



Toitures : intégrer le photovoltaïque et garantir l'étanchéité

Photo SolarWorld:
Toit solaire avec champ de modules photovoltaïques étanches formant couverture.

Les modalités de la tarification de vente de l'électricité photovoltaïque incitent les maîtres d'ouvrage à investir dans des modules solaires incorporés à l'enveloppe des bâtiments. Cette technologie innovante fait l'objet d'une nouvelle procédure d'Avis Technique. Nous présentons ici l'offre industrielle destinée à cette pose en toiture. Les très nombreuses solutions « en surimposition » ne sont pas abordées.

Les entreprises en charge de la distribution d'électricité, et en particulier ERDF (filiale d'EDF), ont l'obligation d'acheter la production électrique des centrales photovoltaïques (PV) raccordées à leur réseau. Cette contrainte est régie par l'arrêté du 10 juillet 2006 qui impose un régime avantageux, avec tarif indexé sur l'inflation. Objectif affiché : développer l'exploitation de l'énergie solaire. En 2008, le prix de vente de base s'élève à 32 centimes d'euros

par kWh pour les installations situées en métropole continentale. Il atteint 42 centimes d'euros par kWh en Corse ou dans les départements d'outre-mer. Pour mémoire, rappelons qu'un particulier achète son électricité aux environs de 8 centimes d'euros le kWh. La réglementation accorde en plus une « prime à l'intégration au bâti », pour faire en sorte que les générateurs n'altèrent pas la qualité architecturale. Cette bonification est attribuée aux champs de capteurs incorporés à



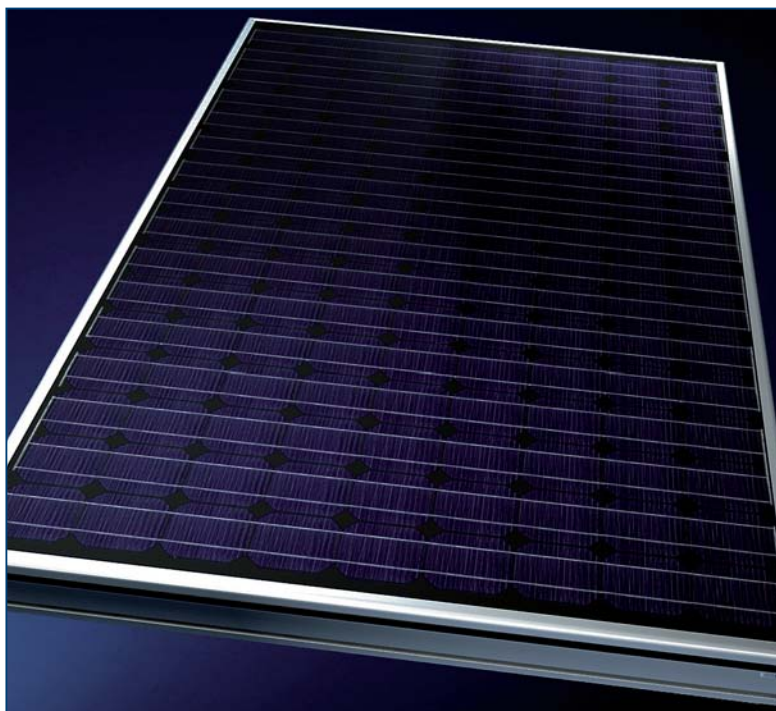
l'enveloppe des bâtiments. Le prix de vente est alors réévalué à 57 centimes d'euros par kWh. L'engagement contractuel couvre une période longue de 20 ans. Avec un bémol, toutefois : la durée annuelle de production en tarification optimale est plafonnée à 1 500 heures seulement en métropole continentale, pour 1 800 heures en Corse et outre-mer. Au-delà, le prix du kWh tombe à 5 centimes d'euros.

Les modifications du prochain contrat tarifaire

Quelles solutions donnent droit au prix de vente maximum ? L'arrêté du 10 juillet 2006 indique que la prime s'applique aux panneaux photovoltaïques qui « assurent également une fonction technique ou architecturale essentielle à l'acte de construction ». Une annexe dresse la liste des équipements concernés : les modules PV intégrés en toiture, en verrière, dans des bardages (parements de façade) ou murs rideau (façades légères), en mur d'allège, dans des brise-soleil, en garde-corps de balcon et terrasse (ou placés devant une ouverture).

En avril 2007, face au questionnement des professionnels, le ministère en charge de l'énergie a publié un guide qui précise les règles d'éligibilité. Ce document présente, exemples à l'appui, une liste d'équipements qui sont jugés comme « intégrés » ou non. Il est vrai que les critères retenus font débat. Ainsi, des modules PV posés en bardage rapporté sur une façade donnent accès à la bonification. En revanche, ce n'est pas le cas pour un champ de capteurs installé « en surimposition » d'une couverture, c'est-à-dire quelques centimètres seulement au-dessus des tuiles ou ardoises, et ce, même s'il respecte parfaitement la pente de la toiture...

D'ailleurs, dans la prochaine formule du contrat d'obligation d'achat, actuellement en cours de négociation, il est prévu de modifier les conditions tarifaires. La prime à l'intégration n'est pas remise en question : les industriels du bâtiment en ont besoin pour développer des composants d'enveloppe standardisés et banalisés producteurs d'électricité. Mais la filière photovoltaïque souhaite qu'un prix intermédiaire puisse être instauré pour les champs de capteurs « non incorporés » implantés en toiture. Il est également possible que la notion d'intégration évolue.



Autre demande des professionnels : la mise en place d'un dispositif de déplafonnement du nombre d'heures éligibles au tarif. Cette mesure inciterait les investisseurs à rechercher davantage des sites à ensoleillement optimal. Elle encouragerait l'émergence de nouvelles technologies de cellules plus performantes, le rendement des modules plafonnant aujourd'hui aux environs de 17 %.

Photo Schüco :
Premium, le premier panneau PV bénéficiant d'un Avis Technique pour une pose intégrée.

Délivrance du premier Avis Technique

Si la prime à l'intégration s'applique aussi aux panneaux PV incorporés aux façades, le marché se développe aujourd'hui beaucoup plus en toiture pour des raisons évidentes d'exposition au soleil et de rentabilité. La tarification avec prime incite les maîtres d'ouvrage et prescripteurs à choisir des modules qui participent à la fonction de couverture.

repères



Avis Technique et/ou Pass'Innovation ?

Comment apprécier les risques liés à l'incorporation des modules photovoltaïques dans l'enveloppe des bâtiments ? Face à cet enjeu, sous l'égide du CSTB, un groupe spécialisé multidisciplinaire a été constitué : le GS 21. Il réunit des experts aux compétences très diverses : photovoltaïque, électricité, toiture, couverture, façade, construction légère, vitrage... Le premier Avis Technique a été ainsi accordé à la gamme *Premium* de la société Schüco. D'autres procédures sont engagées par des industriels concurrents. Elles devraient aboutir très prochainement. Toutefois, les demandes sont nombreuses et le traitement des dossiers s'étale généralement sur plus d'une année. C'est la raison pour laquelle le tout nouveau Pass'Innovation, délivré en trois mois seulement, pourrait être très largement utilisé par les entreprises pour obtenir une validation préalable de leurs procédés. Cette procédure prévoit de publier sur le site Internet du CSTB un diagnostic

synthétique des atouts et faiblesses des systèmes. Trois formes d'appréciation sont prévues :

- un « Feu vert » signifiant que le risque est très limité. On considère que le produit peut être mis en œuvre sur chantier, avec toutefois obligation de fournir un retour d'information systématique ;
- un « Feu orange » manifestant un risque réservé. Il faut vérifier l'applicabilité du produit sur un chantier pilote ;
- un « Feu rouge » déclarant que le risque n'est pas maîtrisé. Le diagnostic s'accompagne d'une analyse des lacunes du produit et, le cas échéant, propose des actions pour y remédier.

Le Pass'Innovation est une prestation du CSTB à dire d'experts qui répond à une démarche volontaire. Le « Feu vert » est délivré une seule fois pour une durée de deux ans. Il nécessite un investissement compris entre 8 000 et 12 000 € HT, selon la complexité des produits.

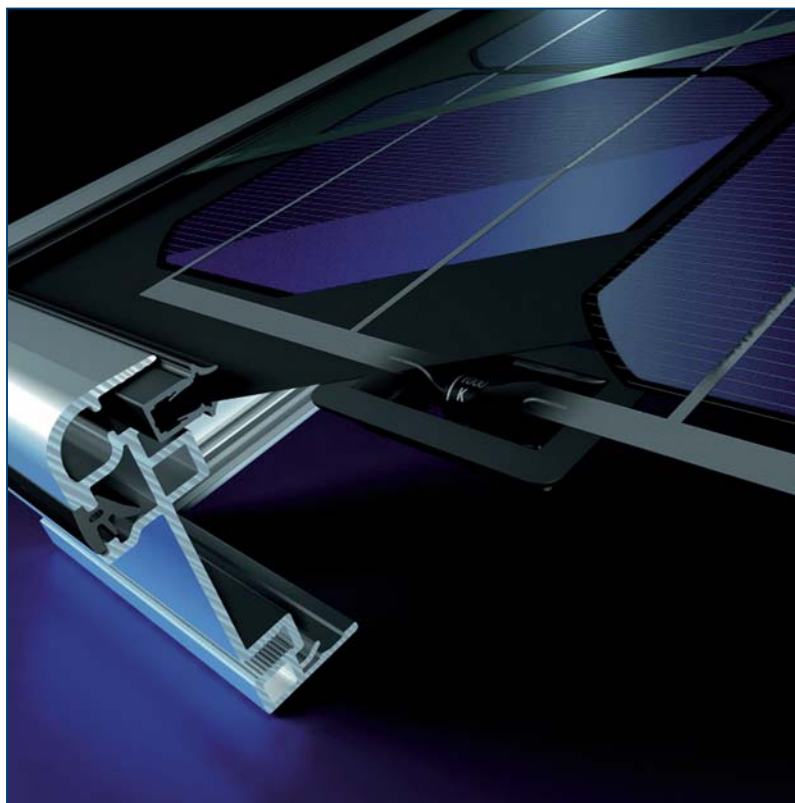


Photo Schüco :

Coupe sur le cadre du module *Premium* : d'une hauteur de 93 mm, le profilé en aluminium comporte une rainure avec joint EPDM pour liaison étanche avec tôle périphérique.

Photo Solarwatt :

Pose de modules sur des profilés en aluminium munis de joints d'étanchéité.

Or, la technologie étant encore très récente, il n'existe pas en France de normes de mise en œuvre des champs photovoltaïques. Il est donc légitime de s'interroger sur l'étanchéité des toitures. Pour y répondre, le CSTB a mis en place une procédure d'Avis Technique (ATec) qui vise les modules, leur système de montage et d'intégration. Les installations ne sont pas ici étudiées sous l'angle du raccordement et des caractéristiques électriques. En revanche, elles sont envisagées en terme de risque potentiel d'échauffement et de sécurité électrique (1), de mise en danger éventuelle des personnes (2). Le contrôle vise la fonction couverture : durabilité, résistance mécanique et étanchéité des ouvrages, face aux contraintes du vent, de la pluie et de la neige.

En mai 2008, les panneaux *Premium* de la société Schüco ont étreigné la procédure. Destinés à être incorporés en couverture traditionnelle de tuiles ou ardoises, ils sont les premiers à bénéficier d'un Avis Technique favorable pour une durée de trois ans. Dans la foulée, la Commission Prévention Produits mise en œuvre (C2P) de l'AQC les a placés en liste verte (pas d'observation). L'Avis ne concerne pas les applications en climat de montagne (altitude > 900 m). Il demande, avant la pose, de vérifier l'adéquation entre les charges climatiques locales et les contraintes maximales admissibles. L'installateur doit être formé aux spécificités du procédé et le mode opérationnel prévoit une reconnaissance préalable de la charpente support. Il faut veiller à ce que les panneaux ne perturbent pas la ventilation naturelle de la toiture et il est recommandé de les positionner en partie supérieure de la couverture. L'ATec stipule en outre que le « montage doit impérativement être réalisé au-dessus d'un écran de sous-toiture sous Avis Technique, classé W1 selon la norme EN 13859-2 ». Destiné à évacuer la condensation pouvant se former sous les modules,

ce dernier est posé perpendiculairement aux chevrons avec recouvrements entre lés de 20 cm minimum. En construction neuve, l'écran concerne toute la surface de la couverture. Dans le cas d'une toiture existante non équipée, il faut en placer un sous l'emprise des panneaux avec descente jusqu'à l'égout.

Une pose directe ou non... avec ou sans profilés supports

D'une puissance unitaire de 300 à 350 Wc (watts crêtes), les modules *Premium* relèvent d'une fabrication spécifique. Certes, les cellules en silicium monocristallin sont sans surprises encapsulées, puis prises en sandwich entre une couche inférieure de polymère et une vitre supérieure en verre trempé de 4 mm. Mais ce complexe « laminé » est inséré – avec joint d'étanchéité périphérique en EPDM – dans un châssis en aluminium épais et renforcé. L'ensemble se singularise par une grande surface de 2,70 m² (2 152 mm x 1 252 mm) et un poids élevé de 49 kg.

Les profilés d'encadrement mesurent 93 mm de hauteur. Leur face externe est rythmée par deux rainures continues parallèles. La plus basse est utilisée pour visser les éléments de fixation sur les liteaux et la charpente en bois. Le kit de montage comprend un rail bas formant cornière d'appui, ainsi que des pattes à disposer latéralement et en partie supérieure. La rainure haute du cadre abrite un joint EPDM à angles soudés dans lequel sont logées les quatre bandes périphériques en tôle d'aluminium laqué qui assurent l'étanchéité du champ photovoltaïque formant couverture (voir photo ci-dessus). Les panneaux peuvent être posés verticalement ou

(1) Respect des règles édictées par la norme NF C15-100 notamment en terme de mise à la terre des parties métalliques.

(2) En particulier, le bris des parties en verre ne doit pas constituer un risque pour les occupants ou le voisinage, ni même pour les professionnels appelés à intervenir en toiture.



Des bacs métalliques supports de modules solaires



Photos Rheinzink - Photo de gauche : Couverture en zinc « à joint debout » : les bacs cintrés supportent une couche mince - sans vitrage - de cellules en silicium amorphe.



Photo de droite : Couverture en zinc « à gradins » horizontaux : le laminé photovoltaïque, avec verre et cellules en silicium cristallin, est collé sur les bacs.

Les systèmes de couverture métallique sont destinés au marché du résidentiel, mais aussi aux bâtiments tertiaires, agricoles ou industriels. La surface parfois importante de ces toitures est aujourd'hui utilisée pour créer des centrales de production d'électricité solaire.

Disponibles en simple-peau ou sandwich, avec isolation intermédiaire, les bacs intègrent des modules PV. Cette technologie se retrouve notamment chez les sociétés suivantes : Arval, Corus, Isolpack, Rheinzink, Sun-Land 21, ThyssenKrupp et Unimetal. Sauf exception, les cellules sont directement collées sur la tôle qui peut être en acier, aluminium ou zinc. Entièrement préfabriqués en usine, les bacs supportent soit des laminés à base de cellules en silicium cristallin, soit des bandes de cellules minces en silicium amorphe. Exemples de systèmes.

■ **AluPlusSolar de la société Corus** : La version photovoltaïque du bac en aluminium *Kalzip* est commercialisée en 537 mm de largeur, pour une longueur de 2,85 m ou 5,50 m. Ses deux bords relevés de 65 mm de hauteur permettent de composer des couvertures à joint debout (pente supérieure à 3°). D'une épaisseur de 1 mm, la tôle supporte des cellules minces en silicium amorphe fabriquées par la société américaine Uni-Solar. Le bac offre une puissance crête de 68 ou 136 Wc, selon sa longueur. Parallèlement, l'entreprise

propose un système de montage - appelé *SolarClad* - qui permet d'accrocher des modules PV standard sur une toiture existante en *Kalzip*.

■ **Arsolar de la société Arval (groupe ArcelorMittal)** : Fruit d'une collaboration avec Tenesol, entreprise spécialisée dans le solaire, ce bac nervuré en acier est disponible en deux dimensions : 1,05 m de largeur par 1,90 m ou 3,50 m de longueur. D'une surface de 2 ou 3,7 m², il supporte une ou deux séries de quatre laminés avec cellules en silicium cristallin : soit une puissance crête de 120 ou 240 Wc. Il est recommandé pour une application en toiture (pente supérieure à 6°) ou en bardage.

■ **Erit de la société Isolpack** : La gamme *Erit* recouvre des panneaux sandwich en tôle d'acier nervurée d'une largeur standard de 100 cm, pour une longueur variable. D'une épaisseur comprise entre 50 et 120 mm, ils incorporent une isolation en mousse de polyuréthane. Le sommet des nervures est utilisé pour fixer mécaniquement des modules PV, rapportés quelques centimètres au-dessus de la couverture en acier. Le vide ainsi créé garantit la bonne ventilation - en sous-face - du champ photovoltaïque. Les bacs supportent des modules encadrés de 46 x 109 cm à base de silicium monocristallin d'une puissance crête de 55 Wc, ou des modules de 98 x 168 cm en silicium polycristallin de 224 Wc.

horizontalement, sur des pentes comprises entre 22° et 65° (voire à partir de 15° en présence de tuiles « canal »). Les écartements, d'une largeur de 50 mm, sont régulés par des entretoises. En partie haute et basse, les modules reposent sur la charpente grâce à des lattes en bois horizontales placées entre liteaux. La tôle d'étanchéité basse est prolongée par une bavette en plomb qui recouvre les tuiles ou ardoises inférieures.

Outre cette technologie spécifique sous Atec, la société Schüco propose une autre solution de montage intégré en couverture traditionnelle. Dans sa gamme *PV-Light*, elle commercialise un kit d'incorporation adapté aux modules « standard » du marché. Le système fait appel à des profilés en aluminium en forme de U. Posés dans le sens de la pente sur les liteaux, ils comportent trois rainures longitudinales : l'une abrite un joint d'étanchéité, la deuxième est utilisée pour la fixation, tandis que la troisième constitue un chemin d'écoulement

pour l'eau. Les panneaux PV sont plaqués sur ces rails en aluminium par l'intermédiaire de profilés de serrage horizontaux. L'étanchéité est assurée en sous-face des modules et non plus par une jonction bords à bords.

Des modules encadrés ou simplement laminés

Que faut-il entendre par panneaux PV « standard » ? Aujourd'hui, le marché français - mais aussi européen et mondial - du photovoltaïque connaît une forte phase d'expansion. Les modules sont des produits industriels fabriqués en très grande série, pour des champs d'applications ouverts, avec des modes de fixation diversifiés. Le plus souvent, les panneaux se présentent sous la forme de laminés encadrés par

Du silicium amorphe collé aux étanchéités en toiture-terrasse



Photo Solaris/Soprema : Bandes de cellules minces et souples en silicium amorphe collées sur une étanchéité en toiture-terrasse de type bicouche à base de bitume élastomère.

La particularité des cellules en silicium amorphe est qu'elles sont disponibles sous forme de bandes souples de très faible épaisseur. Leur mise en œuvre ne nécessite aucun vitrage supérieur. Elles sont incorporées aux lés du revêtement d'étanchéité, dans le cadre de systèmes monocouche ou bicouches, destinés à des toitures terrasses inaccessibles à très faible pente. Exemples de solutions.

- **Evalon Solar de la société Alwitra** : L'étanchéité monocouche *Evalon* est constituée d'EVA et de PVC. Cet alliage de polymères supporte des bandes de cellules en silicium amorphe. D'une épaisseur de 4,6 mm, dont 1,8 mm de membrane thermoplastique, l'ensemble est recouvert d'une couche transparente en Tefzel (sorte de Teflon). Les lés sont commercialisés en 1,05 et 1,55 m de largeur, pour une longueur de 3,36 ou 6,00 m, dans des puissances crêtes allant de 136 à 408 Wc. D'un poids moyen de 4,3 kg/m², ils sont fixés à la fois mécaniquement et par soudure des bords. Les raccordements électriques sont cachés : ils sont noyés dans la couche inférieure d'isolant.
- **Derbisolar de la société Derbigum** : Le *Derbibrite* est une membrane à base de bitume. Sa surface est protégée par un coating acrylique blanc dont la capacité réfléchissante participe au confort thermique. Dans sa version solaire, cette étanchéité supporte des bandes de silicium en couche mince de 39 cm de largeur. D'une longueur de 2,85 ou 5,49 m, ces modules souples affichent une puissance de 68 ou 136 Wc. Ils peuvent être collés à la membrane sur chantier ou directement en usine. Les raccordements électriques sont apparents.
- **Solar Roof des sociétés Sika et SolarIntegrated** : Les modules photovoltaïques fabriqués par SolarIntegrated sont incorporés à une membrane monocouche *Sarnafil* en FPO (Polyoléfinés). D'une épaisseur de 2 mm, pour un poids de 4,9 kg/m², l'étanchéité est disponible en 2 m de largeur pour une longueur de 5,80 ou 11,60 m. La puissance des lés atteint respectivement 544 et 1088 Wc. Leur mise en œuvre s'effectue par fixation mécanique et soudure bord à bord par air chaud. Les câbles et connexions électriques sont recouverts et dissimulés.
- **Soprosolar de la société Soprema** : L'étanchéité est constituée par un bicouche à base de bitume élastomère SBS. Les deux épaisseurs de revêtement sont soudées en plein au chalumeau, avec joints décalés et recouvrement entre lés de 6 cm au moins. D'une épaisseur de 3 mm seulement, les modules souples en silicium amorphes sont proposés en bandes auto-adhésives de 39 cm de largeur et 5,49 m de longueur, soit une puissance de 136 Wc. Leur raccordement électrique est apparent.

des profilés en aluminium. L'épaisseur et la conception du châssis, ainsi que l'étanchéité périphérique de l'assemblage, constituent les gages d'une bonne rigidité et durabilité. La résistance mécanique dépend à la fois de la surface du module et de la hauteur des profilés d'encadrement, qui varie en moyenne entre 20 et 50 mm selon les fabrications. D'une manière générale, la longueur des panneaux se situe entre 100 et 170 cm, pour une largeur de 50 à 120 cm (3), et un poids de 10 à 25 kg. Cela étant, les industriels proposent également des gammes de produits simplement laminés, sans aucun cadre. La rigidité du module repose alors simplement sur la face avant en verre ; la protection arrière étant assurée par la feuille en polymère (généralement du Tedlar). L'épaisseur est ainsi comprise entre 4 et 10 mm, dont 3 ou 4 mm de verre, hors encombrement du boîtier de raccordement électrique. Troisième catégorie de produits, plus marginale mais prisée pour son esthétique : les laminés translucides bi-verre, également appelés « verre-verre ». Les cellules de silicium sont ici prises en sandwich entre deux vitres. Conçus pour laisser passer une lumière tamisée, ces modules commercialisés avec ou sans cadre trouvent des applications en verrière ou brise-soleil, voire en façade ou garde-corps. Le parement extérieur existe en version simple ou double vitrage (de 9 à 30 mm d'épaisseur). L'incorporation en couverture traditionnelle des éléments standard, avec ou sans cadre, fait d'abord appel à des profilés de fixation et d'étanchéité disposés perpendiculairement aux liteaux. La technologie de montage peut varier d'une marque à l'autre, mais elle ressemble généralement à celle du système

PV-Light déjà évoqué, à l'image du kit *Plandach 5* de la société Schletter. À l'aide de joints EPDM intermédiaires et d'entretoises horizontales, les panneaux sont plaqués sur les rails supports. Ces derniers assurent également l'écoulement de l'eau.

Mise en œuvre de « tuiles photovoltaïques »

Un constat s'impose, toutefois : les procédés avec profilés supports fixés sur liteaux sont tout de même plus fréquemment dédiés aux modules laminés sans cadre. Exemples de systèmes de montage spécifiques à ces produits : *Sol-25i* de la société SEN, *SolarRoof III* de la société Conergy, *Toit solaire* de la société SolarWorld et *MegaSlate* de la société SolarWood (avec rails en plastique renforcé de fibres de verre). Les panneaux sont disposés soit bords à bords, dans le même plan, soit « en escalier » c'est-à-dire avec chevauchement supérieur. Dans ce dernier cas, le terme de « tuile photovoltaïque » est parfois utilisé, mais de manière impropre car il introduit une confusion avec d'autres produits.

En effet, un certain nombre d'industriels commercialisent des modules PV qui se montent véritablement comme des tuiles ou ardoises : à savoir sans aucun rail support intermédiaire, avec pose directe sur liteaux et double recouvrement – en partie supérieure et latérale – qui garantit seul l'étanchéité. Exemples d'industriels, d'origines géographiques diverses, qui proposent cette technologie : Atlantis aux États-Unis, Eternit

(3) Toutefois, certains modules PV qui font appel à la technologie du silicium amorphe en couche mince peuvent être sensiblement plus longs (jusqu'à 2,50 m).



en Belgique et Suisse, Koramic en Autriche, Solarcentury en Grande-Bretagne, SES en Suisse. En Autriche, la société Innoteg fabrique des éléments de couverture en plastique recyclé – avec apparence de tuiles – qui incorporent des cellules en silicium. En Suisse, l'entreprise Schweizer a développé le procédé *Solrif* qui permet de transformer un laminé sans cadre du commerce en tuile photovoltaïque. Avant d'être posé sur chantier, le module passe dans un atelier pour être équipé de profilés périphériques en aluminium qui assurent une étanchéité par recouvrement supérieur et latéral. Le système a été adopté par plusieurs marques, telles que Biohaus, Solstis ou Sunwatt.

En France, c'est le fabricant de tuiles terre cuite Imerys qui fait figure de leader dans ce domaine. Son offre comporte quatre produits qui permettent une incorporation dans tous les types de couverture. Le modèle *PMB-PMH* (475 x 1 345 mm) est compatible avec les tuiles plates ou « petit moule ». Le *FAG* (475 x 1 377 mm) est destiné aux couvertures en tuiles à emboîtement avec pureau plat. Les *FOG 10* et *13* (515 x 1 382 à 1 640 mm) peuvent être posés avec les tuiles soit canal, soit à pureau galbé ou structuré. Pour ces dernières lignes de produits, il faut prévoir une bavette d'étanchéité inférieure.

Des couvertures avec sous-couche étanche

D'un poids total compris entre 7 et 8,5 kg, pour une surface apparente d'environ 0,5 m² et une puissance de 50 ou 55 Wc, les tuiles PV d'Imerys se caractérisent par un châssis en aluminium qui assure l'étanchéité. Celui-ci supporte un laminé sans cadre à cellules cristallines, avec plots de fixation intermédiaire. La ventilation est double : elle s'effectue sous les

tuiles, mais aussi sous le laminé. Dissocier les fonctions couverture et photovoltaïque, tel est également le principe adopté par les solutions de montage qui font appel à des sous-couches étanches. Avec une différence notable qu'il faut souligner... La superposition des couches est cette fois réalisée sur chantier et non pas en usine.

Trois procédés peuvent être cités : le *SolarDelta* de la société Conergy, le *SOL-50* de la société SEN et l'*InterSole SE* de la société Ubbink. Dans les deux premiers cas, la sous-couche étanche est constituée par des tôles métalliques ondulées (en acier ou aluminium). Dans le troisième, il s'agit de plaques rainurées en polyéthylène haute densité ; matériau qui a été stabilisé pour offrir une bonne résistance aux UV. Toutes ces sous-couches à fonction de couverture sont appliquées sur les liteaux. Elles sont traversées par des fixations ponctuelles étanchéifiées qui incorporent les éléments d'ancrage des panneaux PV, ou bien supportent des rails intermédiaires d'accrochage.

Intérêt de cette technologie : elle est compatible avec une grande partie des modules encadrés standard du marché. Elle peut même permettre une mixité avec des capteurs solaires thermiques. Certes, le champ photovoltaïque est bien rapporté au-dessus d'une couverture étanche. Mais, l'épaisseur de ces montages en double couche est très réduite. Aussi, ils sont considérés comme « intégrés », ce qui signifie, sur le plan de la tarification de l'électricité produite, qu'ils donnent droit au prix de vente maximum.

Dans cette catégorie de produits, c'est l'*InterSole SE* qui est le système le plus courant en France, en raison de son ancienneté. Conçu pour des pentes de toit comprises entre 15° et 70°, il a été mis en œuvre pour la première fois aux Pays-Bas en 1999...

Alain Sartre

Photo Imerys :

Incorporation de tuiles photovoltaïques dans une couverture traditionnelle en tuiles terre cuite.

Photo Ubbink :

Système *InterSole SE* : l'étanchéité de la couverture est assurée par une sous-couche en plaques de polyéthylène.