régulière des ventes à raison d'environ 15 000 m² supplémentaires chaque année. En 2012, 125 000 m² ont été installés dans du collectif. Depuis, les ventes ont baissé de 20 à 35 % par an et étaient limitées à 49 000 m² en 2015 selon Observ'ER et Uniclima, syndicat qui regroupe 80 % des industriels du solaire thermique. *« Il n'y a plus de solaire thermique dans le logement collectif neuf, la RT 2012 l'a sorti de la prescription »*, résume Valérie Laplagne, responsable ENR d'Uniclima.

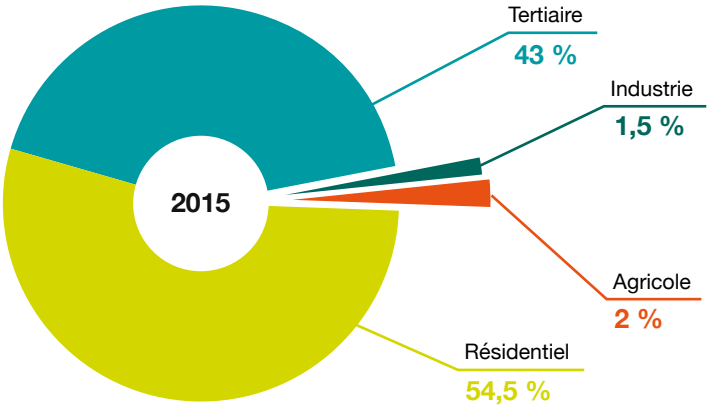
La technologie solaire thermique est enfin traitée à sa juste valeur par le moteur de calcul de la RT 2012.

Cette rectification du moteur de calcul de la RT 2012 était attendue depuis quatre ans par la profession, mais beaucoup craignent qu'elle n'inverse pas la situation. Car le point le plus néfaste de la RT 2012 pour le solaire thermique collectif n'a, lui, pas été rectifié. Il s'agit de la dérogation sur le droit à surconsommer permettant aux logements collectifs d'atteindre 57,5 $kWh_{EP}/m^2.an$ au lieu des 50 imposés aux autres acteurs. La première dérogation accordée en 2015 a été reconduite jusqu'au 31 décembre 2017.

Bonus de constructibilité

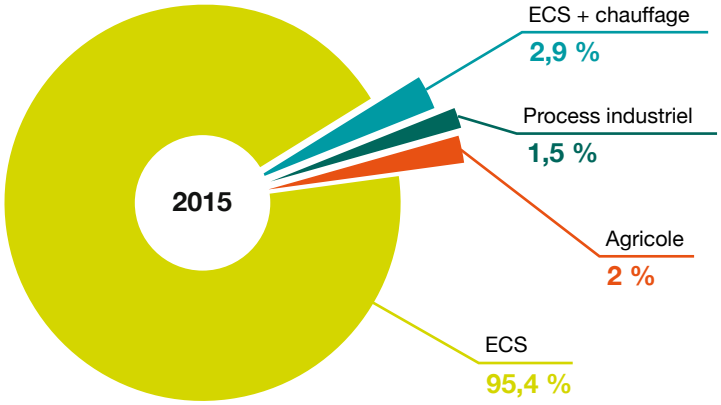
La reprise du marché pourrait venir de la promotion immobilière, qui a désormais tout intérêt à installer du solaire thermique sur ses logements collectifs. En effet, depuis juin 2016, les collectivités peuvent accorder un bonus de constructibilité de 30 % pour les bâtiments exemplaires dont la performance énergétique correspond à la RT 2012 - 20 % . Or, le solaire thermique est bien placé, comme le montre l'étude réalisée

UNE PRÉDOMINANCE DU RÉSIDENTIEL DANS LE SOLAIRE COLLECTIF



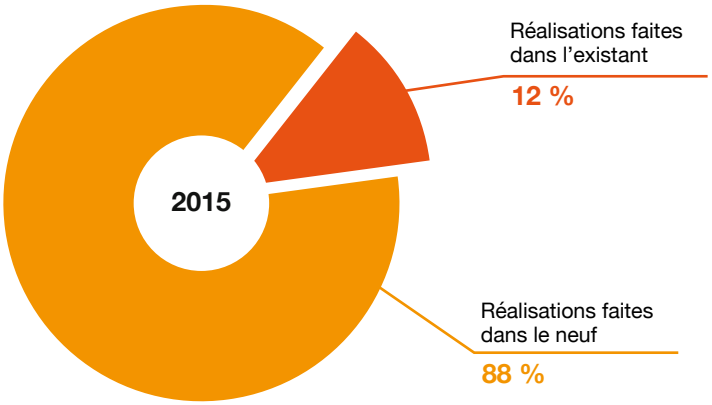
SOURCE : ÉTUDE DU MARCHÉ DES INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES COLLECTIVES - OBSERV'ER 2016

UNE FILIÈRE CENTRÉE SUR DES APPLICATIONS D'EAU CHAUDE SANITAIRE



SOURCE : ÉTUDE DU MARCHÉ DES INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES COLLECTIVES - OBSERV'ER 2016

PLUS DE 8 INSTALLATIONS SUR 10 RÉALISÉES DANS LE NEUF



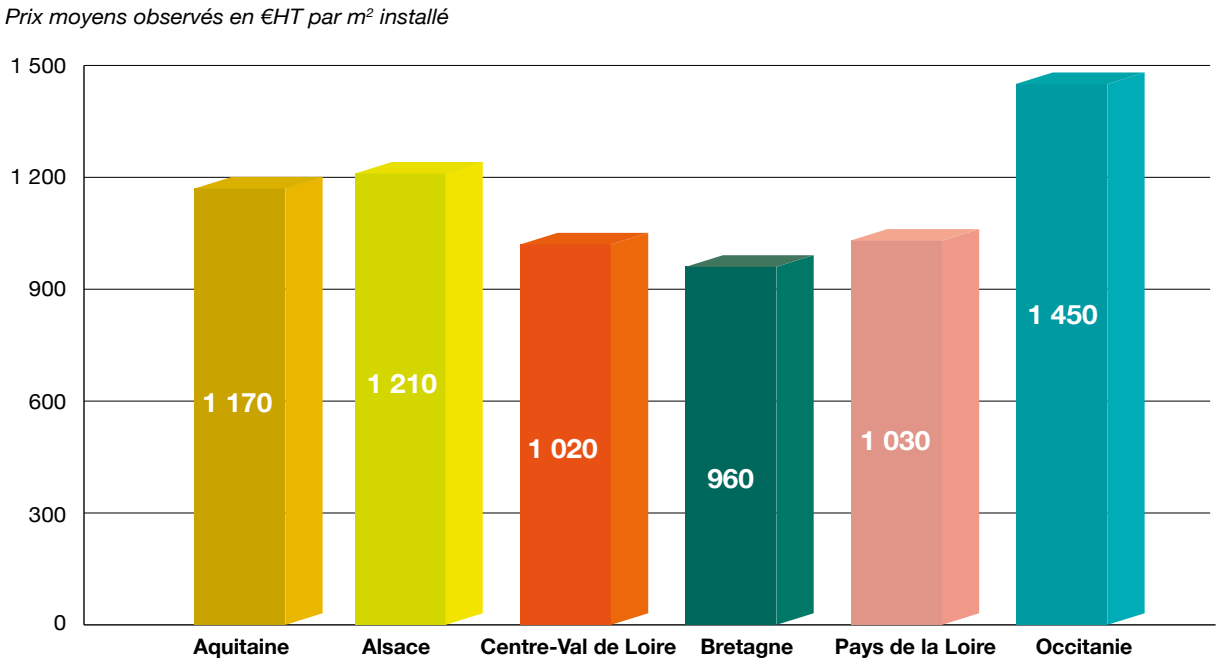
SOURCE : ÉTUDE DU MARCHÉ DES INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES COLLECTIVES - OBSERV'ER 2016

par le Crigen[1] pour Enerplan et Uniclima. L'étude a comparé les différentes solutions solaires (CESC, CESCI et CESCAI[2]) avec des solutions de chaudières gaz + biomasse ou PAC aérothermique et même PAC solaire. *« Il ressort que les solutions solaires thermiques collectives sont très performantes vis-à-vis des solutions concurrentes, d'autant plus que le poste eau chaude a un poids important dans ces bâtiments »*, indique Edwige Porcheyre, chargée de mission solaire collectif chez Enerplan. Ce bonus de constructibilité est donc susceptible de changer la donne en profondeur. *« Pour les promoteurs ayant un objectif "RT 2012 - 20 %", le solaire thermique est la technologie la plus efficace pour produire l'ECS ; ils feront mieux que la réglementation et pourront prétendre au Fonds chaleur de l'Ademe qui exige* a minima *la RT 2012 - 15 % »*, explique Richard Loyen, délégué général d'Enerplan. Et d'ici là, les prix des énergies fossiles pourraient avoir grimpé, favorisant ainsi les solutions productrices de chaleur renouvelable, dont le solaire.

Territoires positifs sur le solaire

Dans son étude sur le marché solaire collectif en 2015[3], Observ'ER rappelle que la filière conserve de bons fondamentaux : technologie adaptée à tous les besoins, innovation, accompagnement par plusieurs outils (Fonds chaleur, outils Socol, Qualisol…), plan de relance piloté par l'Ademe. L'étude préconise donc de capitaliser sur ces atouts en développant les actions dans les territoires. C'est déjà le cas par exemple des Régions Île-de-France, Pays de la Loire, Auvergne-Rhône-Alpes, Corse, Occitanie qui ont mis en place des appels à projets conjoints avec les directions régionales Ademe. Par ailleurs, la Région Auvergne-Rhône-Alpes soutient les audits d'installations défaillantes, la maîtrise d'œuvre de leur chantier de réhabilitation et le suivi de l'installation

DES PRIX MOYENS VARIABLES SELON LES RÉGIONS



SOURCE : ÉTUDE DU MARCHÉ DES INSTALLATIONS SOLAIRES THERMIQUES COLLECTIVES - OBSERV'ER 2016

LES SOUTIENS DE L'ADEME

Le Fonds chaleur de l'Ademe est le principal mode de soutien au solaire thermique collectif, principalement tourné vers l'existant. Plus de 1 600 installations ont été aidées depuis 2009 pour une surface installée de 133 000 m² et une production de 6 600 tep. Avec 71 M€ de subventions versées, le taux d'aide moyen est de 41 %. En moyenne, un projet collectif reçoit 45 000 €, soit 541 €/tep. « *Dans le neuf, le seuil maximal d'investissement pour être éligible est de 800 à 900 €/m², et en rénovation, il est conseillé de ne pas dépasser les 1 100 €/m². La tendance baissière fortement attendue doit venir de la structuration de l'offre* via *des contrats de vente de chaleur "clés en main" à des prix compétitifs sur l'ECS (et le chauffage le cas échéant). Ces contrats commencent à apparaître sur de grandes centrales, mais peuvent également se décliner dans le logement sur des patrimoines importants. Les contrats patrimoniaux de l'Ademe sont un outil intéressant pour ces offres* », précise Nadine Berthomieu, en charge du solaire thermique à l'Ademe.

Pour obtenir les aides du Fonds chaleur en collectif, le maître d'ouvrage doit s'entourer d'entreprises répondant à certaines conditions :

1. Pour les aides sur les études de faisabilité :

- choix d'un bureau d'études qualifié RGE Études 20.10 ou 20.14 (attention : la qualification 20.10 ne sera plus reconnue RGE en 2018).

2. Pour les aides à l'investissement :

- installation < 50 m² : soit installateur qualifié RGE travaux, soit bureau d'études qualifié RGE Études 20.14 ou équivalent. La responsabilité de la conception étant bien identifiée ;
- installation > 50 m² : bureau d'études qualifié RGE 20.14 ou équivalent, mais qualification de l'installateur non obligatoire. Le maître d'ouvrage sera incité à passer par une mise en service dynamique qui deviendra obligatoire en 2018.

Les installations liées à un contrat de fourniture d'énergie ne seront soumises à éco-conditionnalité obligatoire RGE ingénierie qu'en 2018.

L'initiative Socol, qui réunit 2 000 professionnels de la filière solaire collective, est également soutenue à hauteur de 600 000 € sur trois ans par l'Ademe. Portée par Enerplan, Socol a construit un panel d'outils allant de la conception à l'exploitation en passant par l'installation, le suivi de production et la maintenance (voir article page 24).

L'appel à projets grandes installations vise les projets de plus de 300 m² pour tous types d'usages (500 m² s'ils sont raccordés à un réseau de chaleur). Trois lauréats pour les éditions 2015 et 2016 : Grand Lyon Habitat, Châteaubriant, Moselis. La troisième édition sera clôturée le 24 mars 2017.

L'appel à projets "Nouvelles technologies émergentes" concerne les systèmes solaires innovants non éligibles au Fonds chaleur : chauffe-eau solaires collectifs individualisés, solaire combiné, PAC solaires, capteurs hybrides, solaire décentralisé sur réseau de chaleur… Prochaine clôture : le 5 mai 2017.

pendant un an aux côtés de la maîtrise d'ouvrage qui choisit le contrat d'exploitation adéquat. La Région et la direction régionale Ademe des Pays de la Loire accompagnent quant à elles le cluster Atlansun qui réunit les professionnels du secteur pour faire émerger de nouveaux projets. Enfin, l'agglomération Valence Romans Sud Rhône-Alpes (Drôme) a mis en place un "Plan chaleur solaire" prévoyant par exemple le financement d'études de faisabilité sur des piscines, la formation des professionnels du bâtiment et le suivi des installations. Face au risque de défaillances d'installations, l'étude d'Observ'ER recommande aussi la mise en place d'un fonds de garantie « *comme c'est le cas dans la géothermie sur le caractère aléatoire des gisements ou dans les réseaux de chaleur contre le risque de perte d'un gros consommateur* », précise Frédéric Tuillé, auteur de l'étude. Avec les éventuelles interventions de Bpifrance, de la Caisse des dépôts ou de l'Ademe. ■

1) Le Crigen est le centre de recherche et d'expertise opérationnelle du groupe Engie dédié au gaz, aux énergies nouvelles et aux technologies émergentes.

2) Chauffe-eau solaire collectif, chauffe-eau solaire collectif individualisé, chauffe-eau solaire collectif à appoints individualisés.

3) Observ'ER, Étude du marché des installations solaires thermiques collectives, *2016. Téléchargeable sur www.energies-renouvelables.org*

Selon Uniclima, le référentiel du nouveau label E+C- permettra aux centrales solaires collectives d'être prescrites dans les bâtiments classés en Énergie 1 et 2, mais elles seraient exclues des niveaux 3 et 4 (les plus ambitieux).

RÉGLEMENTATION

LABEL E+C- : UN STRAPONTIN POUR LE SOLAIRE THERMIQUE ?

Pour aller vers une RT 2020 avec des bâtiments à énergie positive peu émetteurs en CO_2, l'État expérimente le label E+C- (Énergie positive & réduction carbone). Malgré ses atouts, le solaire thermique devra batailler pour tirer son épingle du jeu.

PAR JULIETTE TALPIN

Il y a eu le label BBC pour préparer la RT 2012. Maintenant, c'est au tour du label E+C- d'expérimenter les bâtiments de type Bepos (à énergie positive), à faible empreinte carbone de la future RT 2020. Les bâtiments construits selon le nouveau référentiel PEBN (performance environnementale des bâtiments neufs) permettront d'apprécier sa faisabilité technique ou économique. Le label comprend en parallèle un indicateur Énergie avec quatre niveaux de performance et un indicateur Carbone avec deux niveaux de performance. L'indicateur Énergie comprend les cinq usages réglementaires de la RT 2012 (chauffage, ECS, ventilation, éclairage, climatisation), auxquels s'ajoute un sixième usage lié aux consommations spécifiques d'électricité (numérique, électroménager, cuisine…), aux ascenseurs et aux parkings.

Possible dans les bâtiments peu ambitieux

La question est bien sûr de savoir comment se placeront les installations solaires thermiques dans ce nouveau référentiel. Selon les simulations réalisées par Uniclima[1], le solaire thermique n'aurait aucun mal à être intégré aux bâtiments ayant les niveaux d'exigences les moins ambitieux, c'est-à-dire Énergie 1 (RT 2012 - 5 %) et Énergie 2 (RT 2012 - 10 %). Sachant que ces bâtiments pourraient représenter 90 % du marché du neuf à compter de 2020, voilà plutôt une bonne nouvelle. Pas du tout, regrette Uniclima : *« en immeuble collectif, on passe les niveaux Énergie 1 et 2 avec le gaz et sans aucune ENR, le référentiel PEBN ne soutient pas la chaleur renouvelable »*, estime Valérie Laplagne, responsable ENR du syndicat. Quant au niveau Énergie 3, il ne serait pas du tout accessible au solaire thermique, contrairement au bois et au tandem gaz + photovoltaïque. Sur l'énergie comme sur le carbone, le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) indique la nécessité d'adopter une vision d'ensemble de la performance du bâtiment : *« Il faut prendre en compte les systèmes du bâtiment globalement et les chauffe-eau solaires ne doivent pas être pris en compte indépendamment »*, souligne Jacques Chevalier, chef de la division environnement. *« Dans ce cadre, produire des données environnementales de qualité est un enjeu clé pour tous les systèmes. »* Pour Uniclima, Ces simulations concernent bien le bâtiment dans son ensemble ; le syndicat, qui a déjà produit des déclarations environnementales pour les chauffe-eau solaires individuels, a prévu de les compléter pour le solaire collectif. ■

1) Syndicat des industries thermiques, aérauliques et climatiques.

PERSPECTIVES
LE SOLAIRE COLLECTIF RENTABLE DÈS 2019-2020

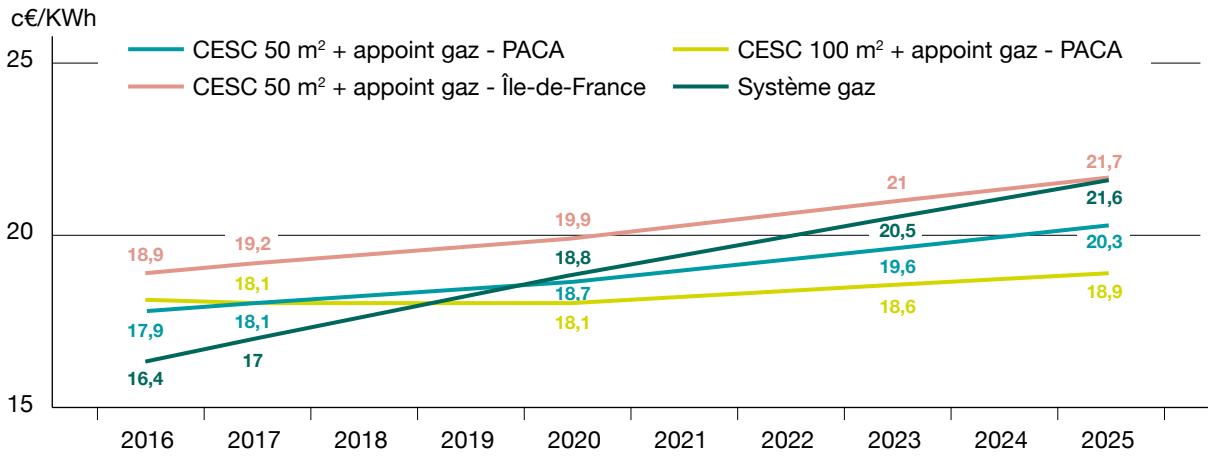
Alors que la chaleur solaire collective manque encore de compétitivité par rapport au gaz en 2016, la situation pourrait changer à l'horizon 2020 si les conditions réglementaires permettaient de s'inscrire dans la trajectoire de la programmation pluriannuelle de l'énergie. PAR JULIETTE TALPIN

En 2016, et sans compter les aides, le solaire thermique collectif a coûté de 10 à 15 % plus cher au kWh que la solution chaudière gaz à condensation. Soit 17,9 à 19,4 c€/kWh selon les situations *versus* 16,4 c€/kWh pour le gaz. Mais cette situation défavorable, décrite dans l'étude *Retombées socio-économiques de la filière solaire thermique française* du cabinet Icare pour Enerplan et l'Ademe, pourrait s'inverser si le marché suivait la trajectoire de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). C'est-à-dire des ventes à hauteur de 500 000 à 1 million de m² par an tous marchés confondus (pour rappel, les ventes 2016 ont été de 70 000 m²). Réaliste, l'étude souligne que *« ces objectifs sont inatteignables sans amélioration significative du cadre réglementaire : renforcement des exigences de performance énergétique (PEBN, RE 2018[1]), adaptation du crédit d'impôt, promotion du Fonds chaleur dans l'existant, augmentation de la taxe carbone »*. Si ces conditions sont réunies, le solaire pourra rivaliser avec le gaz. En effet, dès 2019, l'étude prévoit une équivalence de coût au kWh d'eau chaude sanitaire entre d'une part un CESC (chauffe-eau solaire collectif) avec 100 m² de capteurs dans le sud de la France, et d'autre part une chaudière gaz condensation (voir graphique). Pour une installation d'environ 50 m² dans le sud, la parité est atteinte en 2020. En 2025, les systèmes solaires du nord de la France avec 100 m² de capteurs situés, peuvent à leur tour rivaliser avec la solution gaz alors que le système "100 m² sud France" affiche un coût de production de 10 % inférieur au système gaz. L'autre conséquence positive du développement du solaire thermique selon la trajectoire PPE serait bien sûr la création d'emplois : cinq fois plus qu'une situation sans évolution du cadre réglementaire. ■

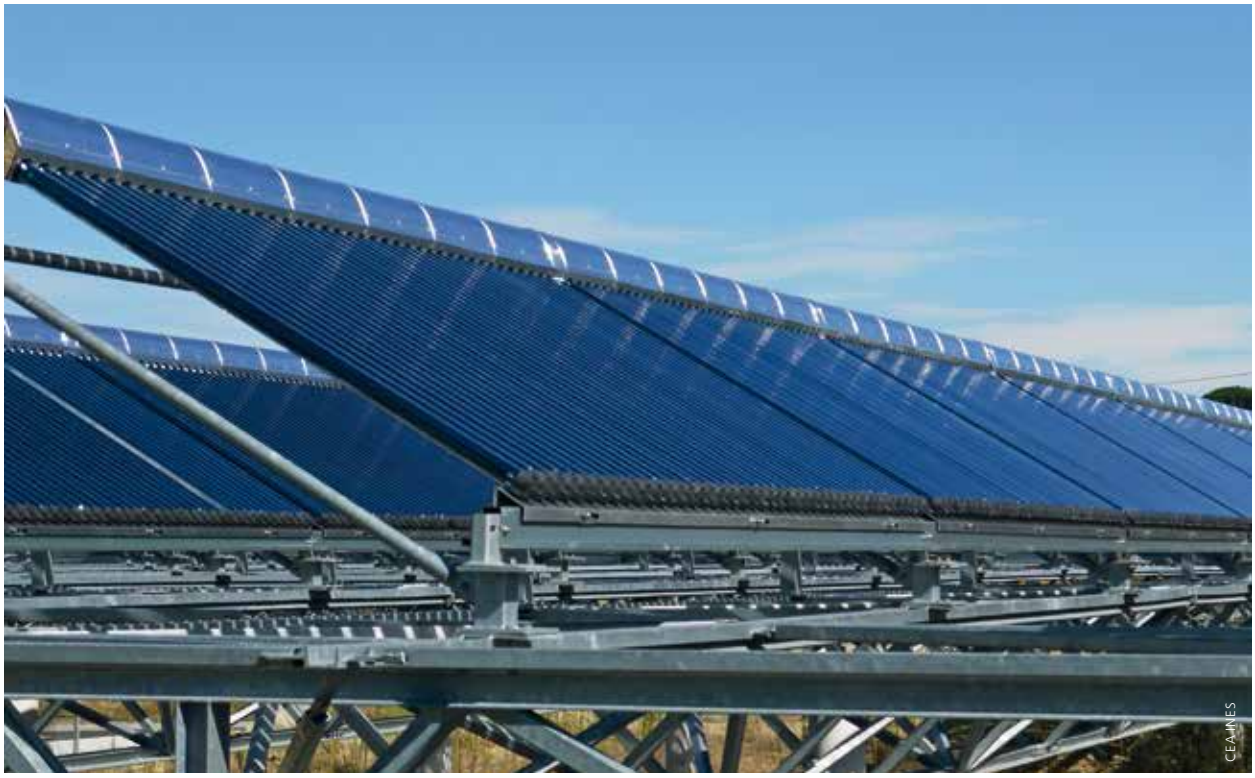
1) Performance environnementale des bâtiments neufs et Réglementation environnementale 2018.

ÉVOLUTION DU COÛT DU KWH POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE DANS LE COLLECTIF ENTRE 2016 ET 2025 DANS UN SCÉNARIO PPE (MÉDIAN)

SOURCE : ÉTUDE RETOMBÉES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE LA FILIÈRE SOLAIRE THERMIQUE FRANÇAISE - ICARE 2017



RÉSEAUX DE CHALEUR
LES PROMESSES DU TANDEM BOIS-SOLAIRE


CEA/INES

Les centrales solaires sur réseaux de chaleur constituent une cible importante de développement. Les premiers retours d'expériences dans des écoquartiers montrent que le solaire peut couvrir les besoins en ECS l'été, permettant d'arrêter la chaufferie bois à cette période. PAR JULIETTE TALPIN

En Europe, on compte plus de 250 installations solaires sur réseaux de chaleur pour une puissance totale de 750 MW. À côté des pionniers danois, suédois, autrichiens et allemands, de nouveaux pays pointent leur nez comme l'Italie… et la France. Mais, avec moins de 4 500 m² alimentant des réseaux à horizon fin 2017, l'Hexagone fait encore figure de Petit Poucet. Les ambitions de la filière sont pourtant importantes sur ce marché, considéré comme l'un des principaux relais de croissance avec les installations en industrie, dans un contexte de ventes morose. Le CEA (Commissariat à l'énergie atomique), à l'Ines (Institut national de l'énergie solaire), l'association de collectivités Amorce et le bureau d'études Tecsol participent de longue date au projet européen Solar District Heating (SDHplus), dont l'objectif initial était la capitalisation autour des installations existantes pour promouvoir leur développement à travers la réalisation de guides de bonnes pratiques[1]. En 2016, la nouvelle version du programme, régionalisée, a été retenue dans le cadre du programme européen Horizon 2020 sous le nom de Solar District Heating policy to market (SDHp2m). À côté des 15 partenaires institutionnels ou de recherche, dont le CEA, le projet associe 9 régions européennes (8 pays), dont 3 prioritaires pour l'expérimentation. La région Auvergne-Rhône-Alpes (Aura) en fait partie. *« Nous mettons en place avec RAEE* [Rhône-Alpes énergie environnement, ndlr] *une politique pour faire émerger une filière*

Le programme européen "Solar District Heating From policy to market" promeut le développement d'installations solaires raccordées à des réseaux de chaleur comme celle-ci à Balma, près de Toulouse.

locale avec du soutien au développement des projets et la mise en place de modèles de financement innovants notamment », explique Alexis Pellat, chargé de mission énergie-climat à la Région Aura. La Région Hauts-de-France lance par ailleurs une étude sur l'évaluation du potentiel de 32 réseaux de chaleur à intégrer du solaire ; 4 opérations seraient ensuite accompagnées. Enfin, plusieurs acteurs français[2] sont impliqués dans le projet national "Smart grid solaire thermique". Il a été retenu dans le cadre du programme "Énergies décarbonées" des Investissements d'avenir (IA ; 4,7 M€ dont 1,9 M€ d'aides IA) sur une période 2012-2017. Le projet compte initier une nouvelle filière liée aux réseaux de chaleur solaire et créer une offre spécifique à ces marchés.

Potentiel dans les écoquartiers

Il est encore difficile d'estimer le potentiel réel du solaire sur réseaux de chaleur. Dans l'étude Observ'ER sur le solaire thermique collectif en 2015[3], certains acteurs prévoient des projets à hauteur de 20 000 à 30 000 m²/an alors que d'autres redoutent le frein lié aux températures de retour réseau trop élevées pour bien valoriser le solaire. En effet, pour obtenir un taux de couverture solaire maximal, il est préférable que le réseau fonctionne en basse température (70 °C en départ réseau). Les trois premières installations dans des écoquartiers affichent des résultats plutôt prometteurs selon Cofely Services, leur exploitant.

La ZAC Vidailhan-Nord à Balma, près de Toulouse, a mis en service en juillet 2014 un réseau de chaleur avec des températures de 80-60 °C, couplant le bois (1,25 MW) et une installation solaire centralisée qui injecte sur le retour du réseau (460 m² de tubes sous vide Viessmann en ombrières de parking). *« Aucune panne ni surchauffe n'ont été enregistrées en deux ans de fonctionnement*, souligne Fabrice Renaude de Cofely Services. *Bien que les performances soient légèrement inférieures au prévisionnel, elles restent très bonnes avec une productivité solaire supérieure à 600 kWh/m². »* Un autre enseignement tient au couplage bois-solaire : le minimum technique de fonctionnement de la chaudière bois n'étant pas assuré en été du fait de la puissance réduite du réseau, la chaudière bois est arrêtée et le solaire alimente le réseau en substitution du gaz de la chaudière d'appoint. Après une année de fonctionnement, le réseau de l'écoquartier de Juvignac, près de Montpellier (1,25 MW bois et 295 m² de capteurs plans Clipsol Solgrid) affiche des performances supérieures au prévisionnel et un rendement solaire de plus de 45 % sur l'année. Enfin, le réseau bois (3 MW) de l'écoquartier des Temps Durables à Limeil-Brévannes (Val-de-Marne), mis en route début 2016, a la particularité de recevoir la chaleur solaire de trois champs de capteurs reliés à un réseau voisin avec interconnexion aux Temps Durables (1 100 m² au total). *« Les performances réelles devraient être supérieures au prévisionnel »*, annonce Cofely. ■

On compte plus de 250 installations solaires sur réseaux de chaleur pour une puissance totale de 750 MW en Europe.

DES PROJETS AVEC CONTRATS DE PERFORMANCE

Avec 2 300 m² de capteurs, Châteaubriant (Loire-Atlantique) a démarré en janvier 2017 la construction d'un des plus grands projets solaires français sur réseau. Le contrat avec le groupement Tecsol (bureau d'études), Pasquiet (installateur), Eklor (capteurs) et Cofely (exploitation) porte sur 900 MWh/an (pénalité de 150 €/MWh non fourni). À Voreppe (Isère), l'installation du champ de 200 m² de capteurs qui alimentera le nouveau réseau de chaleur bois-solaire, a commencé en février 2017. Un contrat CREM* de quatre ans avec ECFM (filiale de Veolia) garantit 6 % de couverture solaire. Sur la base militaire de Saint-Christol (Vaucluse), une ferme solaire de 2 500 m² de capteurs à concentration Heliolight 4800 est en cours d'installation, dans le cadre d'un contrat CREM avec un groupement conduit par Idex (bureau d'études OTCE, JP Industrie pour l'automatisme et la régulation, SPIE-Batignolles pour le génie civil et Helioclim pour la centrale solaire). Ces capteurs, dont le fonctionnement est très flexible, desservent un réseau de chaleur bois de 5 km. Enfin, un microréseau de chaleur expérimental est en cours d'installation à l'Ines (plus de 300 m² de capteurs de six technologies différentes raccordables selon plusieurs schémas). L'objectif est de faire évoluer les technologies de capteurs et d'algorithme de gestion spécifique notamment.

** Conception, réalisation, exploitation, maintenance.*

1) Téléchargeables sur www.solar-district-heating.eu

2) Clipsol, CEA, Ines, Cofely, Inddigo et Tecsol.

3) Téléchargeable sur www.energies-renouvelables.org

JÉRÉMIE PITOT/ADOMA

BAILLEURS SOCIAUX
LE SOLAIRE ALLÈGE LA FACTURE

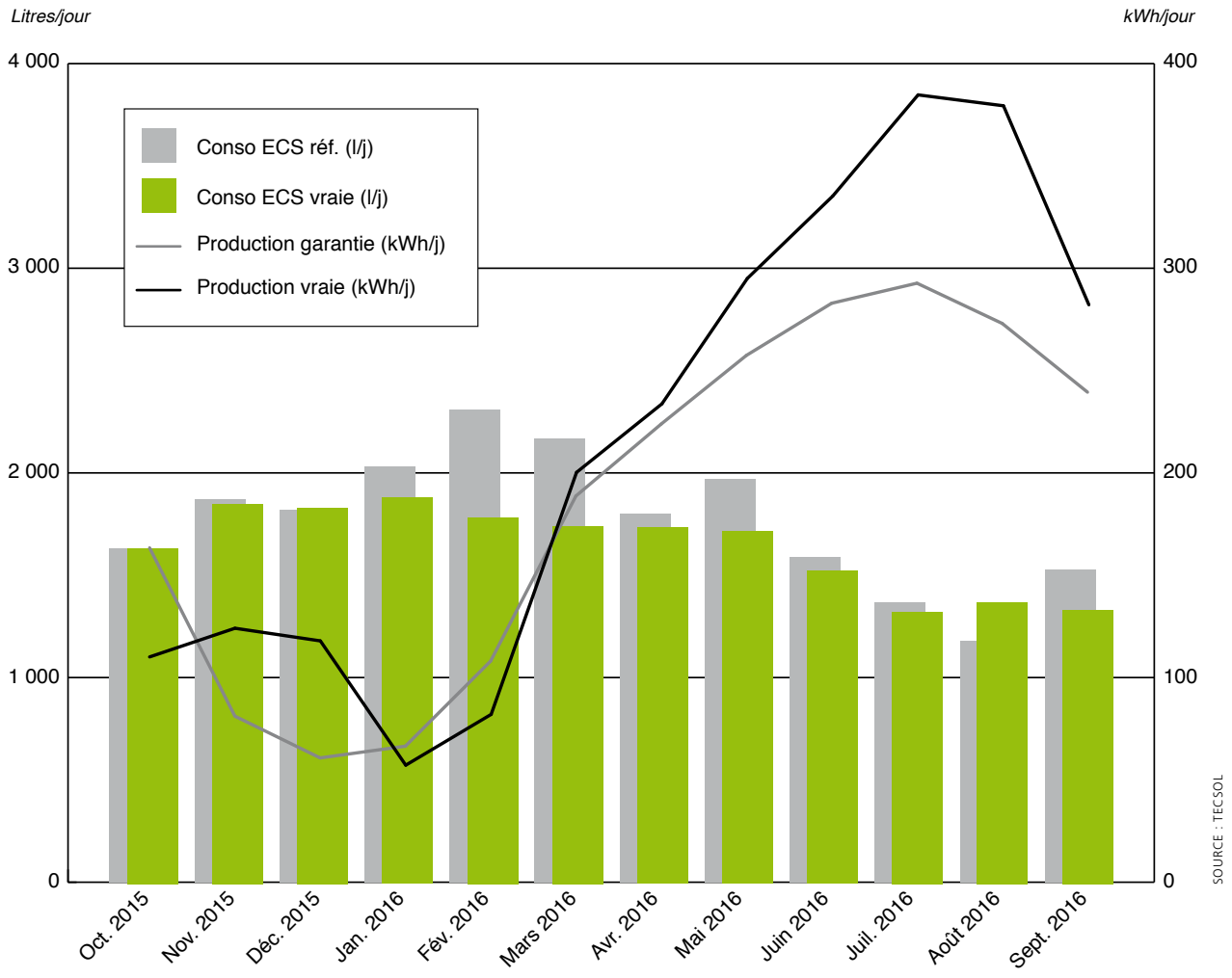
Les contre-performances des installations solaires ne doivent pas occulter que de multiples sites fonctionnent bien et assurent de substantielles économies d'énergies fossiles au maître d'ouvrage. Exemples avec les bailleurs sociaux Adoma, en Auvergne-Rhône-Alpes, et Moselis, en région Grand-Est, dont les postes ECS ont baissé de 40 à 60 %. PAR JULIETTE TALPIN

Réduire de 38 % la consommation de combustibles de son parc entre 2010 et 2020. Voilà l'objectif que s'est fixé Adoma, filiale du groupe SNI (Caisse des dépôts), qui accueille près de 71 000 personnes en grande précarité dans ses 400 résidences et foyers français. Car la particularité de ce bailleur est de ne pas répercuter les factures d'énergie sur les locataires. Adoma a réalisé des audits énergétiques et identifié trois leviers principaux pour réduire ses factures d'énergie : l'isolation des bâtiments, la mise en place de chaudières plus performantes et l'installation de centrales solaires pour l'eau chaude sanitaire (ECS).

Dans deux ans, 25 des 80 résidences Adoma d'Auvergne-Rhône-Alpes seront équipées de centrales solaires thermiques.

Sur la question du solaire, la direction Auvergne-Rhône-Alpes s'est montrée particulièrement enthousiaste. Trois raisons à cela selon Cédric Alonso, responsable du

PERFORMANCES MESURÉES SUR LA RÉSIDENCE ADOMA LA PEUPLERAIE DE PONT-DE-CHÉRUY (ISÈRE) ENTRE OCTOBRE 2015 ET SEPTEMBRE 2016



service énergie : *« l'ensoleillement favorable sur cette région, des sites adaptés et la réussite des premières installations »*.

Entre 2011 et 2016, Adoma a mis en route 20 installations d'environ 100 m² chacune pour un investissement global de 2,5 M€ en Auvergne-Rhône-Alpes (aides Ademe et Région de 50 %). Un quart des 80 résidences ont donc été équipées et 5 autres le seront bientôt. *« Les résidences Adoma sont particulièrement adaptées à la mise en place de centrales solaires car ce sont de grands bâtiments avec de grandes surfaces disponibles en toiture-terrasse et des besoins en eau chaude sanitaire importants (80 l/personne/jour) et constants sur l'année (pas de risque de surchauffe des capteurs) »*, explique Cédric Alonso. À chaque rénovation énergétique d'une résidence, le solaire est donc systématiquement étudié et il est retenu s'il apporte les meilleures baisses de consommation de gaz.

Temps de retour de 10 à 20 ans

Dans les 20 centrales en place, la couverture solaire varie entre 40 et 50 % (hors bouclage), ce qui assure un temps de retour sur investissement de 10 à 20 ans (avec subventions). Prenons par exemple le cas de la résidence La Peupleraie à Pont-de-Chéruy (Isère, 240 lits), qui consomme 6 500 m³ d'ECS par an. L'installation de 122 m² de capteurs autovidangeables SKR 500 avec 6 000 litres de capacité de stockage solaire affiche un taux de couverture de 42 % (hors bouclage) pour une production de 667 kWh/m² entre octobre 2015 et septembre 2016 (voir graphique ci-dessus). *« Le taux de couverture n'est pas énorme, mais nous avons préféré maximiser la production par m² de capteur »*, souligne Marie-Lyne Laquerrière-Saudax, responsable de l'agence Tecsol Auvergne-Rhône-Alpes, qui a conçu 12 des 20 centrales solaires

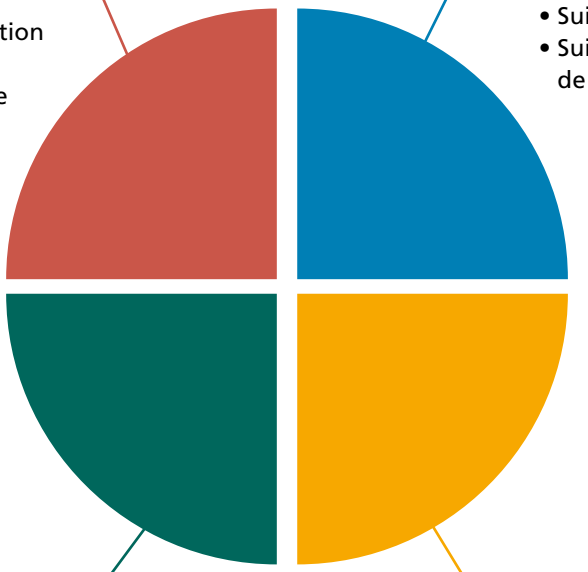
LES CLÉS DU SUCCÈS

LE MAÎTRE D'ŒUVRE

- Conception simple
- Facilité d'exploitation
- Assistance lors des opérations de réception (AOR) de qualité
- Implication en phase d'exploitation

LE MAÎTRE D'OUVRAGE

- Suivi dès la phase de conception
- Réception de l'installation en plusieurs étapes
- Suivi poussé sur les 6 premiers mois
- Suivi mensuel des données de production



L'INSTALLATEUR

- Formation et compétences reconnues
- Interactions avec le MOE - phase de réglages
- Réalisation d'un DOE de qualité
- Implication sur au moins 1 an

L'EXPLOITANT

- Formation et compétences reconnues
- Passage de consignes efficace
- Implication dans la performance de l'installation (GRS, PFI)

SOURCE : ADOMA

d'Adoma Auvergne-Rhône-Alpes. Aux tarifs actuels du gaz (historiquement bas), l'économie est d'environ 4 100 € par an, sachant que l'installation a coûté 128 000 € avec une aide de 56 000 € du Fonds chaleur de l'Ademe.

Les clés du succès

Pour Cédric Alonso, trois points sont essentiels pour obtenir une installation solaire performante. Le premier est le télésuivi des installations qui alerte en cas de situation anormale. *« Indispensable »* selon lui. Les 20 résidences solaires d'Adoma sont équipées du télésuivi détaillé de Tecsol ; le coût est de 600 € HT par an et par installation, un budget pris en compte dans les économies réalisées. Ensuite, il faut connaître précisément les besoins de chaque résidence tout au long de l'année afin de bien dimensionner l'installation. Enfin, *« il est important d'être entouré par des entreprises compétentes : un bureau d'études qui conçoit un schéma simple, un installateur efficace et présent pendant au moins un an, et un exploitant impliqué »* (voir graphique ci-dessus). Sur ce dernier point, Adoma a signé avec l'exploitant E2S un contrat d'intéressement sur les économies de gaz permettant à la fois de l'impliquer dans la bonne gestion des centrales solaires et de mieux réguler les chaufferies en hiver. Une passation de consignes est par ailleurs systématique entre l'installateur et l'exploitant au moment de la mise en route.

En dernier lieu, le dossier technique et le schéma hydraulique sont laissés en chaufferie et des fiches de consignes sont fixées sur la porte.

La vigilance du maître d'ouvrage lui-même est aussi un point crucial : *« une installation solaire nécessite plus d'implication de la part du maître d'ouvrage que la gestion d'une chaufferie classique, notamment pour vérifier sur les relevés mensuels de production le bon fonctionnement des installations »*, souligne Cédric Alonso. ■

MOSELIS : LE POSTE "EAU CHAUDE" DIVISÉ PAR DEUX

Dans sa vingtaine de résidences équipées en eau chaude solaire, Moselis a réduit de moitié la facture d'eau chaude sanitaire des locataires. PAR AUDE RICHARD

MOSELIS

Sarrebourg, Freyming-Merlebach, Aumetz, Rémilly, Bouzonville, Uckange… Moselis, le principal bailleur social de la Moselle, compte une vingtaine de résidences équipées de panneaux solaires thermiques, producteurs d'eau chaude sanitaire (ECS). Depuis 2008, 7,1 % du parc locatif collectif de Moselis (soit 724 logements) ont été équipés de 1 230 m² de capteurs solaires, dont plus de la moitié dans le cadre de réhabilitations.

Un coût de 1 060 €/m² installé

Après plusieurs années d'optimisation, et grâce à un suivi régulier par télégestion, les équipements fonctionnent correctement. Le taux de couverture varie entre 50 et 60 %, ce qui impacte d'autant la facture énergétique des locataires. « *Nous ne répercutons pas le coût d'investissement du solaire sur les loyers pour rester attractifs. Résultat, la facture d'énergie des abonnés a été divisée par deux (de 100 à 50 €/an pour l'ECS)* », ajoute Daniel Pica, responsable énergie et équipements à Moselis.

Moselis a calculé que le coût d'une installation solaire par logement est en moyenne de 1 800 €, 2 260 € en neuf avec des panneaux intégrés en toiture, et 1 550 € en rénovation. Soit environ 1 060 €/m² installé, télégestion comprise. Un coût difficile à amortir quand le prix du gaz est très bas. Il faudrait qu'il avoisine les 700 €/m²… Pour diminuer les coûts, Moselis a tenté de participer à l'appel d'offres de l'Ademe sur les grandes installations, mais les subventions n'étaient pas au niveau espéré (lire encadré). Ce qui n'a pas empêché Moselis d'investir dans deux nouvelles installations, de 100 m² chacune, mises en service en 2017, et de travailler avec le fabricant Viessmann pour rendre les panneaux plus performants, en évitant les surchauffes.

À SAVOIR
ÉVOLUTION DES SUBVENTIONS POUR LES BAILLEURS SOCIAUX

Considérés jusqu'en 2015 comme des acteurs du secteur concurrentiel, les bailleurs sociaux ne pouvaient dépasser les 45 % de subventions du Fonds chaleur de l'Ademe. Dorénavant, ils sont reconnus comme des acteurs de service d'intérêt général. Ce statut leur permet d'atteindre un plafond de subvention de 65 %. Cependant l'Ademe reste très vigilante sur les coûts et les modalités de suivi et d'exploitation.

CHAUFFAGE SOLAIRE

DES PETITS COLLECTIFS BEPOS AVEC CAPTEURS MUTUALISÉS

Pour atteindre le label Bepos sur 3 immeubles de 40 logements en Seine-Maritime, Logéal Immobilière a choisi le chauffage solaire direct, mutualisé par groupes de 8 appartements. Résultat : une consommation de 22 kWh_{EP}/m^2.an compensée par de la production photovoltaïque. PAR JULIETTE TALPIN

300 m² de capteurs solaires thermiques en toiture sont associés à 300 m² de panneaux photovoltaïques en façade.

Le chauffage solaire est-il l'avenir du Bepos (bâtiment à énergie positive) dans le logement collectif ? Peut-être si l'on considère, d'une part, la faible surface de toiture des immeubles pour placer des panneaux et, d'autre part, le bien meilleur rendement des capteurs thermiques par rapport à leurs homologues photovoltaïques. Rappelons que 1 m² de capteur thermique peut générer 600 kWh/an dans le sud de la France alors que 1 m² de capteur photovoltaïque se limite à environ 160 kWh/an dans les mêmes conditions.

Pour son programme Bepos "Presqu'Île" à Malaunay (Seine-Maritime), retenu dans l'appel à projets Prebat 2 et réceptionné en 2015, le bailleur Logéal Immobilière a ainsi misé en priorité sur le solaire thermique. Et contrairement à la pratique courante d'une couverture des seuls besoins en eau chaude sanitaire (ECS), l'organisme a opté pour un système combiné prenant aussi en compte les besoins de chauffage.

Solaire direct : 20 % de rendement en plus

Pour rendre passifs les 3 immeubles de 40 logements (3 200 m² au total), il fallait dimensionner les besoins en chauffage à moins de 15 kWh_{EP}/m^2.an. Un important travail a donc été réalisé sur le bioclimatisme (bâtiment compact, orientation optimisée…) et sur l'isolation des parois et menuiseries. Puis, pour la couverture des besoins en chauffage et ECS, c'est une technologie originale pour du collectif qui a été choisie. Il s'agit du chauffage solaire direct de la PME savoyarde Solisart. Sa particularité est d'envoyer directement la chaleur des capteurs solaires dans un plancher chauffant ou des radiateurs, sans passer par un ballon de stockage ni des échangeurs. Le rendement est amélioré car les pertes d'énergie sont moindres et la température de l'eau circulant dans les capteurs est plus basse. Et en effet, une amélioration de rendement de 20 % a été mesurée par l'Ines (Institut national de l'énergie solaire) dans des logements individuels par rapport au meilleur autre chauffage solaire. De ce fait, les économies d'énergie sur les postes chauffage et ECS sont en moyenne de 45 % pour les habitations anciennes et de 65 % pour les habitats récents ou bien isolés.

En termes de chauffage et d'ECS, le bâtiment affiche une consommation limitée à 22 kWh_{EP}/m^2.an.

Pas de bouclage

L'autre originalité de cette installation solaire est le choix d'une mutualisation partielle des équipements solaires. Ils comprennent 2 champs de capteurs plans de 120 m² chacun intégrés et d'un champ de 60 m² sur châssis. Des "îlots" de 60 m² alimentent des groupes de 8 logements afin d'améliorer la productivité des capteurs solaires. La mutualisation permet de réduire les coûts (une seule tuyauterie pour les 60 m² de capteurs) et augmente les économies d'énergie : si une famille part en vacances, l'énergie solaire des capteurs peut servir aux autres. En revanche, chaque appartement compte son propre ballon d'eau chaude sanitaire afin d'éviter le bouclage ECS. *« Dans les logements neufs, le poste chauffage est tellement faible que l'ECS est devenue un enjeu fort d'économies d'énergie, donc il est intéressant de supprimer le bouclage sanitaire qui peut représenter jusqu'à 50 % des consommations d'ECS »*, explique Olivier Godin, président de Solisart. *A contrario,* les chaudières gaz sont elles aussi mutualisées à raison d'une chaudière pour 8 appartements. Il en résulte une baisse du coût de l'installation et de la maintenance de ces chaudières, et donc au final un prix d'abonnement plus faible.

Les consommations du bâtiment sur le chauffage et l'ECS se limitent à 22 kWh_{EP}/m^2.an. Les dépenses d'énergie (P1) représentent seulement 74 €/logement de 95 m² (avec un coût du MWh gaz à 35 €). Quant aux postes maintenance et renouvellement, ils sont évalués à 113 €/logement/an (P2) et 36 €/logement/an (P3). Ces coûts sont partiellement compensés par la vente d'électricité sur le réseau des 300 m² de capteurs photovoltaïques – en façade – après autoconsommation d'une partie. ■

La Maison de l'Île-de-France est le plus grand bâtiment européen utilisant un système de chauffage solaire avec stockage intersaisonnier.

ARCHITECTE ANMA – AGENCE NICOLAS MICHELIN & ASSOCIÉS / MAISON GÉNÉRALE

STOCKAGE INTERSAISONNIER

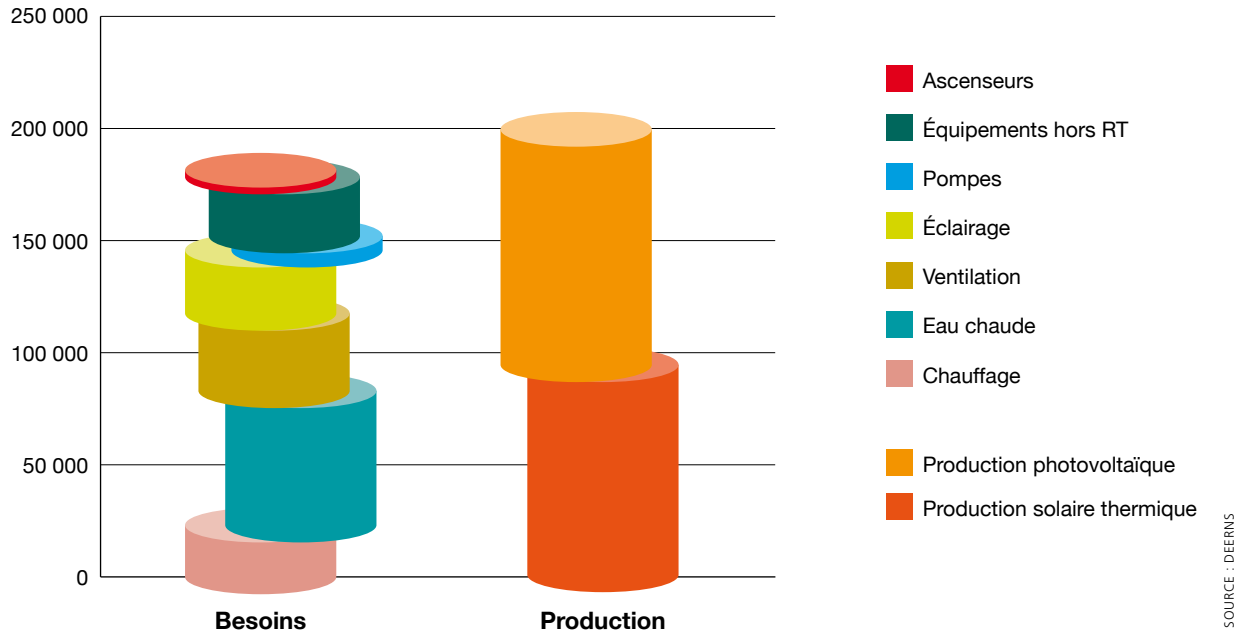
MAISON DE L'ÎLE-DE-FRANCE : L'AUTONOMIE PAR LE SOLAIRE

La Maison de l'Île-de-France, nouvelle résidence étudiante située dans la Cité internationale universitaire de Paris, couvre par ses installations solaires thermique et photovoltaïques l'intégralité de ses consommations d'énergie. L'innovation vient des 325 m² de capteurs solaires thermiques verticaux qui alimentent un stockage intersaisonnier de 160 m³ pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Révolutionnaire ! PAR JULIETTE TALPIN

ZEN, la Maison de l'Île-de-France est ZEN : Zéro Énergie Nette. Non seulement elle produit autant d'énergie qu'elle en consomme, mais en plus, elle est neutre en carbone. L'originalité de la proposition technique du tandem Deerns (bureau d'études fluides et environnemental) et Anma (Agence Nicolas Michelin et associés, architectes du projet) repose en effet sur la couverture à 100 % des besoins par du solaire. Depuis début 2017, l'intégralité de la demande de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS) est couverte par une centrale solaire thermique ; et la production photovoltaïque compense les besoins de l'éclairage, de la ventilation ainsi que des usages électriques "non réglementaires". 13,3 M€ ont été investis par la Région Île-de-France dans cette nouvelle résidence étudiante de la Cité internationale universitaire de Paris (14e). Le projet a reçu une aide de 100 000 € dans le cadre de l'appel à projets Bepos (bâtiments à énergie positive) de l'Ademe.

L'enveloppe de ce bâtiment de 5 200 m² présente des performances thermiques exceptionnelles conduisant à de très modestes consommations de chauffage : moins de 5 kWh/m²/an.

CONSOMMATIONS ET PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE DE LA MAISON DE L'ÎLE-DE-FRANCE (EN KWH)



SOURCE : DEERNS

Ce résultat s'explique par une épaisseur d'isolation de 40 cm dans les parois et la toiture, mais aussi par la préfabrication des murs en usine pour réduire les ponts thermiques. De plus, le niveau de perméabilité à l'air du bâtiment est extrêmement bas (N_{50} de 0,1 h^{-1}).

Eau chaude stockée pour l'hiver

Mais le véritable challenge "énergétique" concernait l'ECS, le plus gros poste de consommation du bâtiment (15 k/m²/an). Pour réduire les besoins, le débit des douches a été limité à 8 l/min, soit un tiers de moins que le standard. Un système de récupération de la chaleur des eaux grises des douches a aussi été installé : *« un échangeur à plaques gravitaire transfère l'énergie thermique contenue dans les eaux grises évacuées à 30 °C, pour préchauffer l'eau froide qui entre à 12 °C dans le réseau »*, détaille Julien Daclin, directeur Performance environnementale chez Deerns France. Ces besoins de chauffage et d'ECS seront couverts par une centrale solaire thermique totalement innovante.

Ce système solaire comprend 325 m² de tubes sous vide positionnés en façade sud du bâtiment. Ces tubes possèdent un angle de 30° environ par rapport à la verticale pour maximiser la production de chaleur. L'eau chauffée par le soleil est envoyée dans deux cuves verticales de 156 000 litres au total, isolées par une double peau (équivalant à 80 cm de laine de roche). Elles assurent un stockage intersaisonnier de l'eau chaude solaire. En fin d'été, l'eau des cuves est à 90 °C sur toute la hauteur puis, au fur et à mesure de l'hiver, la température baisse dans les strates inférieures jusqu'à atteindre 40-45 °C partout. L'innovation tient à cette "stratification" de la chaleur. *« La conception de ces cuves avec des connexions hydrauliques à différents niveaux permet de maintenir l'eau chaude haute température (90 °C) en haut de cuve. L'eau en partie basse, à une température plus faible, est renvoyée vers les panneaux pour maximiser leur rendement. Du côté besoins, l'eau est puisée dans la strate à la température adaptée : 35-45 °C pour le chauffage et 65 °C pour l'eau chaude sanitaire »*, explique Julien Daclin. Lorsque la température de l'ensemble de la cuve a atteint 40-45 °C en fin d'hiver, permettant toujours d'assurer le chauffage, l'appoint est assuré par le réseau de chaleur de la Ville de Paris, CPCU. Cette consommation est compensée exceptionnellement en été lorsque les capteurs produisent davantage de chaleur que les cuves ne peuvent en stocker.

La Maison de l'Île-de-France produit autant d'énergie qu'elle en consomme. Elle est neutre en carbone et ne génère aucun déchet nucléaire.

Bilan positif sur l'électricité

Sur les postes chauffage et ECS, l'autonomie énergétique du bâtiment est une réalité puisque les 105 000 kWh consommés par an proviennent quasi exclusivement de la production solaire (voir graphique ci-dessus). Quant aux consommations électriques, estimées à

AUTOCONSOMMATION SOLAIRE : LE THERMIQUE GAGNE SUR TOUS LES PLANS

L'autoconsommation d'électricité photovoltaïque est sous les feux de la rampe depuis plusieurs mois. Pourtant, la chaleur solaire toujours autoconsommée et déjà bien installée, affiche un meilleur bilan. *« Si l'objectif du maître d'ouvrage public est la baisse de l'empreinte carbone de ses bâtiments, il n'y a pas photo, car le thermique assure une réduction des émissions de CO_2 3 à 4 fois supérieure à celle du photovoltaïque »*, souligne Richard Loyen, délégué général d'Enerplan (voir tableau ci-dessous). Par ailleurs, les coûts de production de 1 kWh sont équivalents pour les 2 technologies à une différence près : le solaire thermique intègre le stockage d'énergie contrairement au PV, pour lequel cette fonctionnalité est encore très chère (plus de 100 €/MWh). Enfin, pour le logement collectif dont les surfaces en toiture restent contraintes, le solaire thermique affiche une puissance surfacique 6 fois supérieure au PV. Reste que les deux technologies répondent à des usages différents, et peuvent donc être complémentaires. D'où la cohérence des solutions hybrides.

65 000 kWh/an, elles sont largement compensées par la production d'électricité photovoltaïque de 90 000 kWh/an injectée dans le réseau. Il faut dire que Deerns a cherché à maximiser cette production malgré le peu de surface disponible. *« Tout d'abord, nous avons sélectionné les capteurs monocristallins les plus performants (près de 21 % de rendement) ; ensuite, nous avons limité la surface utilisée pour les cheminements grâce à des praticables mobiles se déplaçant au-dessus des capteurs »*, souligne Julien Daclin. L'électricité produite par les 563 m² de capteurs compense les usages réglementaires (ventilation, éclairage), mais aussi non réglementaires (ascenseurs, ordinateurs, appareils électriques des étudiants, usages électriques des cuisines). D'autant que les besoins ont été minimisés : LED dans les chambres, détection de présence dans les zones de passage, ascenseurs à récupération d'énergie… Autant de choix qui permettent d'atteindre le Zéro utilisation nette d'énergie et le Zéro émission de CO_2. ■

SOLAIRE THERMIQUE ET PHOTOVOLTAÏQUE : COMPARAISON ENTRE LES TECHNOLOGIES

	SOLAIRE THERMIQUE	PHOTOVOLTAÏQUE
Puissance surfacique	1 kW produit 850 kWh/an avec 1,42 m² de surface (ECS en logement collectif, sud France)	1 kW produit 1 300 kWh/an avec 8 m² de surface (sud France)
Prix complet de l'énergie (LCOE)*	Prix pour 35 kW (50 m²) : - 102 €/MWh en 2016 avec stockage - 67 à 82 €/MWh en 2023 avec stockage	Prix pour 36 kW (290 m²) : - 94 €/MWh en 2016 sans stockage - 74 €/MWh en 2023 sans stockage
Économies de CO_2	0,243 kg/kWh (par rapport au gaz naturel) 0,314 kg/kWh (par rapport au fioul)	0,083 kg/kWh pour les besoins électriques d'ECS

SOURCE : ENERPLAN

** Prix issus de l'étude I-Care 2017.*

HÔPITAL DE CREST

DE L'EAU CHAUDE SOLAIRE
POUR LES PATIENTS

Comme de nombreux établissements de santé, l'hôpital de Crest, au sud de Valence, a choisi le solaire thermique pour produire de l'eau chaude sanitaire. Un schéma hydraulique spécifique a été installé. PAR AUDE RICHARD

Le solaire thermique est une des énergies idéales pour un établissement de santé. En effet, les besoins en eau chaude sanitaire sont élevés et constants. Le conseil de surveillance de l'hôpital de Crest (Drôme) n'a pas hésité lors de la construction du nouvel hôpital. Il a fait installer 50 m² de capteurs solaires thermiques. *« L'installation a coûté 72 000 euros, avec une subvention de l'Ademe qui devrait s'élever à près de 40 % »*, se souvient Thierry Gaucherand, responsable administratif et financier de l'hôpital. Elle vient compléter deux chaudières gaz de 220 et 320 kW.

Un schéma contre le risque de légionelle

Si le solaire thermique s'adapte très bien aux besoins des hôpitaux, un schéma hydraulique spécifique est fortement recommandé pour éviter le risque de légionelle. On parle de schéma en "eau technique". Contrairement aux installations classiques, l'eau distribuée n'est pas directement chauffée par les capteurs. Un échangeur à plaques est placé entre le stockage solaire et le ballon de distribution, qui est porté à une température de 55 à 60 °C, avec un appoint au gaz si nécessaire. Ce schéma demande davantage de monitoring et de comptage et augmente sensiblement les pertes de calories. Mais les volumes d'eau distribuée, très importants dans les hôpitaux, justifient le recours aux installations solaires thermiques.

Avec son bardage bois, la récupération d'eau de pluie, des nichoirs et 50 m² de panneaux solaires, l'hôpital de Crest est certifié "haute qualité environnementale" et reconnu par la ligue de protection des oiseaux.

À ce jour, cette technique est parfaitement maîtrisée. Des schémas en "eau technique" sont recensés au sein de la schématèque de Socol et servent de référence. Cependant, en 2010, lors de l'étude de l'hôpital de Crest, cette schématèque n'existait pas. Le schéma hydraulique fondé sur le système Sonnenkraft était assez compliqué. Aujourd'hui, les erreurs de comptage retardent le versement total de la subvention de l'Ademe. *« Nous avons des difficultés à obtenir la valeur utile produite par le solaire et sa conformité avec l'étude de conception. Nous devons voir si le problème vient du compteur ou de son emplacement »*, explique Fabrice Bettwy, de la direction régionale Auvergne-Rhône-Alpes de l'Ademe. Entre la conception et la pose des panneaux, un service de chirurgie a fermé. Comme les panneaux étaient déjà en place, l'installation est légèrement surdimensionnée. Néanmoins, elle fonctionne tout à fait correctement, car la chaleur peut être déchargée sur la boucle de distribution, et le système sous-pression n'enregistre aucune surchauffe ni panne des pompes. Le taux de couverture est de 54 %, et la productivité brute au niveau de la boucle primaire des capteurs solaires est de l'ordre de 500 kWh/an/m². Un bon score par rapport à la moyenne de la région Auvergne-Rhône-Alpes, autour de 400 kWh/an/m². ■

CENTRES AQUATIQUES
SÈTE OPTE POUR LES PANNEAUX HYBRIDES

Alors que le centre aquatique était le site le plus énergivore de la ville, Sète a choisi l'autoconsommation avec des panneaux hybrides associés à de l'aquathermie. La demande en énergie a chuté de 100 MWh en sept mois.

PAR AUDE RICHARD

DUALSUN

À Sète (Hérault), le centre aquatique Raoul-Fonquerne est très fréquenté, avec près de 120 000 baigneurs par an. Une belle attraction pour les citoyens, mais très énergivore. En mai 2016, la ville et l'exploitant Dalkia ont décidé de passer l'installation aux énergies renouvelables, mixant solaire et aquathermie, avec deux systèmes ingénieux. À côté de la piscine, des panneaux hybrides DualSun, photovoltaïques et thermiques, sont posés en ombrière sur le parking et recouvrent 300 m². D'une puissance de 45 kW, l'installation, qui abrite les voitures des baigneurs, permet de produire 61,4 MWh d'électricité par an qui sont autoconsommés directement sur site. L'ingéniosité de l'installation réside dans le fait qu'elle produit aussi de la chaleur (81,3 kWh/an), ce qui couvre environ 30 % des besoins en eau chaude (piscine + ECS) et permet d'augmenter de 5 °C la température des bassins de baignade. Au total, l'installation solaire produit 142,7 MWh d'énergie (pertes thermiques dans les réseaux de distribution déduites).

180 panneaux DualSun produisent environ 143 MWh/an, aussi bien de la chaleur que de l'électricité.

2,5 FOIS PLUS D'ÉNERGIE

Un fluide passe sous les panneaux photovoltaïques et capte la chaleur qui s'en dégage. Deux échangeurs assurent le transfert des calories vers l'eau des douches, puis vers celle des bassins. Le fluide refroidi repart vers les panneaux, en boucle. *« Sur une piscine, il y a une concomitance entre la consommation et la production, donc cela fonctionne bien pour le*

solaire. Il n'y a pas besoin de stocker beaucoup pour l'ECS, et il est facile de décharger le surplus de production lorsqu'il n'y a pas de consommation dans les bassins, qui deviennent eux-mêmes le stock thermique de l'installation », explique Jean-Paul Girard, chef de projet de Dalkia Méditerranée.

L'avantage de ce type de panneau par rapport à un panneau photovoltaïque est double : il permet de produire de la chaleur, mais aussi d'augmenter la productivité électrique des panneaux. L'eau de la piscine ne dépasse pas les 30 °C, ce qui est assez froid et permet de réguler les températures sous les panneaux photovoltaïques, autour de 30-35 °C. Ce refroidissement améliore de 5 à 10 % les rendements électriques. *« Ces panneaux coûtent 1,5 à 1,7 fois plus que des panneaux photovoltaïques classiques. Mais ils fournissent entre 2,5 et 3 fois plus d'énergie que du photovoltaïque seul. Le retour sur investissement est donc bien meilleur »*, indique Jérôme Mouterde, cofondateur de DualSun, l'entreprise qui fabrique ces panneaux hybrides. Les panneaux ont coûté 300 000 €, avec une aide de l'Ademe de 175 000 €, au titre du Fonds "Nouvelles technologies émergentes" (NTE). *« Ce projet a été réfléchi il y a deux ans. C'était l'un de nos projets en piscine collective. Aujourd'hui, nous multiplions les installations de ce type et nous maîtrisons mieux les coûts de production et d'installation. Ils ont diminué de moitié »*, ajoute Jérôme Mouterde. Après sept mois d'exploitation, le bilan est positif. Les résultats dépassent les estimations de production de 14 % sur la partie thermique et de 9 % sur la partie photovoltaïque. Les économies d'énergie s'élèvent depuis juin 2016 à 106 Wh.

SOLAIRE

– 300 m² de panneaux hybrides DualSun sur ombrière, autoconsommation de l'électricité et utilisation de la chaleur pour les bassins et les douches.
– Orientation / Inclinaison : - 20° / Sud, 10°.

SYSTÈME THERMIQUE

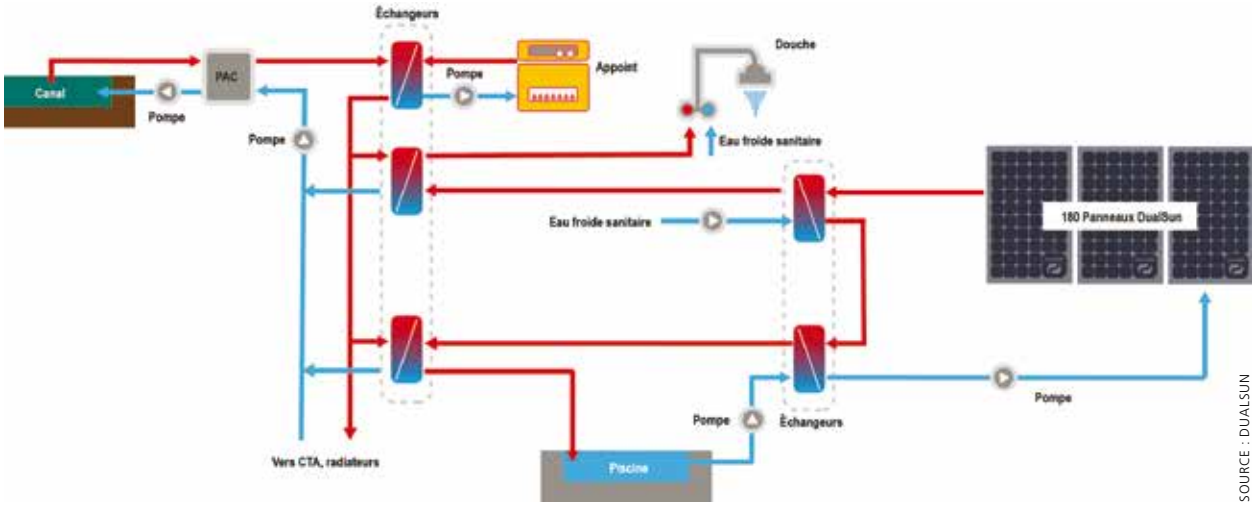
– En appoint : 1 chaudière à gaz à condensation.
– 3 pompes à chaleur eau/eau Carrier d'une puissance de 100 kW chacune assurent aussi la production de chaleur.

PAC ET AQUATHERMIE

En plus du rayonnement solaire, 3 pompes à chaleur eau/eau Carrier, d'une puissance de 100 kW chacune, assurent le complément de chaleur. Les calories sont puisées dans le canal qui longe la piscine. Une chaudière gaz à condensation a été installée en appoint. Elle fournit environ 14 % des besoins.

Cette installation alimente aussi un mini-réseau de chaleur de 200 m jusqu'à l'IUT voisin pour chauffer les salles d'enseignement. Fin 2014, Sète a signé avec Dalkia un contrat de performance énergétique sur 105 bâtiments communaux et 3 piscines. L'objectif est de réduire d'un quart les consommations d'énergie primaire des bâtiments, et d'un tiers celles des piscines du centre aquatique. ■

DEUX ÉNERGIES POUR L'EAU CHAUDE SANITAIRE



SOURCE : DUALSUN

DEUX PLATEFORMES
POUR RÉUSSIR LES INSTALLATIONS

Le collectif interprofessionnel Socol, créé par Enerplan, propose sur son site une palette complète d'outils techniques sur le solaire collectif. Plus récemment, Cegibat, le centre technique de GRDF, a intégré à sa plateforme web des dossiers spécifiques.

PAR JULIETTE TALPIN

Installation solaire thermique collective à Saint-Chamond (Loire).

« *En tant qu'industriel, notre rôle, c'est de pousser les acteurs avec qui on travaille à suivre les démarches Socol. Ça commence à porter ses fruits !* » Ce témoignage recueilli par Observ'ER dans le cadre de son *Étude qualitative du marché des installations solaires thermiques collectives*[1], illustre bien la confiance qu'accordent les professionnels à l'initiative Socol.

Portée par Enerplan depuis 2009 avec le soutien de l'Ademe, cette action a permis de regrouper 2 000 acteurs autour du développement d'une chaleur solaire collective performante et durable (professionnels, experts et maîtres d'ouvrage). Plusieurs outils techniques gratuits sont aujourd'hui en ligne[2] pour réussir chaque étape de la vie d'un projet. Depuis les ratios de dimensionnement, jusqu'au contrat type de suivi et de maintenance, en passant bien sûr par les 6 schémas hydrauliques indispensables pour obtenir les aides du Fonds chaleur de l'Ademe. « *Nous avons aussi édité un guide complet pour mettre en œuvre la mise en service dynamique* [réception de l'installation et vérification de son niveau de performances suivi sur plusieurs mois, en présence des acteurs du projet, ndlr], *une démarche qui est aujourd'hui conseillée et sera bientôt exigée par l'Ademe pour les aides Fonds chaleur* », souligne Edwige Porcheyre, coordinatrice de projets chez Enerplan.

Avec le soutien de l'Ademe, l'initiative Socol a permis de regrouper 2 000 acteurs autour du développement d'une chaleur solaire collective.

GRDF ACCOMPAGNE LE SOLAIRE

Dans le cadre de sa mission de promotion du gaz et des usages qui lui sont liés, GRDF s'intéresse de près au solaire thermique collectif. Le tandem chaudière gaz à condensation et chauffe-eau solaire collectif fait en effet partie des solutions mises en avant pour "verdir" le gaz. Mais le distributeur de gaz entend aussi contribuer à une bonne réalisation des installations solaires. Il s'appuie pour cela sur Cegibat, son centre technique, qui propose tout comme Socol des outils spécifiques aux projets solaires thermiques collectifs. « *Nous ne voulons pas remplacer Socol, dont nous sommes adhérents, mais en compléter les outils ; par exemple nos schémas ont la même base mais ils sont plus précis sur les vannages et les régulations* », précise Pauline Evrard-Guespin, ingénieur efficacité énergétique pour GRDF Rhône-Alpes et Bourgogne. Sur le site Internet de Cegibat[3], une schématèque est donc disponible ainsi que des guides techniques sur les chauffe-eau solaires collectifs (dimensionnement, avantages, suivi…). Par ailleurs, sur le terrain, GRDF a un contact quotidien avec les collectivités du fait de son métier de gestionnaire de réseau de gaz. Un atout pour promouvoir la solution solaire. ■

1) Parue fin 2016. Téléchargeable sur energies-renouvelables.org
2) solaire-collectif.fr
3) cegibat.grdf.fr

INES

Une dizaine d'installateurs ont aujourd'hui la qualification Qualisol Collectif.

CONCEPTION-INSTALLATION
LA FILIÈRE APPORTE DES GARANTIES

Les difficultés de la filière solaire thermique collective s'expliquent en partie par le manque de compétences spécifiques des intervenants. Des garde-fous existent pourtant : outils Socol, accompagnement à la maîtrise d'ouvrage, garantie de résultats solaires et qualification des installateurs. PAR JULIETTE TALPIN

Pour la conception d'une installation solaire, l'idéal est bien sûr de faire appel à un bureau d'études spécialisé, mais ce n'est pas toujours possible. Le lot dit CVC (chauffage ventilation climatisation) qui comprend l'eau chaude sanitaire, est en général remporté par un bureau d'études fluides habitué à dimensionner des chaufferies gaz ou fioul, parfois des pompes à chaleur, mais rarement des centrales solaires. Dans ce cas-là, lorsque l'Ademe soutient financièrement le solaire, elle exige un accompagnement à maîtrise d'ouvrage par un bureau d'études spécialisé solaire. Alliance Soleil en Vendée réalise de telles missions. *« Je vérifie que le dimensionnement correspond bien aux besoins du projet, que le schéma hydraulique est cohérent et référencé dans la schémathèque de Socol. J'explique au bureau d'études et à l'installateur le fonctionnement des organes les uns par rapport aux autres. La logique de régulation doit être simple pour s'assurer que la centrale solaire produise les kWh thermiques attendus au fil des ans. Ensuite, je réalise une réception dynamique pour chaque installation, et un suivi de production minimum de deux ans »,* décrit Jean-Paul Louineau, fondateur d'Alliance Soleil.

Une assurance par la garantie de résultats solaires

Pour s'assurer du bon fonctionnement de son installation, le maître d'ouvrage peut signer un contrat de garantie de résultats solaires (GRS) avec le bureau d'études. Ce dernier s'engage alors à payer une pénalité si la production de la centrale solaire n'atteint pas le prévisionnel. Mais dans les faits, peu d'installations sous contrat de GRS ne produisent pas l'énergie solaire prévue. Un bilan réalisé par le bureau d'études Tecsol sur 100 installations suivies en GRS montre que 94 % des sites produisent plus de 80 % de l'énergie solaire calculée dans le logiciel de dimensionnement. Pourtant, Tecsol, inventeur de la GRS dans les années 1990, reste quasiment le seul bureau d'études à la pratiquer. *« Nous réalisons 90 % des contrats car, comme nous faisons la maîtrise d'œuvre de nos installations, nous avons suffisamment confiance dans leurs performances pour nous engager, et nous n'avons jamais eu aucun problème en 25 ans »,* précise Daniel Mugnier, responsable développement. Conscient de cet isolement, Tecsol travaille maintenant avec d'autres structures à un contrat de performance énergétique solaire (CPE solaire) qui engagerait conjointement le bureau d'études, l'installateur et l'exploitant.

La montée en compétences des installateurs passera par la qualification Qualisol collectif lancée en 2015.

Enfin, la montée en compétences des installateurs sera facilitée par la qualification Qualisol collectif lancée en 2015. Elle concerne aujourd'hui une dizaine d'entreprises. L'idéal serait de qualifier une cinquantaine d'installateurs qui deviendraient des spécialistes, à même de faire baisser les coûts grâce au volume annuel traité. ■

ALLIANCE SOLEIL

LE SOLAIRE
SE MET AU COMMISSIONNEMENT

Avec les exigences de performance énergétique, le commissionnement commence à se généraliser à tous les domaines du bâtiment. Ces procédures, qui permettent à une installation d'atteindre le niveau de performance contractuelle et de le maintenir dans le temps, concernent désormais le solaire thermique. Cette démarche s'adresse particulièrement aux bailleurs sociaux. PAR JULIETTE TALPIN

Depuis 2009, 60 % des installations solaires collectives concernent le logement (contre 40 % pour le tertiaire, l'industrie et l'agriculture cumulés). Or le secteur de l'habitat collectif a connu de multiples contre-références qui nuisent au développement de la filière. Selon l'Ademe, le problème est dû à l'organisation même de ces structures dont les services développement, réalisation et maintenance sont indépendants et ne communiquent pas suffisamment entre eux. « *Si les hypothèses de consommation d'eau chaude en conception ne sont pas validées par les départements construction et exploitation, il y a un risque de surdimensionnement ; de même, si la maintenance n'échange pas avec la construction, elle ne connaît pas l'installation lors de son intervention après la garantie de parfait achèvement*», constate Nadine Berthomieu, ingénieur service réseaux et énergies renouvelables à l'Ademe. En somme, il faut une vision globale dès la conception. La solution est donc de mettre en place une équipe garante globalement de la performance énergétique qui soit portée par la maîtrise d'œuvre ou toute entité juridiquement responsable de la conception-réalisation.

En Pays de la Loire, les centrales solaires disposent d'un carnet de santé permettant un suivi et une maintenance simples de l'installation.

Le génie climatique pionnier

Cette démarche, appelée commissionnement, demande surtout une traçabilité à chaque étape du projet et un engagement des intervenants, depuis la conception et tout au long de la vie de l'ouvrage. « *Il faut formaliser correctement toutes les transmissions de documents depuis le cahier des charges initial jusqu'à la remise de l'installation, afin de valider son bon fonctionnement et de donner à l'exploitant tous les éléments pour travailler correctement* », explique Xavier Cholin, expert solaire thermique de la plateforme de formation et d'évaluation de l'Ines (Institut national de l'énergie solaire). Dans les années 1990, les installations

de génie climatique ont été les premières à faire l'objet de telles procédures. Ces équipements complexes connaissaient à l'époque des pannes et des mauvais réglages liés aussi à ce manque de transmission d'informations entre la réalisation et l'exploitation. Mais la démarche commence à se généraliser à tous les domaines du bâtiment. Y compris à la filière solaire thermique. Depuis 2016, Socol, initiative chapeautée par Enerplan qui réunit 2 000 acteurs de la chaleur solaire collective, propose aux maîtres d'ouvrage un guide du commissionnement permettant de documenter chaque étape (disponible sur le site de Socol). *« En solaire thermique, la mise en service réelle intervient à l'arrivée des usagers, parfois plusieurs mois après la réception du bâtiment*, explique Edwige Porcheyre, coordinatrice du projet Socol chez Enerplan. *En raison de l'absence de puisage d'eau chaude sanitaire, des surchauffes de capteurs peuvent se produire si l'installation est mise en service dès la réception et avant l'arrivée des usagers, et entraîner ensuite des pannes du système. De plus, il est essentiel de mettre en place un suivi du système dès la mise en service, et d'impliquer l'exploitant le plus en amont du projet et si possible durant cette phase de mise en service dynamique. Il est important que l'exploitant dispose d'un dossier technique comprenant les documents essentiels de conception, mise en œuvre et réglages de l'installation (schéma, ratios de dimensionnement…). »*

Réception dynamique obligatoire

Et désormais, la maîtrise d'ouvrage ne devra plus se contenter de la seule réception "statique" (validation de la conformité de l'installation au schéma de conception). La réception "dynamique", qui consiste à mettre en route l'installation pour constater si elle fonctionne conformément à l'étude de dimensionnement, est aujourd'hui considérée comme incontournable pour éviter bien des problèmes ensuite. L'Ademe va d'ailleurs l'inscrire comme une forte recommandation qui deviendra obligatoire dès 2018 afin d'obtenir les aides du Fonds chaleur.

Carnet de santé de l'installation

En Pays de la Loire, un outil simple et opérationnel est utilisé depuis deux ans, le "carnet de santé". Il a été imaginé par Jean-Paul Louineau, fondateur en 2002 du bureau d'études Alliance Soleil (accompagnement maîtrise d'ouvrage, audits et expertises solaires) et soutenu par l'Ademe Pays de la Loire. *« Comme pour le suivi médical d'un enfant, le carnet de santé d'une centrale solaire comprend toutes les informations essentielles de la vie de l'installation »*, précise-t-il. Le document d'une vingtaine de pages est extrêmement pédagogique. Il intègre notamment une page "B-A-BA du solaire" (ou comment vérifier simplement que l'installation fonctionne ; par exemple, quand il fait beau entre 11 h et 15 h, la température du ballon solaire est au minimum de 40 °C). Outre la carte d'identité (intervenants, principales données techniques, schéma hydraulique), le fascicule prévoit une fiche de réception dynamique pour valider le fonctionnement effectif en quelques points. *« La réception dynamique est indispensable car l'important, ce n'est pas l'équipement (capteurs, tuyaux, ballons…) mais la production d'énergie renouvelable en kWh qui va sortir de l'installation »*, rappelle-t-il. Est également incluse une fiche de maintenance et de relevé de fonctionnement. Aussi, comme dans un carnet de santé médical, le document propose des courbes types permettant à l'exploitant de comparer la production d'énergie de sa centrale au théorique. *« Souvent, les valeurs sont relevées mais elles ne sont pas analysées. Il faut donner des garde-fous qui alertent les maîtres d'ouvrage »*, estime Jean-Paul Louineau. Le carnet de santé est placé dans la chaufferie avec le dossier technique, et systématiquement présenté à tous les acteurs intervenant sur la centrale solaire. L'Ademe Pays de la Loire l'a rendu obligatoire pour obtenir les aides Fonds chaleur. ■

ALLIANCE SOLEIL

Le carnet de santé est placé dans la chaufferie avec le dossier technique, et présenté à tous les acteurs intervenant sur la centrale solaire.

EXPLOITATION
ENTRE FORMATION ET OBJECTIFS DE PERFORMANCE

INES

Des techniciens d'exploitation sur le plateau technique de l'Ines à La Ravoire.

Les techniciens d'exploitation maîtrisent mal des centrales solaires peu nombreuses dans leur parc et de conceptions variées. Tandis que certains bailleurs exigent leur formation, d'autres vont jusqu'à intégrer la centrale solaire au contrat d'exploitation avec un objectif de performance. PAR JULIETTE TALPIN

Lorsqu'une installation d'eau chaude solaire collective fonctionne mal, l'exploitation est souvent mise en cause par le maître d'ouvrage. Le manque de compétence dans la conduite de centrales solaires lui est en général reproché. De son côté, l'exploitant explique la situation par une mauvaise conception de l'installation.

Face à cette situation, certains bailleurs ont choisi de reprendre en interne l'exploitation-maintenance de leurs centrales solaires. C'est le cas de Grand Lyon Habitat, premier bailleur social de la région lyonnaise avec 26 000 logements, qui dispose de 45 installations solaires thermiques collectives. Lors des États généraux de l'énergie solaire en octobre 2016, la responsable de la cellule énergie, Corinne Ramonet, a regretté *« un manque d'implication de nos exploitants et un manque de formation des techniciens »*. Le suivi et la maintenance sont donc assurés par les équipes de Grand Lyon Habitat, après audit de fonctionnement par le bureau d'études spécialisé Tecsol. *« L'intérêt est aussi que nos propres techniciens s'approprient les installations et sachent comment elles fonctionnent »*, poursuit-elle.

Lorsqu'une installation d'eau chaude solaire collective fonctionne mal, l'exploitation est souvent mise en cause par le maître d'ouvrage.

Formation des exploitants

D'autres bailleurs continuent à déléguer l'exploitation des centrales solaires, mais ils imposent la formation des exploitants. C'est le cas par exemple des offices HLM de la Drôme et de l'Ardèche (voir encadré). Les techniciens concernés ont été formés à l'Ines (Institut national de l'énergie solaire) qui a développé son propre enseignement depuis déjà plusieurs années mais souhaiterait la création d'un référentiel national commun.

DRÔME AMÉNAGEMENT HABITAT EXIGE LA FORMATION DE L'EXPLOITANT

Le bailleur social Drôme Aménagement Habitat compte 98 installations solaires thermiques sur son parc de logements. Dans le contrat d'exploitation signé avec Dalkia qui comprend un intéressement à la réduction des consommations de gaz, une clause prévoit aussi la formation des personnels d'exploitation à la conduite d'installations solaires. En 2014 et 2015, les huit techniciens Dalkia ayant des immeubles de Drôme Aménagement Habitat sur leur secteur, ont donc été formés par l'Ines. « *Nous étions présents lors des visites de diagnostic des installations effectuées par l'Ines. Nous avons donc vu, sur place et avec un spécialiste du solaire, les principaux problèmes rencontrés ; et ensuite nous avons été formés au suivi et à la maintenance des installations (1 journée)* », explique Julien Damian, chef de secteur chez Dalkia. Avant que Drôme Aménagement Habitat ne mette en place cette démarche, 20 % des installations fonctionnaient alors qu'aujourd'hui, c'est le cas de près de 80 % d'entre elles. Il s'agissait surtout de problèmes de conception. Pour Dalkia aussi, le bilan est positif : « *nous sommes plus sereins car nous savons que l'installation va fonctionner et nous avons des bases pour bien la suivre* », souligne Julien Damian. Suite à cela, le bailleur voisin Ardèche Habitat a eu la même exigence de formation des techniciens d'exploitation.

« *Aujourd'hui, les exploitants ne sont pas concernés par la qualification RGE, contrairement aux bureaux d'études et aux installateurs qui ont une obligation de formation ; mais ils pourraient former leurs équipes en interne si un référentiel partagé existait* », explique Xavier Cholin, expert solaire thermique de la plateforme de formation et d'évaluation de l'Ines. L'autre solution appliquée par certaines collectivités et bailleurs est de "récompenser" les économies d'énergie, et donc la bonne performance de l'installation solaire. Le volet P1 du contrat d'exploitation (fourniture et gestion de l'énergie) comprend alors une clause d'intéressement sur la baisse des consommations de gaz par rapport à la situation de référence. Les gains permis par le bon fonctionnement de l'installation solaire s'additionnent à ceux liés à l'optimisation des chaufferies.

CPE SOLAIRE

Une autre piste est la mise en place d'un contrat de performance énergétique (CPE) solaire intégré au CPE global d'un bâtiment. Le bureau d'études Tecsol y travaille au sein de l'association ICO, proche de GRDF, qui réunit des entreprises du génie climatique. « *À la différence de la garantie de résultats solaires, le CPE solaire définit précisément les limites de responsabilité de chaque entreprise du groupement, y compris l'exploitant* », précise Daniel Mugnier, responsable développement de Tecsol. Le CPE solaire éviterait les visites systématiques de l'exploitant en les remplaçant par des interventions à la demande.

Un autre outil a récemment fait son apparition dans le solaire, c'est le contrat CREM (conception, réalisation, exploitation, maintenance), signé par une entreprise de services énergétiques qui a donc la responsabilité de la performance sur l'installation. Un tel contrat a été passé pour le nouveau réseau de chaleur bois-solaire de Voreppe (Isère) entre la collectivité et ECHM (filiale de Veolia) pour un objectif de couverture solaire de 6 %. Enfin, dernière option : la vente d'énergie solaire thermique. Il s'agit d'une transposition du modèle photovoltaïque au solaire thermique : le développeur conçoit, réalise et exploite la centrale solaire et vend de la chaleur solaire. Les start-up NewHeat et Sunti ont adopté ce modèle pour leurs projets solaires chez des industriels. ■

INES

La mise en place de contrats de performance énergétique solaires permettrait des économies sur l'exploitation des centrales.

INSTRUMENTATION ET SOLAIRE CONNECTÉ

VERS UN SUIVI SYSTÉMATIQUE DES INSTALLATIONS ?

Le suivi des installations solaires est impératif pour vérifier leur bon fonctionnement mais aujourd'hui, 10 % seulement du parc fait l'objet d'une instrumentation et d'un suivi. Pourtant une généralisation du suivi permettrait d'intervenir efficacement à la moindre dérive de production.

PAR JULIETTE TALPIN

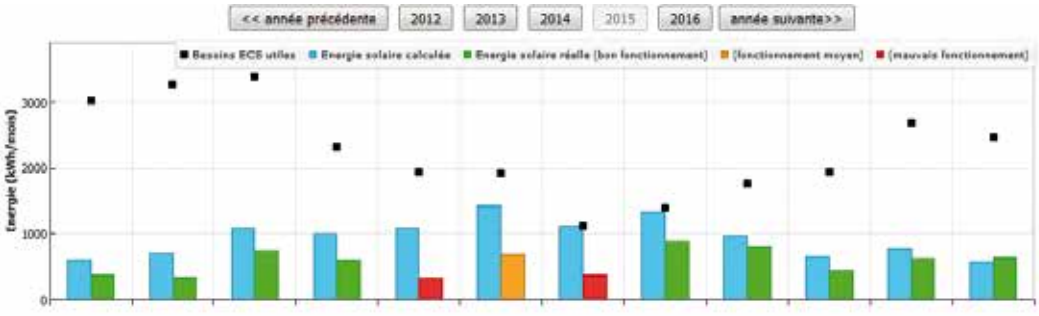
En solaire thermique, un kilowattheure peut en cacher un autre ! Car ces installations comportent toujours un appoint électrique ou gaz, bois… Donc même si elles fonctionnent mal, l'utilisateur aura toujours de l'eau chaude, l'appoint aura pris le relai. Voilà pourquoi le suivi des installations solaires en général, et collectives en particulier, est impératif. L'Ademe l'a d'ailleurs rendu obligatoire pour l'attribution des aides du Fonds chaleur : le relevé est manuel pour les sites de 25 à 50 m² de capteurs et automatique pour les installations de plus de 50 m². Une partie du versement des aides est conditionnée à la réalisation effective de ce suivi. Mais seules les installations récentes sont concernées et le suivi s'arrête souvent au bout d'une année. Par conséquent, on estime que 10 % environ du parc d'installations solaires thermiques collectives serait réellement suivi.

Le comptage d'énergie consiste généralement à poser un compteur hydraulique à l'entrée du ballon ou de l'échangeur et des sondes de températures (moins de 1 000 €TTC d'investissement hors télérelève). Au final, le couple "suivi + maintenance curative" peut s'avérer deux fois moins cher que de la maintenance préventive.

400 INSTALLATIONS SUIVIES À L'INES

Avec sa plateforme TéléSuiWeb créée en 2007, l'Ines (Institut national de l'énergie solaire) suit aujourd'hui plus de 400 installations dont deux tiers de logements collectifs. Les compteurs peuvent être relevés selon trois modalités différentes. Le suivi dit "manuel" concerne la moitié des installations (coût de mise en place de 650 € HT et abonnement annuel de 100 € HT). Par ailleurs, une centaine de sites envoient leurs données *via* le serveur de l'exploitant, à partir des relevés des techniciens sur leurs tablettes en chaufferie (coût identique au relevé manuel). Enfin, *« le système de télérelève est en progression et concernera bientôt un quart des installations suivies »*, précise Xavier Cholin, expert solaire thermique de la plateforme de formation et d'évaluation de l'Ines (coût de mise en place de 900 € HT et abonnement annuel de 180 € comprenant les communica-

DIAGRAMME DE RÉSULTAT DE SUIVI INES



INES

Année 2015	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	2015
Besoins (kWh)	3029	3281	3401	2325	1940	1920	1125	1393	1756	1940	2683	2473	27268
Solaire théorique (kWh)	614	716	1091	1014	1086	1435	1125	1343	977	660	773	574	11409
Solaire réel (kWh)	378	344	749	607	329	698	381	892	815	450	622	643	6918
Autoproduction solaire (%)	12	10	22	26	17	36	34	64	46	23	23	26	25

Exemple d'affichage des résultats de TéléSuiWeb de l'Ines. On observe ici que la centrale a mal fonctionné de mai à juillet 2015.

Le suivi des installations solaires en général, et collectives en particulier, est impératif.

tions et la mise à disposition de l'automate). Dans tous les cas, un dispositif d'alerte automatique mensuelle permet de signaler les dysfonctionnements. Les gestionnaires de parc reçoivent chaque mois un état récapitulatif très visuel (voir graphique p. 30). Dans son rapport 2016, l'Ines observe que les deux tiers environ des installations suivies sur logements collectifs présentent des ratios de performance supérieurs à 80 %, (ratio valeur mesurée sur valeur théorique de la productivité solaire par m² de capteurs) ce qui signifie que globalement les installations fonctionnent bien.

Tecsol propose l'alarme seule

De son côté, le bureau d'études Tecsol suit plus de 250 installations *via* des relevés manuels mensuels ou par télérelève automatique quotidienne. Pour respectivement 100 et 200 €/an, le maître d'ouvrage dispose d'un bilan énergétique, de calculs de performance et d'une détection automatique des anomalies soit mensuelle soit hebdomadaire (si la détection des anomalies est immédiate, le coût est de 600 € HT/an). Tecsol constate que 94 % des installations produisent plus de 80 % du prévisionnel. Par ailleurs, *« dans une centaine de sites, pour 50 €/an, nous avons mis en place un système encore plus simple avec une unique sonde de température sur le retour capteur, reliée à un serveur qui les compare aux informations d'ensoleillement géolocalisées ; en cas d'anomalie, un message d'alerte est envoyé par mail ou SMS dans les 24 h »*, précise Daniel Mugnier, responsable développement de Tecsol.

INES

Lorsque le suivi est réalisé en "manuel" et à distance, le relevé des compteurs se fait en général mensuellement.

De son côté, le constructeur Solisart a équipé d'un télésuivi dès 2009 ses systèmes de chauffage solaire direct chez les particuliers. Ses installations collectives en sont aussi équipées. *« La connexion à distance de l'installateur lui évite des déplacements, il peut effectuer un autodiagnostic sur son smartphone pour voir quel est le problème et intervenir à distance sur certains paramètres »*, explique Olivier Godin, président de Solisart. L'initiative a fait des émules car tous les fabricants de chauffe-eau solaires individuels équipent désormais leurs installations chez les particuliers de systèmes de télésuivi. ■

UN MODULE POUR SYSTÉMATISER LE SUIVI

Dans le cadre du programme "Initiative PME énergies renouvelables 2016" (IPME EnR*), le bureau d'études Tecsol a été retenu pour son projet Resist qui consiste à développer une plateforme de télésuivi solaire commune à tous les opérateurs. *« Presque une mission de service public »*, précise-t-on chez Tecsol. En parallèle à cette plateforme de réception de données, il s'agit de créer un module en codéveloppement avec Resol, fabricant de régulateurs qui équipe environ 80 % des chauffe-eau solaires du marché français. Le module permettrait de récupérer automatiquement les données de toutes les installations équipées par Resol, et donc de généraliser le suivi des installations solaires. Les premiers boîtiers pourraient être mis en place fin 2017 pour une commercialisation à partir de fin 2018. L'ensemble des données des installations françaises serait centralisé sur une même plateforme, ce qui faciliterait leur exploitation.

** Dans le cadre des Investissements d'avenir, Initiative PME énergies renouvelables permet de cofinancer des projets de recherche et développement contribuant à accélérer le développement et le déploiement de méthodologies, de technologies, de services et de solutions innovantes dans le domaine des énergies renouvelables.*

VALOPHIS

Les exploitants ont une mission de surveillance des centrales solaires, qui prévoit des diagnostics simples mais réguliers.

VALOPHIS :
CONSEILS POUR DU SOLAIRE PERFORMANT

Comme beaucoup de bailleurs, le groupe Valophis a connu des difficultés techniques et organisationnelles avec ses premières installations solaires thermiques. Avec l'expérience, le bailleur a défini une méthode de travail lui assurant des installations performantes. PAR JULIETTE TALPIN

Dans le cadre de son Plan Climat, le groupe Valophis, groupement d'organismes HLM franciliens, s'est fixé, entre autres objectifs, de développer les énergies renouvelables dans son mix énergétique. Dans le Val-de-Marne, les réseaux de chaleur à base géothermique occupent une place de choix, mais le solaire thermique est aussi très présent pour la fourniture d'eau chaude sanitaire (ECS) car la technique est devenue aujourd'hui performante et techniquement mature. Après des dysfonctionnements sur ses premières installations et l'étude de celles-ci, le groupe Valophis a en effet mis en place un mode opératoire qui lui permet d'optimiser les conditions de réussite de cette technologie.

1. Utilisation de capteurs autovidangeables

Sur les 55 centrales solaires thermiques en fonctionnement que compte aujourd'hui le groupe Valophis, 19 sont équipées de capteurs autovidangeables. Depuis 2015, le bailleur a généralisé cette technologie sur l'ensemble de ses

NOMBRE DE CENTRALES SOLAIRES CHEZ VALOPHIS HABITAT (FIN 2016)

NOMBRE DE CENTRALES SOLAIRES	SURFACE DE PANNEAUX	NOMBRE DE LOGEMENTS CONCERNÉS
55 installations en fonctionnement dont 19 en panneaux autovidangeables	3 836 m²	3 000 logements
11 installations en construction en panneaux autovidangeables	446 m²	350 logements

SOURCE : VALOPHIS

projets *« Nous excluons désormais les capteurs à tubes pour éviter les risques de surchauffe qui conduisent ensuite à des arrêts d'installations ou à des remplacements d'équipements »,* explique Gaëlle Madec, chargée de missions au service développement durable et innovation du groupe Valophis. *« Avec les panneaux autovidangeables, nous dimensionnons correctement les centrales sans risquer la surpression, les taux de couverture oscillent entre 40 et 50 % en général mais peuvent atteindre 80 % »,* ajoute-t-elle. Ces capteurs ont pour particularité de vidanger automatiquement le fluide caloporteur par gravité dès qu'il a atteint une température donnée (95 °C) et sont conseillés pour les installations consommant l'eau chaude sanitaire de façon intermittente.

2. Une conception par des spécialistes

Pour la conception de ses centrales solaires, le groupe Valophis travaille uniquement avec des bureaux d'études "qualifiés" dans la chaleur solaire et elle leur recommande fortement d'utiliser les schémas de Socol[1].

3. Responsabilisation des exploitants

Chez Valophis, seuls les sites ayant rencontré des dysfonctionnements sont instrumentés et suivis en télérelève. Ce mode de surveillance doit donc être complété par des visites de terrain. *« Pour qu'une installation solaire fonctionne bien, il faut s'y intéresser, il faut la suivre ; voilà pourquoi nous travaillons depuis 2010 à responsabiliser les entreprises d'exploitation sur ces types d'installations qui sont minoritaires dans leurs parcs »*, souligne Gaëlle Madec. Les exploitants ont donc une mission de surveillance sur site qui consiste à réaliser des diagnostics simples mais réguliers (relevés de température, pression, compteur de calories, signalement d'un dysfonctionnement…). Ils ont aussi un contrat de performance : l'énergie consommée pour le chauffage et l'ECS par les locataires (gaz, réseau de chaleur, électricité) qui intègre un apport solaire doit être inférieure de 30 % aux ratios habituels sans EnR.

4. Formations internes et externes

Le groupe Valophis s'est également impliqué dans la sensibilisation et la formation de ses équipes internes et des entreprises d'exploitation. Les différents retours d'expérience ont aussi été partagés en interne entre équipes de maîtrise d'ouvrage et d'exploitation. Ces échanges ont permis une montée en compétences générale des équipes et une meilleure connaissance des nouveaux produits.

« Les taux de couverture oscillent entre 40 et 50 % en général, mais peuvent atteindre 80 %. »

5. Communication entre les acteurs

Pour garantir le bon réglage et le bon fonctionnement dans le temps, Valophis a expérimenté en 2011 et 2012 les principes du "commissionnement", puis l'a généralisé en 2013. Le bailleur a sélectionné les points les plus pertinents du "Mémento du commissionnement" du Costic (destiné aux installations de génie climatique) pour permettre une meilleure communication entre les acteurs à certaines étapes clés, dont la mise en service. *« Installateur et exploitant sont présents au moment de la mise en service pour échanger sur la conduite de la centrale et ils se revoient quelque temps après pour ajuster les réglages »,* précise Gaëlle Madec.

6. Assistance à maîtrise d'ouvrage

À noter enfin que le bailleur se fait accompagner par trois bureaux d'études thermiques en assistance à maîtrise d'ouvrage sur la conception, le dimensionnement, la réalisation et l'exploitation de l'installation. *« Maintenant, nous détectons les problèmes de dimensionnement en amont, nous sommes beaucoup plus exigeants sur la qualité de la mise en œuvre et nous constatons donc un bien meilleur fonctionnement à la livraison, avec moins de retards »*. Le groupe Valophis s'est appuyé sur ses retours d'expériences et ceux d'autres bailleurs pour fiabiliser ses installations solaires thermiques et autres technologies EnR. Et ainsi, permettre à ses locataires de faire des économies sur leur facture d'énergie. ■

1) Voir schématèque sur www.solaire-collectif.fr

POMPE À CHALEUR SOLAIRE
JUSQU'À 67 % DE COUVERTURE ENR

La pompe à chaleur solaire utilise des capteurs non vitrés pour produire de l'eau chaude sanitaire collective toute l'année. L'absence de surchauffe dans les capteurs sécurise ces installations qui ne pâtissent pas des périodes de faible demande.

PAR JULIETTE TALPIN

Contrairement à d'autres types d'équipements thermodynamiques, les PAC solaires produisent, sans nuisance sonore, de l'eau chaude sanitaire à plus de 55 °C pour des températures extérieures variant de - 10 à + 50 °C.

HELIOPAC

La géothermie et l'aérothermie sur pompe à chaleur sont des technologies bien connues. La PAC valorise les calories stockées dans le sol ou dans l'air. Or, cette technologie permet aussi de capter l'énergie du soleil pour produire de l'eau chaude sanitaire. Le procédé n'est pas nouveau puisque les deux fabricants présents sur le marché, Heliopac (Tourcoing, Nord) et Giordano Industries (Aubagne, Bouches-du-Rhône), le commercialisent depuis plusieurs dizaines d'années. Mais les ventes ont vraiment décollé avec la mise en place des réglementations thermiques RT 2005 puis RT 2012 (la technologie a obtenu plusieurs titres V[1]). Aujourd'hui, on compterait quelque 700 PAC solaires en France, environ 600 pour Heliopac et 100 pour Giordano Industries. Comme cette technologie permet de produire de très grands volumes d'eau chaude sanitaire (ECS) – jusqu'à 90 000 litres par jour, elle est adaptée aux bâtiments qui en consomment beaucoup : habitat collectif surtout, mais aussi restauration collective, hôtellerie, établissements de santé, équipements sportifs…

Capteur non vitré

Le principe de la PAC solaire est d'utiliser un capteur souple basse température, non vitré, qui reçoit l'énergie du rayonnement solaire et l'énergie de convection de l'atmosphère, comme source de chaleur pour l'évaporateur d'une pompe à chaleur spécifique (voir schéma). Le capteur solaire peut également être un capteur solaire non vitré hybride, de type PV/T. Dans une classique PAC air/eau, l'évaporateur est une batterie à ailettes extérieure munie d'un ventilateur.

L'avantage de la technologie PAC solaire est son niveau élevé de couverture par les énergies renouvelables (soleil et atmosphère) car elle fonctionne toute l'année, mais aussi son faible recours à l'appoint. Le capteur souple apporterait, en moyenne sur l'année, 60 à 65 % de l'ensemble des besoins énergétiques liés à l'ECS (y compris les pertes de distribution), le solde correspondant à la consommation électrique des compresseurs (25-30 %) et à l'appoint (5-15 %). Mais Heliopac et Giordano annoncent même sur les installations du sud de la France une couverture de 67 % des besoins ECS par l'énergie solaire et atmosphérique, 32 % étant de l'électricité consommée par le compresseur des PAC et seulement 1 % d'appoint électrique. Avec un coefficient de performance (COP) supérieur à 3 (pour une production de chaleur à plus de 55 °C), les PAC solaires dépassent légèrement les PAC air/eau, et elles ont l'avantage de présenter une continuité de fonctionnement sur l'année et de travailler sur l'ensemble du besoin ECS, pertes de distribution comprises. *« Les PAC solaires produisent de l'eau chaude à plus de 60 °C en continu à des températures extérieures de - 10 °C à + 50 °C, ce qui n'est pas le cas de nombreuses PAC air/eau qui, au-dessous de 7 °C, voient leurs performances dégradées à cause du dégivrage et, au-delà de 35-40 °C extérieur, rencontrent des limites de fonctionnement »,* précise Vincent Maley, responsable recherche et développement de Giordano Industries.

Pas de surchauffe

Afin de mesurer la part d'énergie solaire réellement valorisée par les PAC solaires, Giordano et Heliopac ont accepté d'instrumenter et de faire suivre par des bureaux d'études indépendants et par l'Ines (Institut national de l'énergie solaire), quatre installations sou-

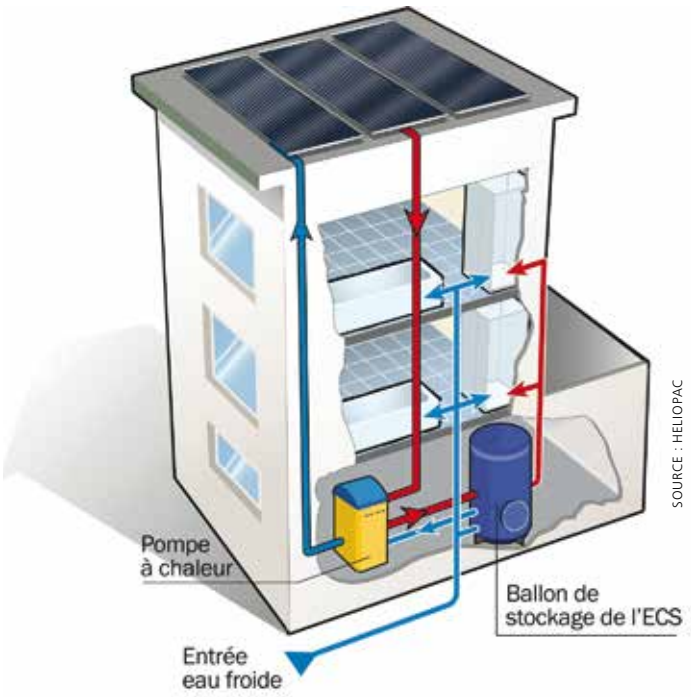
GIORDANO

Les capteurs souples non vitrés ne présentent pas de problème de surchauffe ni de montée en pression, ce qui autorise de longues périodes d'arrêt et évite le risque de surdimensionnement.

tenues dans le cadre de l'appel à projets "Nouvelles technologies émergentes" de l'Ademe. Résultats dans un an. Les capteurs souples n'étant ni vitrés ni isolés, ils ont l'avantage de ne pas risquer la surchauffe estivale, et donc les problèmes de dégradation du fluide caloporteur et de vaporisation, en cas de faible consommation d'ECS (à la différence de certains types de capteurs vitrés). Les fabricants de PAC solaires revendiquent par ailleurs un coût plus faible que celui d'un chauffe-eau solaire collectif. *« Pour un bâtiment de 80 logements collectifs sur lequel seraient installés 100 m² de capteurs solaires thermiques vitrés, le coût du matériel en incluant la pose serait de 100 k€ contre 75 k€ pour un système PAC solaire (100 m² de capteurs souples + pompes à chaleur, stockage et régulation), soit un gain de 25 % »,* détaille Romain Jost, ingénieur R&D chez Heliopac. Par rapport à une PAC air/eau, la PAC solaire serait 25 % plus chère, mais elle fournit davantage d'énergie. *« Une PAC solaire couvre 100 % des besoins de puisage et 100 % des besoins de bouclage et assure le départ à plus de 55 °C en permanence alors que le chauffe-eau solaire ne couvre que 50 % des besoins de puisage. Quant à la plupart des PAC air/eau, elles ne traitent pas les besoins de bouclage qui représentent 30 à 50 % des besoins thermiques annuels et ne peuvent pas garantir le départ à plus de 55 °C toute l'année »,* précise Vincent Maley. Toutefois le choix de la technologie de production d'eau chaude sanitaire dépend surtout de l'énergie desservant le bâtiment. Si c'est l'électricité, la PAC solaire peut s'avérer moins chère et plus simple à installer, surtout dans le sud de la France ; si c'est le gaz, le tandem chaudière gaz et chauffe-eau solaire aura la préférence des maîtres d'ouvrage. ■

1) Dans le cas où un produit ou système énergétique n'est pas prévu dans la méthode de calcul de la RT 2012, il peut être pris en compte si une demande est effectuée, selon les modalités du titre V des articles 49 et 50 de l'arrêté du 26/10/2010 et des articles 39 et 40 de l'arrêté du 28/12/2012.

LE FONCTIONNEMENT DE LA PAC



SOURCE : HELIOPAC

SOLAIRE À CAPTEURS SOUPLES

Le capteur basse température est constitué de nappes de tubes souples en plastique ou élastomère remplis de fluide caloporteur antigel. Il n'est pas vitré. En l'absence de soleil (nuit, brouillard, nuages), ce capteur joue le rôle d'échangeur atmosphérique. Une PAC puise des calories dans le fluide des capteurs pour les transférer vers l'eau chaude sanitaire à une température plus élevée. Quand ce fluide devient plus froid que la température extérieure, le capteur solaire récupère de l'énergie solaire et de l'énergie prise à l'atmosphère par convection. La PAC est spécialement conçue pour travailler à haute température (jusqu'à 65 °C). Elle chauffe un ou plusieurs ballons de stockage équipés d'un dispositif de stratification de la chaleur permettant une réactivité face aux pointes de puisage et assurant à tout moment une température supérieure à 55 °C en sortie de bouclage.

BASE INNOVATION

Base Innovation compte une dizaine de bâtiments de séchage de fourrages, de déchets verts ou de bois équipés en capteurs hybrides Cogen'Air.

CAPTEURS HYBRIDES
LE BOOM DE LA COGÉNÉRATION SOLAIRE

Qu'on les qualifie d'aérovoltaïques ou de thermovoltaïques, les capteurs hybrides offrent tous les mêmes avantages : meilleur rendement en électricité et valorisation de la chaleur accumulée dans les panneaux. Le marché est en plein boom pour toutes les technologies, que le vecteur thermique soit de l'eau ou de l'air. PAR AUDE RICHARD ET JULIETTE TALPIN

La cogénération a toujours eu un meilleur rendement que la production d'électricité seule. C'est vrai pour le gaz, le bois, mais aussi pour le solaire. Car les capteurs photovoltaïques génèrent beaucoup plus d'énergie thermique que d'énergie électrique lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire. Et comme cette chaleur réduit le rendement électrique, autant l'évacuer et la valoriser. C'est le principe du capteur hybride. La valorisation de la chaleur se fait par deux vecteurs : l'eau ou l'air. La start-up marseillaise DualSun produit des capteurs hybrides à eau pour les particuliers (40 % des volumes) et les bâtiments collectifs (60 %). Ses ventes progressent rapidement en France et en Suisse (25 % de sa clientèle) et l'entreprise se tourne maintenant vers l'international (Chili, États-Unis, Italie). *« Ce n'est pas un marché exponentiel, il y a une certaine inertie dans le bâtiment, mais notre belle croissance laisse présager un fort développement dans deux ou trois ans »*, indique Jérôme Mouterde, cofondateur de DualSun.

La valorisation de la chaleur se fait par deux vecteurs : l'eau ou l'air.

ÉCONOMIES D'ECS

DualSun promet un rendement énergétique trois fois supérieur aux panneaux photovoltaïques classiques. Yann Crevolin, de l'association Hespul, spécialisée dans le photovoltaïque, a comparé les productions d'énergie et les économies potentielles d'eau chaude sanitaire (ECS) de deux systèmes "PV/hybride" et "PV/chauffe-eau solaire" dimensionnés pour un même foyer (voir tableau). *« Dans cette simulation le système hybride produit 5 à 10 % d'électricité en plus, mais 20 % de chaleur en moins qu'une solution "photovoltaïque + chauffe-eau solaire séparés" ; la solution hybride est donc légèrement moins performante en production d'énergie, mais occupe une surface moindre et offre une meilleure intégration architecturale (un seul type de capteurs) »*, conclut-il. Par ailleurs, le système hybride porte l'eau à 70 °C maximum, contre 150-200 °C pour un chauffe-eau solaire classique, ce qui limite les risques de surchauffe et donc d'intervention de maintenance. L'installation DualSun qui équipe la piscine de Sète a été retenue dans l'appel à projets "Nouvelles technologies émergentes" (NTE) de l'Ademe (voir article en pages 22-23) ; à ce titre, une campagne de mesures est en cours.

3 À 10 % DU CHAUFFAGE INDIVIDUEL

Suite au moratoire photovoltaïque de 2011, la PME nantaise Systovi a développé son capteur "aérovoltaïque" R-Volt, doté d'un système de cheminée adossée aux panneaux, qui récupère

l'air chaud et l'insuffle dans un bâtiment. L'entreprise s'est développée rapidement sur le marché des maisons individuelles. Après sa levée de fonds de 4,8 M€ en 2016, elle compte augmenter sa présence en Europe (12 % des ventes aujourd'hui) et proposer une offre aux professionnels. Selon Mohamed Benabdelkarim, directeur technique, la technologie *« atteint des rendements de 55 % et contribue à réchauffer l'air ambiant de 3 °C »*.
La production photovoltaïque est améliorée de 5 à 10 % grâce à la ventilation des capteurs. En revanche, les performances thermiques calculées par le bureau d'études Cardonnel dans le dossier de R-Volt pour le titre V de la RT 2012 sont inférieures à celles annoncées : de 400 à 700 kWh et non 3 000 kWh pour une installation de 3 kW. *« Nous communiquons des performances entre 450 et 1 500 kWh produit, soit 3 à 10 % de la couverture du chauffage, mais c'est compliqué de se positionner tant que nous n'avons pas de références »*, indique de son côté Yann Crevolin d'Hespul.

10 % d'électricité en plus

Le capteur Cogen'Air, qualifié de "thermovoltaïque" a lui été lancé en 2012 par la PME girondine Base Innovation. Derrière les cellules photovoltaïques, le capteur possède un caisson fermé où circule un flux d'air qui récupère la chaleur accumulée pour la valoriser soit directement pour le chauffage d'un bâtiment ou pour le séchage (bois, fourrage…), soit dans un circuit hydraulique de chauffage *via* une pompe à chaleur (voir aussi en pages 34-35). Avec un financement Ademe, le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) a confirmé les performances des capteurs : 744 W thermiques et 189 W électriques dans les conditions standard d'essais, soit une augmentation de la puissance électrique de 9,8 %. Par ailleurs, la vérification des performances réelles est réalisée sur deux installations retenues dans l'appel à projets NTE de l'Ademe : séchage de fourrage dans une grange solaire en Mayenne et chauffage d'un bâtiment tertiaire en Gironde.
Les productions d'énergie estimées pour la grange solaire équipée de 60 capteurs hybrides ont été confirmées par les mesures (38 MWh/an de chaleur et 15 MWh/an d'électricité autoconsommées). *« Avec Cogen'Air, nous apportons au monde agricole et aux industries agroalimentaires une solution qui leur offre un retour sur investissement, grâce aux économies d'énergie, situé entre 3 et 5 ans seulement »*, précise Sébastien Ackermann, président de Base Innovation. En quatre ans, l'entreprise a déjà équipé une centaine d'installations : la moitié pour le chauffage des bâtiments (air insufflé), le tiers pour le chauffage assisté par pompe à chaleur et le reste pour le séchage. ■

FONCTIONNEMENT DE SÉCHAGE EN GRANGE

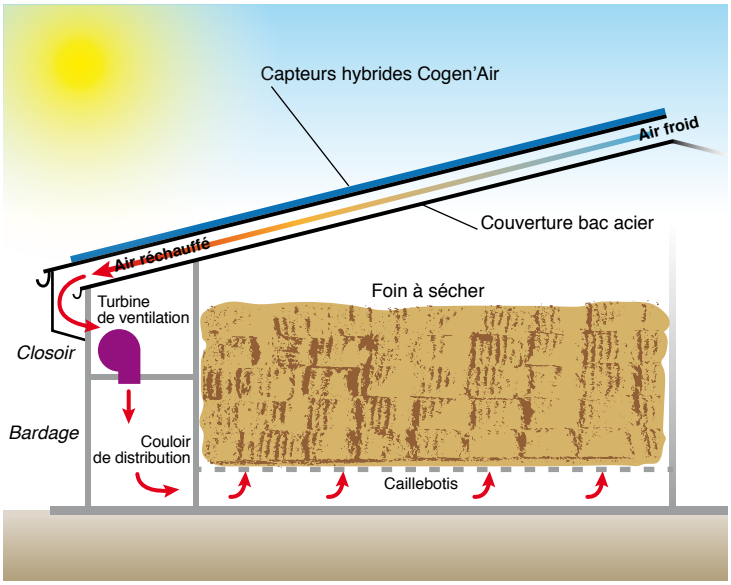


ILLUSTRATION : MARIE AGNÈS GUICHARD/OBSERV'ER – SOURCE COGEN'AIR

La chaleur fatale accumulée sous les cellules photovoltaïques est récupérée et injectée sous le plancher du bâtiment de stockage.

COMPARAISON DE DEUX SYSTÈMES "PV+HYBRIDE" ET "PV+CESI"(1)

Adaptés à une maison individuelle(2)

	PV classique (1,5 kW/10 m²) + PV hybride (1,5 kW/10 m²)	PV classique (3 kW/20 m²) + CESI (4 m²)
Production électrique totale annuelle	3 400 kWh/an	3 310 kWh/an
Production thermique annuelle	1 240 kWh/an	1 600 kWh/an
Économie d'eau chaude estimée	51 %	65 %

1) PV : photovoltaïque, CESI : chauffe-eau solaire individuel. Pour augmenter la puissance électrique et optimiser la rentabilité, des panneaux photovoltaïques classiques de même apparence sont généralement mis en complément aux panneaux hybrides.
2) Simulation réalisée par Hespul pour un ménage moyen de quatre personnes, situé à Lyon, exposition sud (données utilisées : DualSun, Tecsol, Ines).

SOLISART

CHAUFFAGE SOLAIRE
UN MARCHÉ DE NICHE DANS LE COLLECTIF

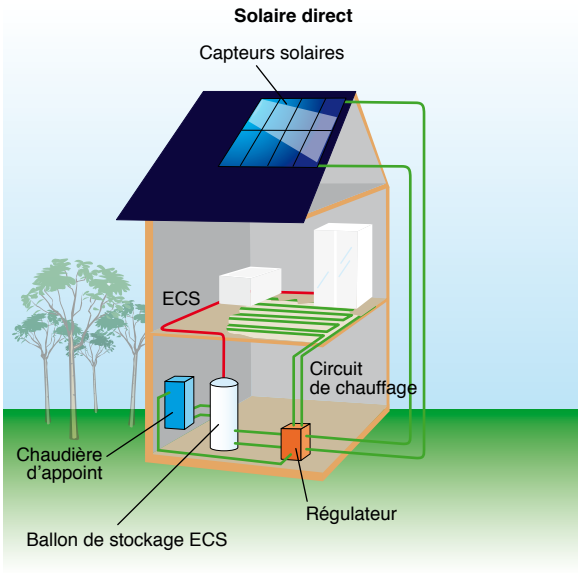
Développé dès les années 1980 par Clipsol, le système solaire combiné (SSC) est désormais proposé par de multiples acteurs sur le marché individuel. L'entreprise savoyarde Solisart se place aussi sur les utilisations en collectif. PAR JULIETTE TALPIN

Le plancher solaire direct a fait la célébrité de la PME savoyarde Clipsol. Ce système de chauffage solaire combiné à la production d'eau chaude sanitaire (ECS), longtemps le plus performant du marché, a été installé chez de nombreux particuliers mais aussi sur des installations collectives de grande taille. Exemple : l'hôpital de Montmélian (Savoie) avec 400 m² de capteurs et 3000 m² de planchers chauffants. Malheureusement, malgré sa reprise par Engie et plusieurs restructurations, Clipsol est en cessation d'activité. En chauffage solaire individuel, le marché est désormais dominé par Solisart, une start-up créée en 2009, ainsi que par Viessmann et Sonnenkraft, Solisart étant le seul à se développer sur le marché du collectif neuf et existant (voir

COMMENT ÇA MARCHE ?

Le système solaire combiné (SSC) participe à la couverture des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) d'un bâtiment. Dans les systèmes indirects, la chaleur produite par les capteurs solaires est stockée dans un ballon par l'intermédiaire d'un échangeur solaire (hydro-accumulation). Dans les systèmes directs, la chaleur produite par les capteurs est directement injectée (pas d'échangeur solaire) dans l'émetteur de chaleur (plancher chauffant ou radiateurs).

Le SSC se compose :
- de capteurs solaires ;
- d'un système de transfert de l'énergie solaire depuis les capteurs vers le lieu de stockage, soit directement, soit par le biais d'un échangeur de chaleur (incorporé ou non au stockage). Il comporte notamment le circulateur et la régulation associée ;
- d'un stockage (ballon et/ou émetteurs de chaleur) qui maintient l'eau de chauffage en température en vue de sa future utilisation.



Le refuge du Col de la Vanoise, à 2 500 mètres d'altitude, est équipé en chauffage solaire direct Solisart. En général, au-dessus de 900 m d'altitude, la productivité des capteurs est doublée par rapport à la situation en plaine grâce à un ensoleillement supérieur (moins de filtres d'atmosphère, situation au-dessus du brouillard, réflexion sur la neige) et d'un besoin de chauffage sur des périodes plus longues.

exemple pages 16-17). Sa technologie de chauffage solaire direct Solisconfort a deux particularités (voir schémas ci-dessous). Son système breveté de gestion des excédents d'énergie l'été évite les surchauffes et les risques de détérioration. De plus, toutes les installations Solisart sont équipées d'un télé-suivi permettant de vérifier leur bon fonctionnement.

Selon des mesures réalisées par l'Ines (Institut national de l'énergie solaire) entre 2011 et 2014, le rendement de Solisconfort en individuel était de 20 % supérieur à celui du meilleur système de chauffage solaire d'alors. Solisart annonce aussi de bonnes performances en collectif. Elles seront vérifiées en 2017 et 2018 par un programme de mesures réalisé par l'Ines, dans des bâtiments collectifs de montagne, avec le soutien du Commissariat général à l'égalité des territoires (CGET, organisme de conseil rattaché au Premier ministre). ■

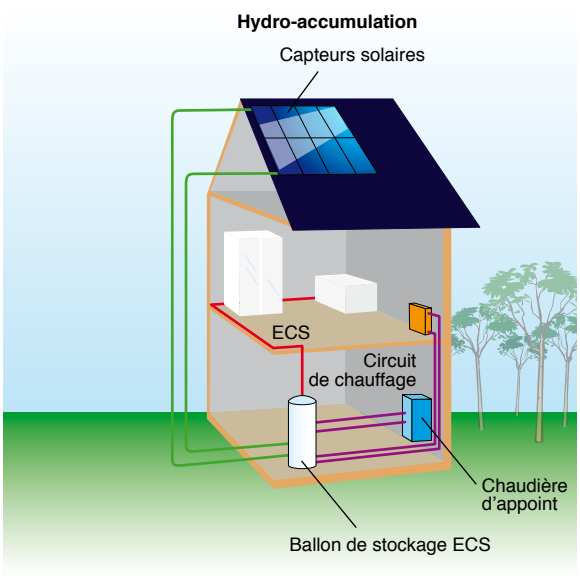


ILLUSTRATION : MARIE AGNÈS GUICHARD/OBSERV'ER – SOURCE SOLISART

FROID SOLAIRE
EN RECHERCHE DE COMPÉTITIVITÉ

L'installation exemplaire de froid solaire à Montpellier prouve que la solution fonctionne, mais le modèle est difficile à reproduire car peu concurrentiel. PAR JULIETTE TALPIN

L'installation de climatisation solaire du quartier Jacques-Cœur, à Montpellier, couvre plus de 50 % de l'ECS et 5 à 10 % de la climatisation.

TECSOL

Le froid solaire, ça marche ! En témoigne l'installation pilote du quartier Jacques-Cœur à Montpellier (Hérault), qui dessert un bâtiment de 11 000 m² de bureaux et commerces et un second bâtiment de 10 600 m² de logements. En plus de fournir l'eau chaude sanitaire solaire, les 240 m² de capteurs alimentent une machine à absorption (voir schéma page 40), qui contribue au rafraîchissement de la partie tertiaire *via* le réseau d'eau glacée existant. Cette installation, financée par la très novatrice Société d'équipement de la région montpelliéraine (SERM), a été conçue et suivie par le bureau d'études Tecsol, spécialiste de la climatisation solaire. Particularité : pour obtenir les 70 à 95 °C requis par la machine à absorption, des capteurs plans haute efficacité à double vitrage Schüco ont été utilisés. Mise en route en 2012, l'installation fait l'objet de mesures continues par Tecsol et par

LA PRODUCTION DE FROID PAR ABSORPTION

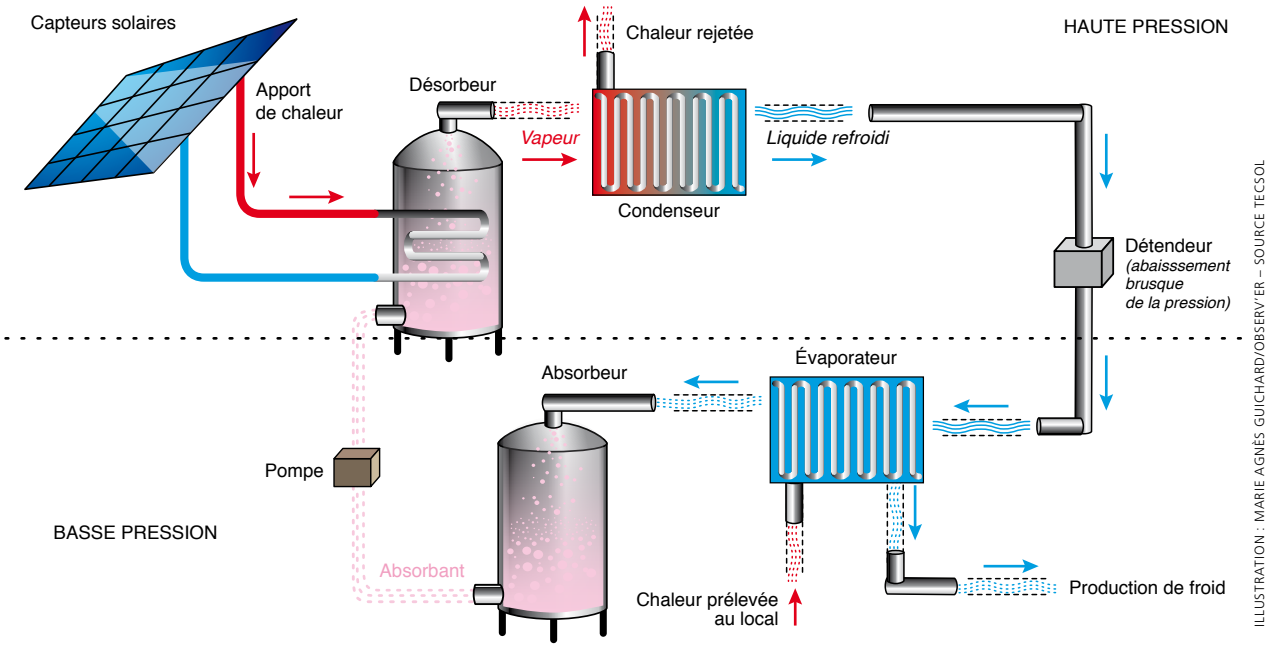


ILLUSTRATION : MARIE AGNÈS GUICHARD/OBSERV'ER – SOURCE TECSOL

La machine à absorption consiste à pulvériser dans un récipient sous vide de l'eau en fines gouttelettes, qui s'évapore du fait de la faible pression (évaporateur). Cette évaporation consomme de la chaleur et conduit au rafraîchissement de l'eau. Un liquide absorbant capte la vapeur d'eau afin de permettre la régénération du vide (absorbeur). Lorsque ce liquide est saturé en vapeur d'eau, il faut le chauffer pour lui redonner toutes ses propriétés (concentrateur). Lorsque la vapeur d'eau repasse à l'état liquide (condenseur), elle libère de la chaleur évacuée par un aérorefroidisseur.

l'Ines (Institut national de l'énergie solaire). Après les calages du départ, les résultats sont là. *« 2016 est vraiment la meilleure année depuis le lancement de l'installation avec plus de 10 000 kWh de froid produits sur juin, juillet et août pour un total de 33 500 kWh d'énergie solaire utile sur les trois mois »*, détaille Daniel Mugnier, responsable développement de Tecsol[1]. La production d'eau chaude sanitaire (ECS) solaire toute l'année (taux de couverture de plus de 50 %) est conjuguée à la climatisation en été lorsque les besoins en ECS baissent et que le gisement solaire est au maximum. Réalisé dans le cadre du programme "Émergence" de l'Ademe pour le développement de la climatisation solaire, l'investissement s'est élevé à 416 000 € (1 700 €/m² de capteurs) et sa réalisation a été possible grâce aux 58 % d'aides (Ademe, Région Languedoc-Roussillon, Feder). Mais depuis, le marché ne décolle pas. En cause : le montant des investissements.

Climatisation par capteurs à concentration

La start-up Helioclim a souhaité apporter une solution à ce problème de compétitivité. L'objectif du projet Scrib[2], qu'elle coordonne, est le développement d'une solution de génération de chaleur et de froid solaires efficace, avec un prix au kW installé proche des climatisations réversibles électriques à compression. La réalisation d'un démonstrateur préindustriel est en cours. Deux technologies ont été développées par Helioclim. La première concerne des capteurs solaires thermiques à concentration et absorbeurs tube sous vide à haut rendement dont la production industrielle est lancée. Autre innovation : une machine à absorption développée en partenariat avec GrDF dans l'objectif de proposer une chaudière thermodynamique à gaz ayant 160 % de rendement (au lieu des 110 % des chaudières à condensation classiques). ■

1) Daniel Mugnier est l'auteur, avec Francis Meunier, du livre La climatisation solaire, *aux éditions Dunod.*
2) Le projet Scrib (dispositif solaire de climatisation réversible intégré au bâti), a été conduit par Helioclim, en partenariat avec Cytech Développement, Tecsol et l'université de Pau, entre 2011 et 2016. Il a reçu une aide de 1,4 M€ dans le cadre des Investissements d'avenir.

SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - **FILIÈRE** - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - **BALLON D'EAU CHAUDE** - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - **POMPE À CHALEUR** - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - **SOLEIL** - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - **AUTOCONSOMMATION** - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - **ÉNERGIE** - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - **BAILLEURS SOCIAUX** - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - **CAPTEURS** - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - **SOLAIRE DIRECT** - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - **CHALEUR** - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - **CLIMATISATION** - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - **CHAUFFAGE** - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - **EAU CHAUDE SANITAIRE** - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR

SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - **FILIÈRE** - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - **BALLON D'EAU CHAUDE** - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - **POMPE À CHALEUR** - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - **SOLEIL** - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - **AUTOCONSOMMATION** - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - **ÉNERGIE** - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - **BAILLEURS SOCIAUX** - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - **CAPTEURS** - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - **SOLAIRE DIRECT** - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - CHAUFFAGE - FROID SOLAIRE - **CHALEUR** - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - **CLIMATISATION** - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - EAU CHAUDE SANITAIRE - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR - **CHAUFFAGE** - FROID SOLAIRE - CHALEUR - EXPLOITATION - PANNEAUX HYBRIDES - AUTOCONSOMMATION - RÉSIDENTIELS - OPTIMISATION - ÉNERGIE - ÉCHANGEURS - PLANCHER CHAUFFANT - BAILLEURS SOCIAUX - FILIÈRE - PHOTOVOLTAÏQUE - ENSOLEILLEMENT - CHALEUR RENOUVELABLE - BALLON D'EAU CHAUDE - ABSORBEUR - CLIMATISATION - SYSTÈME SOLAIRE COMBINÉ - SOLAIRE DIRECT - INDIVIDUELS - SOLEIL - CAPTEURS - ÉNERGIE - PRODUCTION - SOLAIRE THERMIQUE - **EAU CHAUDE SANITAIRE** - CAPTEURS - COLLECTIFS - POMPE À CHALEUR