



Photo 3T-Alwitra: Ces cellules sont protégées par film en polymère fluoré autonettoyant. La sous-face est en feutre polyester. Il faut 20 à 23 m² de membrane Evalon® Solar pour assurer une puissance photovoltaïque de 1 kWc.

Des recommandations pour l'étanchéité photovoltaïque

Préfigurant de futures règles professionnelles, les recommandations concernant la conception, la réalisation et l'entretien des étanchéités photovoltaïques, publiées sous l'égide de la CSFE-FFB (1), sont destinées à être reprises dans les dossiers techniques des différents produits et systèmes.

Employée sur les toitures-terrasses inaccessibles, les toitures à faible ou très faible pente ainsi que les toitures cintrées, l'étanchéité photovoltaïque gagne chaque année davantage de terrain. Les bâtiments tertiaires, industriels et, dans une moindre mesure, les habitations collectives sont principalement visés, essentiellement en construction neuve. Son emploi en rénovation se développe également, la légèreté de cette solution technique (environ 4 kg/m²) n'entraînant pas de surcharge significative.

Une superposition de couches minces

Toutes les membranes photovoltaïques ont en commun de s'appuyer sur la technologie des couches minces en silicium amorphe. Cette solution, bien moins coûteuse que celle employée pour les traditionnels panneaux solaires, offre cependant un rendement encore plus modeste (environ 5 % contre environ 15 à 20 %). Pour y remédier, il suffit de superposer

(1) Chambre syndicale française de l'étanchéité de la Fédération française du bâtiment.



Photo 3T-Alwitra: Certaines zones doivent être prévues sans film photovoltaïque. Des distances minimales doivent être respectées: 0,50 m en périphérie de toiture et de certains ouvrages émergents (lanterneaux, cheminées), 1 m des équipements tels que les climatiseurs, 2 m pour les zones techniques...

(2) Circulaire « Critères d'éligibilité des équipements de production d'électricité photovoltaïque pour le bénéfice de la prime d'intégration au bâti », publiée par le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie le 17 avril 2007.

(3). Pour en savoir plus sur le Pass'Innovation, voir le webzine du CSTB du 5 février 2009 (consultable gratuitement sur le site www.cstb.fr).

trois couches de silicium (technique de la triple jonction [voir encadré ci-dessous]) fonctionnant dans des longueurs d'onde différentes pour encore gagner quelques pourcents. Cette approche, conjuguée avec une grande surface de captage (bien plus importante qu'avec des panneaux) et un fonctionnement même en basse lumière (contrairement aux panneaux) donne au final des résultats satisfaisants.

En France, les systèmes d'étanchéité photovoltaïque disponibles associent un film photovoltaïque souple à une membrane bitumineuse ou synthétique. Irréversible, cette association a lieu en usine ou bien sur le chantier.

 Attention, dans le premier cas, l'étanchéité photovoltaïque sera considérée de plein droit comme « intégrée au bâti », ce qui n'est pas systématique dans le second cas... La différence est de taille puisque seule une intégration au bâti donne droit à une prime au niveau du tarif de rachat de l'électricité produite (voir arrêté du 10 juillet 2006 et la

circulaire DGEMP-Dideme précisant les critères d'intégration au bâti [2]). Ce dernier texte indique que l'équipement de production d'électricité doit correspondre « à un assemblage comprenant le support associé à une membrane souple d'étanchéité comprenant des cellules photovoltaïques, conçu industriellement et spécifiquement pour cette application ».

Le problème est aussi qu'il n'existe actuellement ni marquage CE pour les produits et systèmes d'étanchéité photovoltaïque, ni norme de mise en œuvre. L'évaluation de leurs qualités techniques et/ou de leur mise en œuvre est donc soumise à des démarches volontaires de type demande d'Avis Technique, Pass'Innovation (3)... « Ces prestations n'ont cependant dans aucun cas pour objectif d'apprécier la conformité à la notion "d'intégration au bâti" au sens de l'arrêté du 10 juillet 2006 », commente Nadège Blanchard, chef du projet Évalie (Évaluation des installations énergétiques) au CSTB.

À noter

Technique de la triple jonction

Une jonction simple définit l'emploi d'un matériau semi-conducteur à jonction P-N, comme c'est aussi le cas pour la fabrication des diodes, des transistors... En juxtaposant un semi-conducteur dopé P et un autre dopé N, on obtient une jonction P-N. Le dopage de type N consiste à remplacer des atomes du cristal semi-conducteur par des donneurs d'électrons. Inversement, le dopage de type P revient à substituer à des atomes du cristal semi-conducteur des accepteurs d'électrons. Dans le cas d'une triple jonction, trois cellules à jonction simple sont empilées, chacune d'entre elles fonctionnant dans une portion différente du spectre solaire en raison de leurs formulations distinctes.

Une étanchéité avant toute chose

La CSFE-FFB a réussi à rassembler les concepteurs et fabricants de procédés, les entrepreneurs et les assureurs autour d'un projet commun lié aux étanchéités photovoltaïques. Il a donné naissance à des *Recommandations professionnelles pour la mise en œuvre de procédés d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples*, publiées en juin 2009. Ce socle commun de dispositions liées à la conception, à la réalisation et à l'entretien des ouvrages, est destiné à être repris dans le dossier technique des différents procédés. Ces procédés sont ensuite logiquement appelés à faire l'objet d'une évaluation technique: Avis Technique, Document Technique d'Application, ATEX



L'étanchéité photovoltaïque



ou enquête par un contrôleur technique agréé. Ces recommandations visent un large public : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, bureaux d'études techniques et entrepreneurs. Même si ces procédés sont conçus pour produire de l'électricité, leur fonction première est d'assurer l'étanchéité du bâtiment. Raison pour laquelle ces recommandations rappellent notamment que ces toitures restent inaccessibles au sens des DTU de la série 43. Les concepteurs de procédés devront donc aussi indiquer, dans leurs documents techniques, les éléments porteurs et supports compatibles avec la pente minimale admissible (qui ne peut être inférieure à celle définie dans les DTU de la série 43).

Optimiser l'implantation et le rendement

Dès les tous premiers stades du projet, certaines zones doivent être prévues sans film photovoltaïque. La priorité est d'éviter la stagnation d'eau sur les cellules : une distance minimale en noue de part et d'autre du fil d'eau et au pourtour des évacuations d'eaux pluviales est donc notamment prévue. Il faut

également tenir compte des émergences et de leurs ombres portées. Certaines distances minimales doivent être respectées : 0,50 m en périphérie de toiture et de certains ouvrages émergents (lanterneaux, cheminées), 1 m des équipements tels que les climatiseurs, 2 m pour les zones techniques... Par ailleurs, des chemins de circulation, larges d'au moins 0,50 m, doivent aussi être prévus pour faciliter l'entretien (relevés d'étanchéité, évacuations d'eaux pluviales...) et l'accès aux équipements techniques (lanterneaux, exutoires de fumées, VMC, antennes, enseignes...).

Le bureau d'études des fabricants peut se charger de concevoir ou vérifier le projet pour optimiser l'implantation des capteurs et donc optimiser le rendement énergétique. Urbasolar par exemple, qui est le distributeur de Solar Integrated en France, assure les études de conception et l'installation du système Solar Roof de Sika-Sarnafil. « Chez 3T (Evalon® Solar – Alwitra), le dimensionnement et la définition des équipements nécessaires sont assurés par son bureau d'études intégré. De plus, sa structure de suivi en interne, avec notamment un spécialiste de l'étanchéité et un spécialiste en électricité, permet ensuite d'accompagner les entreprises pas à pas dans leur démarche », explique Éric Ohlmann, son directeur.

Photos Soprema

Photo de gauche :

La membrane photovoltaïque (ici procédé *Soprasolar*) offre l'avantage d'être légère (3,5 kg/m²), ce qui en fait une solution idéale pour les constructions légères comme par exemple les structures métalliques.

Photo de droite :

Détail : raccordement électrique en surface.

LA COURSE AU RENDEMENT

Début 2009, le groupe de chercheurs du Fraunhofer-Institut für Solar Energiesystem (Ise) de Stuttgart (Allemagne) piloté par le docteur Frank Dimroth a annoncé avoir battu un record mondial en matière de production d'électricité photovoltaïque, avec un rendement de 41,1%. Ce progrès repose sur l'emploi de cellules photovoltaïques à jonctions multiples particulières. Cette

cellule à triple jonction se compose d'un substrat en germanium, recouvert d'arséniure d'indium-gallium, puis de phosphure d'indium-gallium. Une couche tampon, inactive, sépare les différentes couches. Dans un proche avenir, avec des empilements de cinq ou six jonctions, ces chercheurs pensent atteindre les 50 % de conversion. Certains laboratoires de recherche s'intéressent à d'autres

matériaux semi-conducteurs : tellure de cadmium, cuivre-indium-sélénium... Dans un avenir plus lointain, le recours à des cellules à base de carbone, de colorants photosensibles reproduisant le principe de la photosynthèse végétale (cellules de Grätzel) ou d'encre à base de nanoparticules de silicium monocristallin, pourrait encore réduire les coûts de production de l'électricité d'origine solaire.

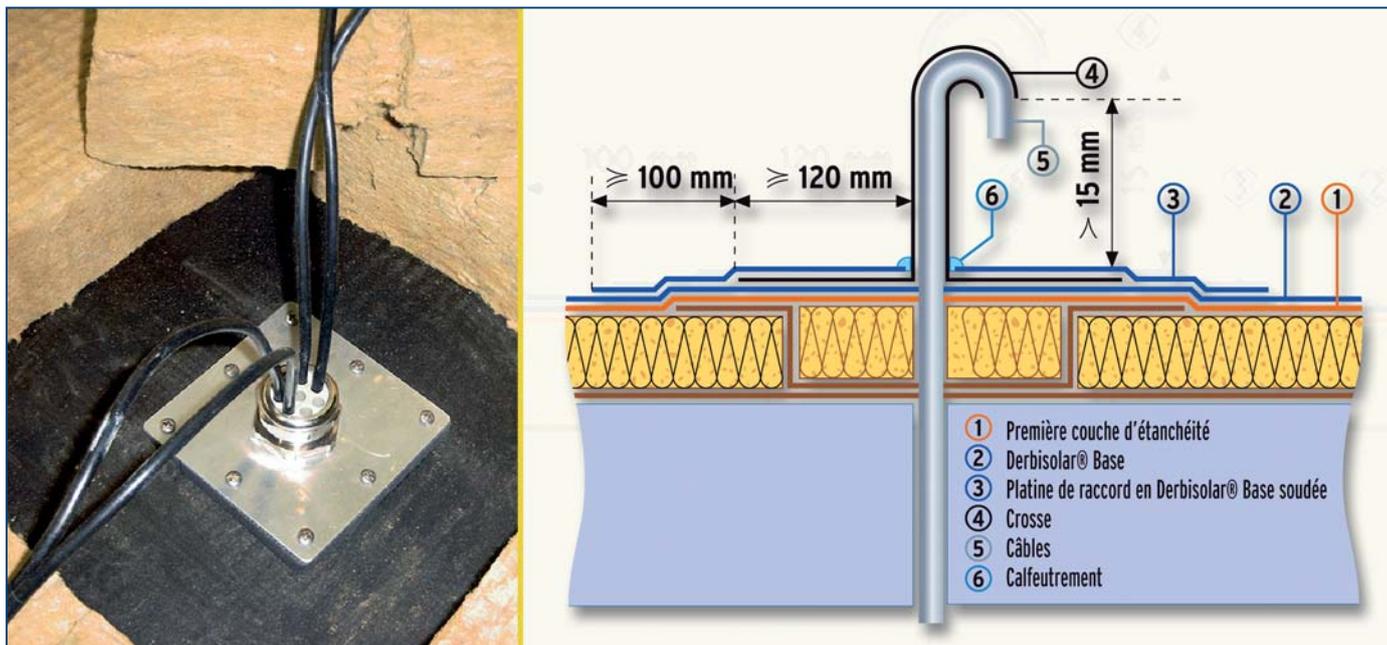


Photo 3T-Alwitra:
La traversée de toiture par les câbles est réalisée ici par un système étanche avec presse-étoupe.

Illustration Derbigum:
Chez ce fabricant, c'est une crosse qui dirige les câbles vers l'intérieur du bâtiment.

Le recours à des professionnels qualifiés

Un des points forts de ces recommandations est de souligner le fait que les toitures avec étanchéité photovoltaïque produisent de l'électricité sans possibilité d'arrêt. La tension en sortie peut s'avérer dangereuse : en courant continu, le choc électrique est mortel à partir de 120 V. D'où la nécessité de mettre en place une signalétique attirant l'attention sur le risque électrique, destinée à tous les personnels des différents corps d'états susceptibles d'intervenir en toiture.

La mise en œuvre du procédé d'étanchéité photovoltaïque doit être assurée par des entreprises qualifiées en étanchéité et obligatoirement formées aux spécificités du photovoltaïque. Une qualification spécifique pourrait prochainement apparaître pour les entreprises d'étanchéité se spécialisant dans ce secteur d'activité. Rappelons également que les opérateurs doivent être titulaires d'une habilitation électrique BoV (4). Les raccordements doivent être réalisés par un électricien spécialisé.

Du point de vue des assureurs, les membranes photovoltaïques participent au clos et au couvert des bâtiments, la responsabilité décennale des entreprises est donc engagée. L'entreprise

d'étanchéité se doit toutefois d'effectuer une déclaration spécifique à son assureur. L'assurance Dommages-Ouvrage est obligatoire tandis que l'assurance responsabilité civile est seulement recommandée. Le plus simple est que l'étancheur prenne en charge la totalité du dossier, fourniture et pose, quitte, si nécessaire, à sous-traiter la partie « électrique ». Des questions restent encore toutefois en suspens : quelles sont les limites de la garantie décennale ? Un désordre concernant uniquement les cellules photovoltaïques et ne remettant pas en cause l'étanchéité est-il couvert ?

Entretien : deux visites minimum par an

Une fois l'étanchéité photovoltaïque raccordée au réseau électrique, la production d'électricité dépend de l'ensoleillement, des ombres portées et des effets de masque éventuels, de la neige, de l'empoussièrement excessif et du vieillissement des cellules photovoltaïques. Il ne saurait donc y avoir de garantie d'une production annuelle minimale d'électricité mais un entretien régulier jouera favorablement (en enlevant les feuilles mortes, par exemple).

(4) Concerne tout personnel non électricien intervenant sans surveillance à proximité d'installations électriques pour y effectuer ou diriger des travaux d'ordre non électrique.

Pour en savoir plus - Textes de référence, documents et liens utiles

Textes de référence

- Les DTU de la série 43.

Documents

- Document de la CSFE-FFB *Recommandations professionnelles pour la mise en œuvre de procédés d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples*, téléchargeables sur le site Internet www.etancheite.com.
- Guides de l'Ademe et du SER (Syndicat des énergies renouvelables) :

- Générateurs photovoltaïques raccordés au réseau – Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens ;
- Guide des producteurs d'électricité d'origine photovoltaïque.
- Guide du Costic *Guide de conception, d'installation et de maintenance d'un système solaire photovoltaïque de type raccordé réseau*.

Liens utiles

- Site Internet du SER : www.enr.fr.
- Site Internet de l'Institut Fraunhofer : www.ise.fraunhofer.de.



La première membrane sous Pass'Innovation

Le procédé *Solar Roof* est le fruit d'un partenariat entre Solar Integrated, fabricant de modules flexibles, Sika-Sarnafil, fournisseur de membranes d'étanchéité synthétiques, et Urbasolar concepteur de générateurs photovoltaïques. Il a obtenu en 2008 un Pass'Innovation, sur la base des conclusions suivantes :

« Le respect des prescriptions mentionnées dans le Dossier Technique déposé au CSTB ainsi que la mise en œuvre exclusive de ce procédé par des étancheurs formés et référencés par la société Sika France ainsi que des électriciens habilités (habilitations électriques adéquates et habilitations au travail en hauteur) et possédant une qualification QualiPV permettent a priori d'assurer à la toiture une production électrique photovoltaïque conjointement à une étanchéité à l'eau satisfaisante.



Photo Urbasolar

Compte tenu de l'analyse effectuée et en considérant que :

■ la performance et la durabilité du plan de collage entre le film photovoltaïque et la membrane d'étanchéité ainsi que la conception relative au passage des câbles électriques (du fait notamment d'une sortie des câbles étanche vers l'extérieur du bâtiment à l'aide de pipettes souples préfabriquées) ne remettent pas en cause l'ouvrage d'étanchéité considéré mais restent à valider au travers d'une évaluation future (Avis Technique notamment) ;

■ les autres éléments d'information et de justifications complémentaires pour l'obtention d'une évaluation future (Avis Technique notamment) ont été identifiés (voir le texte du Pass'Innovation 08-001), l'aptitude à l'emploi du procédé Solar Roof est appréciée favorablement. »

L'entretien est obligatoire. Il doit être formalisé au plus tard lors de la réception de l'ouvrage par un contrat entre l'entreprise d'étanchéité et le propriétaire de la toiture (ou celui qui en a la jouissance), prévoyant un minimum de deux visites par an. Les DTU de la série 43 indiquent les modalités pratiques d'entretien, dispositions à compléter par les spécificités du procédé d'étanchéité photovoltaïque. L'annexe A des recommandations publiées par la CSFE-FFB recense les principales caractéristiques des opérations d'entretien en distinguant clairement ce qui doit être fait, ce qui peut être fait et ce qu'il ne faut pas faire.

Attention aux autres corps d'état

« Ces recommandations professionnelles permettent d'établir des règles communes qui dépassent les spécificités propres aux différents systèmes et produits des fabricants. Elles mettent notamment l'accent sur le type d'isolant à employer. Une laine minérale de classe B suffit habituellement pour les toitures inaccessibles mais comme les visites d'entretien sont plus nombreuses en photovoltaïque, la classe C a été préférée pour sa meilleure tenue », commente José Otero, responsable technique de Derbigum.

Il attire aussi l'attention sur le volet information. « C'est un procédé récent et les autres corps d'états doivent être informés de ses spécificités. Il faut leur dire et leur redire de ne pas marcher sur les zones photovoltaïques, ni de faire tomber d'outil dessus. À plus forte raison, la pose d'un établi et la découpe de métal avec projection de particules – des particules amenées à rouiller –, peut être catastrophique ! », souligne José Otero.

Un des points à soigner particulièrement lors de la réalisation d'une étanchéité photovoltaïque est la traversée de la toiture par les câbles. Chez 3T, il s'agit d'un système étanche avec presse-étoupe. Chez Derbigum, c'est une crosse qui dirige les câbles vers l'intérieur du bâtiment. « Il y a une seule

crosse ou plusieurs selon la taille du bâtiment, l'idée étant de réduire au minimum la longueur de câble extérieure (moins d'entretien). Au niveau de la toiture, les câbles passent dans des chemins de câbles protégés mais accessibles pour faciliter les opérations d'entretien », précise José Otero.

Chez d'autres fabricants, les câbles électriques de chaque membrane photovoltaïque sont rassemblés en sous-face et recouverts par une couche supplémentaire de membrane soudée formant ainsi un compartiment étanche. La sortie de ces câbles se fait ensuite vers l'extérieur à l'aide d'une pipette souple préfabriquée, assemblée en usine. Chez 3T, un système propriétaire a été mis au point pour sécuriser la liaison des capteurs et toute la connectique. « L'intégration en usine de toute la "câblerie" dans l'épaisseur du complexe assure une protection optimale de la connectique et des câbles contre toutes les sollicitations climatiques et mécaniques. Il n'y a ainsi, par exemple, aucun risque de détérioration accidentelle lors du passage de techniciens d'entretien en toiture. Autre avantage, une sécurité optimale pour les intervenants qui ne risquent pas d'être en contact avec le courant », explique Eric Ohlmann.

Fin 2008, Urbasolar obtenu son Pass'Innovation pour son procédé Solar Roof (voir encadré ci-dessus). Derbigum devrait obtenir le sien dans le courant de l'été 2009 et s'attaque déjà à une demande d'Avis Technique. Avec son ancienneté et plus de 1 000 chantiers réalisés en Allemagne, 3T s'attend à avoir son Avis technique d'ici la fin de l'année. ■

Franck Gauthier

UNE PREMIÈRE GARE BRANCHÉE PHOTOVOLTAÏQUE

En Ile-de-France, la rénovation totale de la station RER d'Achères-Ville (78) lui a permis de devenir la première gare française à Haute qualité environnementale (label HQE®). Caractéristique de l'époque de sa construction (1976), la

toiture du bâtiment central en forme de vague a été recouverte d'une membrane d'étanchéité munie de 175 m² de cellules photovoltaïques. Elles produisent l'équivalent de 25 % de l'électricité consommée par ce bâtiment.