

PHOTOVOLTAÏQUE

SOMMES-NOUS P POUR LA MASSIF

TEXTE : PASCAL POGGI
PHOTOS : ENERBIM, ERTEX, EATON, GLASSBEL,
HELIAITEK, PASCAL POGGI/AQC, PI BERLIN

Après le 31 décembre 2020, tous les bâtiments neufs devront être à « consommation d'énergie quasi nulle ». La principale solution sera le photovoltaïque. Les solutions techniques d'installation en toiture et en façade sont déjà disponibles.

Photo © Eaton

Le BIPV ou Building integrated photovoltaics concerne toutes sortes de bâtiments. Le stade Johan Cruyff ArenA d'Amsterdam porte 4 200 panneaux photovoltaïques qui alimentent un stockage.

PRÊTS PLICATION ?



Précisons le contexte. Nous sommes à moins de 18 mois de l'entrée en vigueur de l'exigence de la Directive européenne (UE) 2018/844 du Parlement européen et du Conseil. Publiée le 30 mai 2018, elle succède à la Directive 2010/31/UE et l'approfondit, reprenant notamment l'exigence contenue dans l'article 9 de cette dernière : «*Les États membres veillent à ce que d'ici au 31 décembre 2020, tous les nouveaux bâtiments soient à consommation d'énergie quasi nulle ; et après le 31 décembre 2018, que les nouveaux bâtiments occupés et possédés par les autorités publiques soient à consommation d'énergie quasi nulle.*»

La France a choisi le Bepos plutôt que l'énergie quasi nulle

En application de ces Directives européennes, la France a fait plusieurs choses. Premièrement, notre pays a laissé discrètement passer l'échéance du 31 décembre 2018 portant sur les bâtiments publics, après l'avoir pourtant reprise d'une certaine manière dans l'article 8.II de la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique et à la croissance verte, qui stipulait que «*toutes les nouvelles constructions sous maîtrise d'ouvrage de l'État, de ses établissements publics ou des collectivités territoriales font preuve d'exemplarité énergétique et environnementale et sont, chaque fois que possible, à énergie positive et à haute performance environnementale*». Tout était sans doute dans l'expression «*chaque fois que possible*» et manifestement, ça n'a pas été possible du tout.

Deuxièmement, la France a élargi le débat au-delà de l'énergie et développé le référentiel d'évaluation E+C- qui permet de réaliser des bâtiments plus performants que la RT 2012 du point de vue énergétique et environnemental. Plutôt que l'énergie quasi nulle, la France semble d'ailleurs faire un pas de plus et propose le Bâtiment à énergie positive (Bepos), dont le décret du 21 décembre 2016, puis l'arrêté du 10 avril 2017 précisent la définition, ainsi que celle du bâtiment à haute performance environnementale. Nous en sommes là. À l'automne 2019, la nouvelle RE 2020 (Réglementation environnementale 2020) devrait être publiée pour que toute la filière de la construction neuve puisse s'en emparer. Cependant, depuis plusieurs mois montent déjà des appels à repousser cette prochaine étape réglementaire, décriée comme coûteuse et complexe. Les mêmes reproches que l'on adressait à la RT 2012. Quoi qu'il en soit, si la France ne repousse pas cette échéance, il faudra concevoir et construire toutes sortes de bâtiments au moins à énergie quasi nulle, voire à énergie positive.

Produire de l'énergie sur site : chaleur, froid, biogaz ou électricité

Un bâtiment à énergie positive, ce qui dans l'approche française correspond au niveau Énergie 4 du label E+C-, produit sur site plus d'énergie qu'il n'en consomme dans l'année. Donc, à certains moments de l'année, il exporte de l'énergie. À partir d'un bâtiment, on ne sait exporter que trois types d'énergie : de l'électricité, de la chaleur et du froid. Pour exporter de la chaleur ou du froid, il faut que passe au pied du bâtiment considéré un réseau >>>>



1 Photo © 2019 - Pascal Pignatelli - AOC

de chaleur ou de froid, ce qui n'est pas si fréquent. De plus, ces réseaux doivent fonctionner dans des régimes de température qui s'accroissent des possibilités de production d'un bâtiment. Les réseaux de chaleur existant en France fonctionnent plutôt à haute et très haute température, avec des départs à 90, 100 ou 110 °C. La production de chaleur renouvelable dans un bâtiment est assurée par des capteurs solaires thermiques. Or les plus courants produisent de la chaleur à 70-80 °C ; seuls des capteurs spécialisés, conçus pour les besoins industriels et difficiles à poser en bâtiment, sont à même de produire de la chaleur au-delà de 90 °C. Il est également possible de raccorder la production de chaleur sur le retour d'une installation de chauffage urbain, mais ce n'est pas toujours très simple (1).

Produire du froid suppose l'existence dans le bâtiment de groupes froid à absorption alimentés par la chaleur issue de capteurs solaires thermiques ou de groupes froid à compression alimentés par l'électricité photovoltaïque produite sur site. Les réseaux de froid urbain doivent aussi accepter une alimentation décentralisée le long de leur parcours, ce qui pour l'instant n'a jamais été réalisé.

Il est aussi concevable d'envisager une production de biogaz sur site à partir des déchets produits pour le bâtiment, mais il faut pour cela une quantité quotidienne considérable de déchets organiques et un tri sans faille. Une installation de ce genre est envisagée dans l'un des projets du concours «Inventons la

COURANT ALTERNATIF VERSUS COURANT CONTINU

La production d'électricité photovoltaïque commence dans une cellule. Les cellules sont rassemblées dans des panneaux ou modules. Une dizaine, plusieurs centaines ou des milliers de panneaux sont ensuite installés sur un bâtiment pour constituer une centrale photovoltaïque à la mesure de ses besoins. L'électricité produite par l'installation photovoltaïque est un courant continu. Pour le rendre utilisable, des onduleurs le transforment en courant alternatif, exploitable par le réseau de distribution publique ou directement pour de l'autoconsommation dans le bâtiment. Cette transformation a un coût : le rendement nominal des meilleurs onduleurs se situe à 97-98 %. Réaliser une installation entièrement en courant continu éviterait ces pertes, mais au prix d'une complexité accrue et de protections électriques plus coûteuses. Une installation entièrement en courant alternatif est plus classique, moins coûteuse et mieux maîtrisée par les électriciens. ■

Métropole du Grand Paris». À Charenton-le-Pont (94) sur le site de Charenton-Bercy, une tour de 180 m conçue par l'agence américaine SOM devrait être à énergie quasi nulle sans photovoltaïque, grâce à une unité de méthanisation implantée en pied de tour. C'est une installation industrielle comportant de nombreux risques d'intoxication et d'explosion, sans parler des nuisances olfactives. Le biogaz produit peut être raffiné pour fabriquer du biométhane injecté dans le réseau de distribution de gaz naturel. Le biogaz, qui contient environ 50 à 55 % de méthane, peut aussi être directement utilisé comme combustible dans une installation de cogénération produisant sur site de l'électricité et de la chaleur. Depuis que ce projet a été déclaré lauréat du concours en 2018, ses organisateurs – Grand Paris Aménagement (aménagement de l'opération) et UrbanEra (filiale de Bouygues Immobilier, l'opérateur de l'aménagement qui s'appuie sur Atelier 2/3/4 et SOM en charge de l'élaboration du projet) – n'ont pas précisé leurs intentions.

Pour la production d'électricité sur site, deux solutions sont concevables. Il est tout d'abord possible de produire de l'électricité sur site grâce à des micro-éoliennes montées sur les bâtiments. Pour l'instant, ce n'est pas un succès : les éoliennes vibrent et imposent aux structures des bâtiments des contraintes trop importantes. La plupart des installations emblématiques, telles que les éoliennes sur le siège de Greenpeace dans le port de Hambourg ou une installation sur un bâtiment neuf Porte des Lilas à Paris, ont été démontées après seulement quelques mois d'exploitation.

La seconde solution est le photovoltaïque. Pour toutes les raisons venant d'être rapidement énumérées, le photovoltaïque constitue l'option la plus simple pour produire sur site et exporter de l'énergie à partir

(1) Lire l'article «Réseaux de chaleur et de froid urbains : la mutation vers les énergies renouvelables» publié dans le n° 170 de Qualité Construction (septembre-octobre 2018).

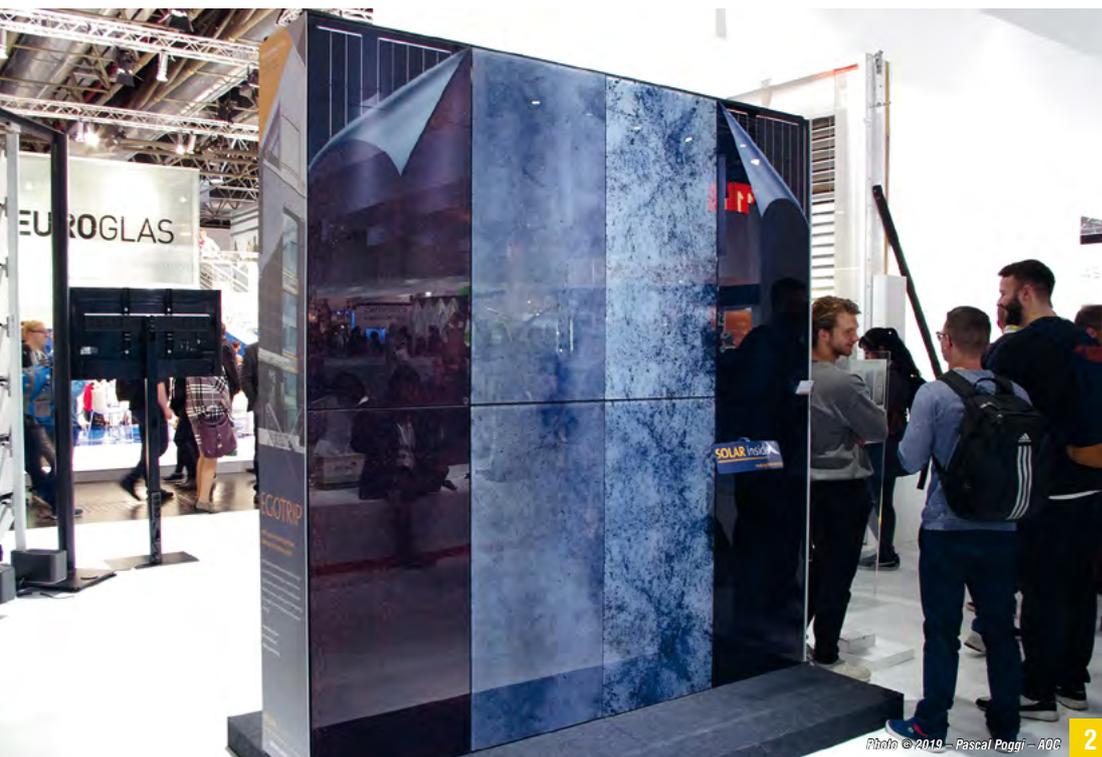


Photo © 2019 - Pascal Poggi - AOC

2

1 Malgré un engouement initial important, les mini-éoliennes montées sur les bâtiments n'ont pas tenu leurs promesses. Leurs conditions de fonctionnement – bruit et vibrations – ont poussé la plupart des maîtres d'ouvrage, à les déposer. Cette installation sur le toit d'un bâtiment Greenpeace à Hambourg n'existe plus.

2 L'allemand Sunovation met au point des panneaux photovoltaïques verre/verre qui se prêtent bien à la mise en œuvre en bardage.

d'un bâtiment, notamment en raison de la disponibilité quasi universelle du réseau de distribution d'électricité.

Le photovoltaïque va investir les façades

Le photovoltaïque est donc à la veille d'une massification sans précédent. S'il faut en installer sur chaque bâtiment neuf après 2021, cela représente 200 000 à 220 000 installations par an, tous bâtiments confondus. On compte en effet, de manière conservatrice, environ 150 000 à 170 000 maisons individuelles commencées en France chaque année, auxquelles il faut ajouter environ 250 000 logements collectifs commencés chaque année, ce qui, sur la base de 20 logements en moyenne par bâtiment, donne 12 500 immeubles collectifs neufs par an. En

(2) www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/liste-des-permis-de-construire-des-locaux.

ce qui concerne les bâtiments neufs non résidentiels, la base de données Sital2 (2) recensait un peu plus de 55 000 permis de construire déposés en 2018. Nous raccordons pour l'instant moins de 30 000 installations photovoltaïques au réseau par an, principalement des bâtiments existants. Nous devons réaliser et raccorder au réseau 230 000 à 250 000 installations photovoltaïques par an, soit 8 fois plus que notre rythme actuel...

Pour rendre un bâtiment Bepos grâce à l'exportation d'électricité photovoltaïque, il faudra en produire beaucoup. En maison individuelle, la toiture – toute la toiture et pas 10 m² portant 3 kWc de capteurs photovoltaïques – devrait suffire dans la plupart des cas, après avoir encore réduit les consommations d'énergie de la maison par rapport à ce que l'on construit sous l'empire de la RT2012. Mais >>>

MESURER LE RENDEMENT DU PHOTOVOLTAÏQUE

Le rendement des panneaux photovoltaïques est mesuré selon les «STC» ou Standard test conditions. C'est une manière conventionnelle de mesurer le rendement qui permet de comparer les panneaux entre eux, mais ne traduit pas exactement leur rendement réel une fois installé. En effet, les STC correspondent à une illumination de 1 000 W/m², une température du panneau de 25 °C et à des conditions spectrales «Air Mass 1,5», soit un angle d'incidence de 41,8° par rapport à l'horizontale. La puissance crête, exprimée en Watt/m² et notée Wc, est la puissance électrique produite par le panneau photovoltaïque soumis aux conditions STC. Or posé en façade, un panneau présente un angle de 90° par rapport à l'horizontale, moins favorable que l'inclinaison de 41,8° prévue par les STC, ce qui diminue son rendement. Par ailleurs, plus un panneau est éclairé, plus il produit d'électricité, ce qui signifie notamment que plus la couverture nuageuse est importante et l'éclairement diffus, moins le panneau produit. Enfin, quand la température du panneau monte, son rendement baisse de 0,3 à 0,5 % par degré d'élévation au-delà de la température conventionnelle de mesure (25 °C). ■



3 Photo © 2019 - Pascal Poggi - AOC

“D’un point de vue esthétique, choisir des panneaux photovoltaïques classiques n’est pas très heureux : ils sont bleu sombre ou noirs, avec des surfaces non uniformes, des liaisons électriques visibles formant des bandes et des carrés à leur surface, etc.”

MODULES AVEC RENVOI DE LUMIÈRE SUR LA FACE INFÉRIEURE

Au dernier salon Intersolar en mars 2019 à Munich, les exposants montraient des panneaux photovoltaïques dont la puissance nominale dépassait 400 Wc, voire atteignait 500 Wc.

En même temps, le rendement des panneaux PV dépasse 20 % et leur garantie atteint 30 ans.

Tous les panneaux PV qui affichaient un rendement dépassant 22 % à Intersolar 2019 étaient des modules bifaciaux qui prennent en compte un renvoi de lumière sur leur face inférieure. Canadian Solar pousse jusqu’à un rendement de 23,85 % pour son panneau bifacial *CS3W-410PB-AG* (527 Wc), avec un renvoi de

30 % de la lumière sur sa face arrière.

En ce qui concerne la durée de garantie de la puissance, le record est détenu par Longi Solar pour sa nouvelle gamme *Hi-MO4* : 30 ans de garantie, avec une perte de puissance inférieure à 2 % à la fin de la première année, puis une baisse linéaire inférieure à 0,45 %/

an. Pour le BIPV (Building integrated photovoltaics), une difficulté se présente : pour minimiser les pertes, les fabricants augmentent le voltage. Les panneaux les plus performants fonctionnent aujourd’hui en courant continu de 1500 V, ce qui nécessite des protections électriques adaptées. ■

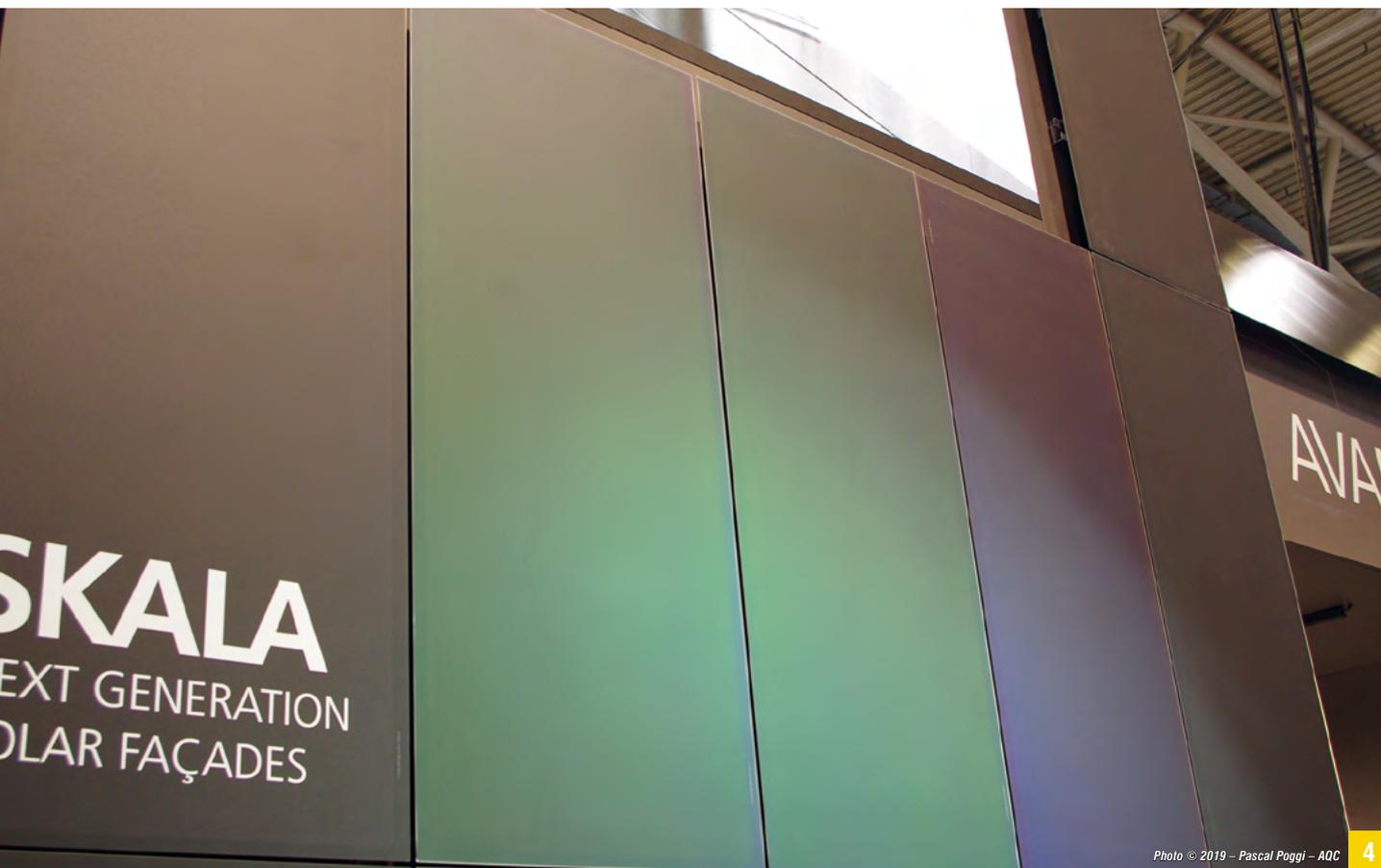


Photo © 2019 – Pascal Poggi – AQC

4

dans tous les autres bâtiments, il faudra investir les façades, voire les parkings en plein air et les abords immédiats. Plusieurs solutions d'installation de panneaux photovoltaïques sont déjà disponibles : en bardage extérieur, en vitrage vertical ou en toiture, posé en protections solaires extérieures, collé sur des parois maçonnées ou en bois, collé sur des toitures métalliques, posé en toiture en recouvrement comme des tuiles, tuiles portant un élément photovoltaïque... Les solutions en toiture sont connues, regardons de plus près les offres de pose en façade.

Le photovoltaïque en bardage

Pour installer des panneaux photovoltaïques en bardage extérieur, on peut soit utiliser des panneaux classiques, soit des panneaux conçus spécifiquement pour cet emploi. Posés verticalement en façade – en bardage ventilé protégeant l'isolation par l'extérieur –, les panneaux photovoltaïques classiques en silicium poly ou monocristallins voient leur rendement diminué de 20 à 30 % en raison de leur verticalité qui n'est pas une inclinaison optimale. Ce qui donne des rendements de 14 à 16 % pour les panneaux dont le rendement nominal en conditions de mesure STC (Standard testing conditions) atteint 20 %. Parfaitement étanches et sans cadre, les panneaux bi-verre (verre/couche photovoltaïque/verre) conviennent particulièrement bien à une mise en œuvre en bardage. Néanmoins, d'un point de vue esthétique, choisir des panneaux classiques n'est pas très heureux : ils sont bleu sombre ou noirs, avec des surfaces non



3 L'emploi de panneaux photovoltaïques classiques en bardage aboutit à une esthétique inhabituelle qui rebute la plupart des architectes.



4 L'allemand Avancis, qui appartient désormais à un groupe chinois spécialisé dans les matériaux de construction, a mis au point des panneaux photovoltaïques en couleur, destinés à être installés en bardage.

(3) www.avancis.de

(4) <https://activskeen.com>

uniformes, des liaisons électriques visibles formant des bandes et des carrés à leur surface, etc. Plusieurs industriels ont donc mis au point des panneaux photovoltaïques spécifiquement prévus pour cet usage, avec des surfaces uniformes, blanches ou en couleur. L'allemand Avancis (3), par exemple, a développé la gamme de panneaux photovoltaïques *PowerMax SKALA* (1 587 x 664 x 38 mm) en CIGS (Cuivre, indium, gallium, sélénium), spécialement pour une pose verticale en façade. Il propose 8 couleurs : bleu, or, gris, gris pâle, vert, bronze, noir ou vert-jaune. Chaque panneau atteint une puissance crête nominale de 135 Wc avec un rendement de 12,8 %. Avancis a par ailleurs développé avec Fibrobéton, un spécialiste turc du béton renforcé de fibres de verre, un panneau de façade préfabriqué en béton, portant les panneaux *PowerMax SKALA* d'Avancis. Cette solution sera en vente en Europe fin 2019.

Les solutions vitrées sur-mesure

L'un des grands spécialistes européens du BIPV (Building integrated photovoltaics ou photovoltaïque intégré au bâtiment), le suisse Ertex, a été acheté par ActivSkeen (4), une filiale de Vinci Construction spécialisée dans les façades actives produisant de l'électricité. Du coup, toutes les solutions développées par Ertex depuis 20 ans sont disponibles sur le marché français. ActivSkeen propose des solutions opaques et semi-transparentes, sur-mesure (couleurs, dimensions, formes, configurations) ou en « demi-mesure » (dimensions standards et >>>



5 Photo © Ertex



6 Photo © 2019 - Pascal Roggi - AGC

couleurs au choix). Ertex est spécialisé dans le silicium cristallin, mais ActivSkeen développe également des solutions à base de CIGS. L'entreprise commercialise notamment les modules sans cadre *PowerMaxSKALA* d'Avancis. En Europe, Ertex a réalisé des centaines de projets BIPV depuis 2004. Toujours en utilisant des modules semi-transparents en parois vitrées ou bien des modules opaques en bardage. En France, Ertex a notamment équipé le bâtiment Green Office de Meudon (92) conçu et construit par le groupe Bouygues. L'allemand Solarnova (5) fabrique des modules sur-mesure, conçus pour un projet spécifique à partir de cellules photovoltaïques en silicium cristallin classiques, et sait aussi proposer des solutions de diverses couleurs et de diverses formes. De son côté, ISSOL (6), un spécialiste belge du BIPV fondé en 2006, se présente comme un transformateur verrier, spécialiste du verre feuilleté en bâtiment, capable d'intégrer des cellules photovoltaïques en silicium cristallin dans des sandwichs verre-verre. En France, ISSOL a notamment conçu et fabriqué pour le compte de TCE Solar la voile photovoltaïque de la Cité de la Musique, construite sur l'île Seguin par Shigeru Ban Architects Europe et Jean de Gastines Architectes. L'auditorium est protégé par une voile solaire de 160 T, >>>

(5) www.solarnova.de/en (6) www.issol.eu/fr/home-fr

▲ 5 Des panneaux photovoltaïques verre/verre, sans cadre, sont posés exactement comme des vitrages.

▲ 6 Le suisse G2E (GLASS2ENERGY) se nomme désormais H.Glass. Il fabrique des panneaux PV de verre translucide de couleur verte ou orange, incorporant une couche PV organique.

Photo © Ertex



LE DÉVELOPPEMENT DU BIPV

Les industriels européens se préparent à une forte croissance du marché du BIPV (Building integrated photovoltaic ou photovoltaïque intégré au bâtiment). Attention, ici le mot «intégré» ne renvoie plus à des notions françaises de prix de vente du kWh photovoltaïque, plus élevé dans le cas des installations intégrées que dans le cas des installations superposées au bâti.

Parmi les programmes de recherche consacrés au BIPV, le plus ancien est la *Task 15* de l'IEA (1) [International energy agency ou Agence internationale de l'énergie] qui vise à développer des solutions BIPV. La *Task 15* a notamment publié un rapport sur les solutions de BIPV en couleur (2), ainsi qu'un rapport en février 2019 sur les attentes du marché à propos du BIPV (3).

L'Europe a pour sa part financé plusieurs dizaines de programmes de recherche sur le PV et le BIPV. Les trois plus récents sont *PVSites* (4), *PV Adapt* (5) et *BIPVBoost* (6). Le but de *PV Sites* est de

contribuer au large déploiement du BIPV dans la perspective de l'entrée en vigueur de la dernière version de la Directive sur l'efficacité énergétique des bâtiments, en constituant une base de données de solutions techniques et de réalisations exemplaires. *PV Adapt*, pour sa part, porte plutôt sur l'élargissement des fonctions des panneaux PV pour qu'ils deviennent un matériau de construction, la baisse de leurs coûts – achat, installation, entretien –

(1) www.iea-pvps.org/index.php?id=task15

(2) www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf

(3) http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA_PVPS_Task_15_STC_C1_Report_20190216_01.pdf

(4) www.pvsites.eu

(5) www.pvadapt.com

(6) <https://bipvboost.eu>

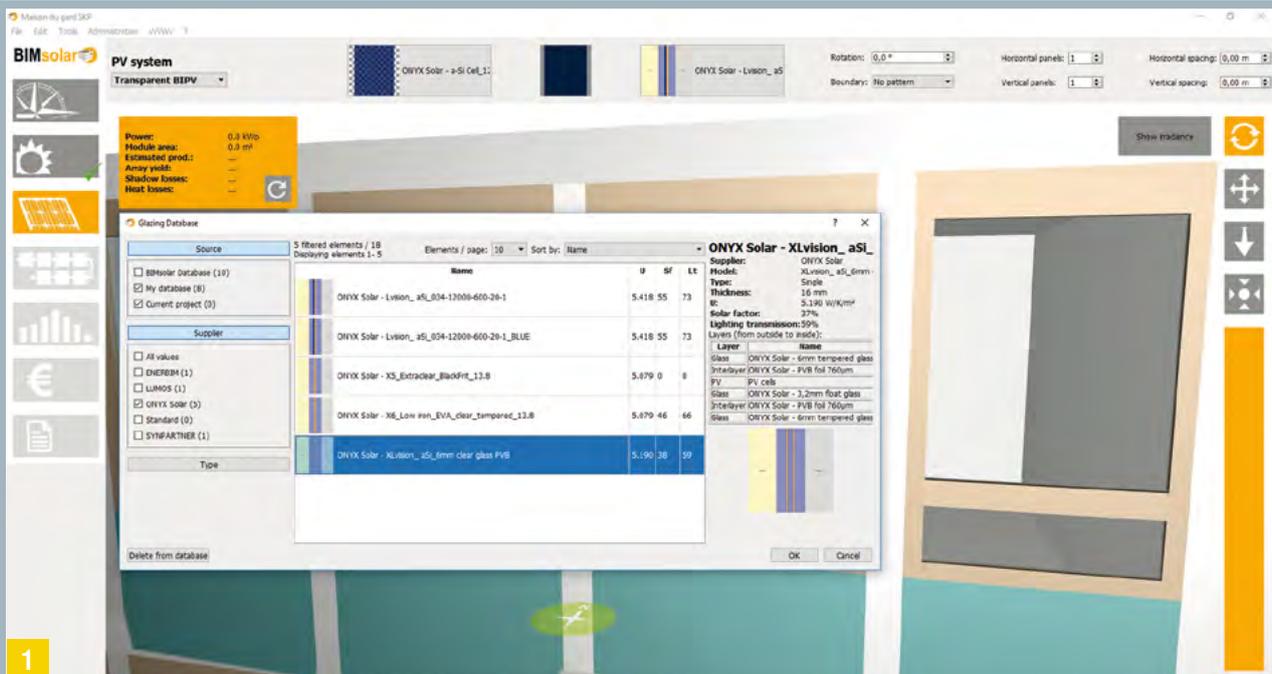
(7) <https://allianz-bipv.org>

(8) www.archsolar.org

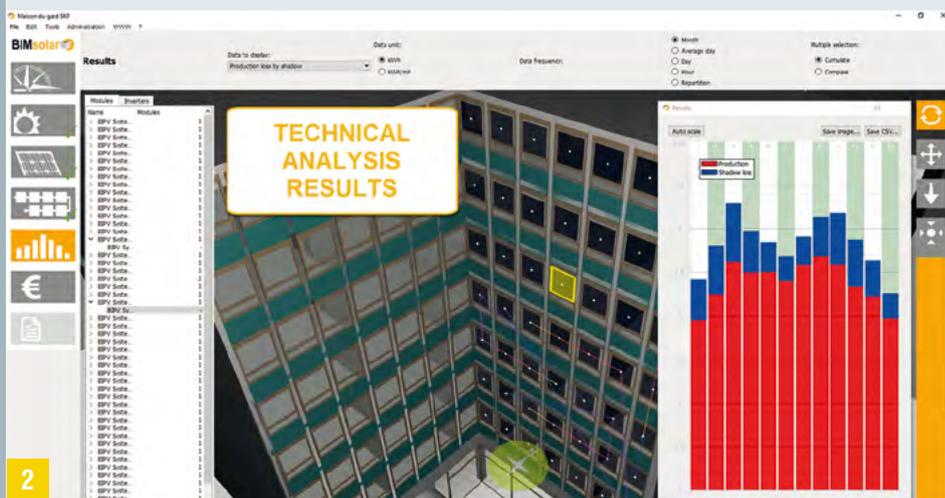
(9) www.sunhorizon-project.eu/project-brief

et leur recyclage. *PVBoost* semble poursuivre le même but : une réduction de 20 % du prix des solutions BIPV d'ici 2020, et de 75 % à l'échéance 2030.

L'association *Allianz BIPV* (7), dont les membres sont à la fois les vendeurs de solutions, les fédérations qui défendent le solaire et des entreprises de mise en œuvre, rassemble exemples, études de cas, produits et idées sur son site Internet. L'association américaine *ASA* (Architectural solar association) est également un très actif foyer d'échanges sur le BIPV (8). Enfin, le projet européen *SunHorizon* (9) est un peu différent. Il associe les français *DualSun* et *Boostheat*, les allemands *Fahrenheit* et *Ratiotherm*, l'europpéen *BDR Thermea* et le suisse *TVP Solar* dans le développement de l'association de pompes à chaleur – à compression, à adsorption... – et de panneaux mixtes photovoltaïques et thermiques. *SunHorizon* veut aller jusqu'à des «field test» d'installations réelles et opérationnelles. ■



1



2

Photos © EnerBim

1 et 2

BIMsolar peut importer des panneaux existants depuis la base de données *Photon*. Il permet aussi de confectionner ses propres modules à partir de cellules PV réelles (photo n° 1). Le logiciel restitue la production selon le pas de temps choisi par l'utilisateur et met en relief les pertes par ombrage (photo n° 2).

ÉVALUER LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE

La première tâche des concepteurs de bâtiments neufs Bepos sera d'évaluer la production d'électricité photovoltaïque possible sur leurs projets. L'entreprise EnerBim (1), créée par quatre anciens d'ArchWizard (Philippe Alamy, Manuel Barral, Sébastien Bernes et Régis Lecussan), a développé **BIMsolar** (2), un logiciel de simulation 3D dédié à l'énergie solaire intégrée dans la conception architecturale, l'ingénierie et la construction. C'est aussi une plateforme web communautaire où les participants échangent, posent

des questions et répondent sur l'intégration du photovoltaïque dans les bâtiments. **BIMsolar** importe des fichiers 3D *SketchUp*, *IFC 2x3* et bientôt *2x4*, *gbXML* et *EnergyPlus*. Il est également disponible sous forme d'un plug-in *Revit*. Le serveur dispose des données météorologiques d'une centaine de stations, mais les utilisateurs peuvent importer leurs propres données météo au format csv, tm2 ou epw. **BIMsolar** simule ensuite l'irradiance directe et diffuse grâce à son moteur de lancer de rayon, modélise apports et pertes d'énergie solaire en

tout point de la maquette 3D. Pour évaluer plus précisément la production photovoltaïque et comparer des solutions techniques, l'utilisateur de **BIMsolar** a accès à la base de modules PV et d'onduleurs créée et maintenue à jour par le magazine allemand *Photon*, spécialisé en solaire. L'utilisateur choisit le câblage de l'installation ou laisse le logiciel l'effectuer automatiquement à partir du choix des onduleurs. Le logiciel fournit des résultats par mois, par jour ou heure par heure et met en relief les pertes par ombrage, par surchauffage

des panneaux... Enfin, **BIMsolar** simule le retour sur investissement avec revente totale de l'électricité produite, autoconsommation totale ou autoconsommation partielle avec revente du surplus. **BIMsolar** exporte ses fichiers vers le logiciel *EnergyPlus* (3) pour une simulation dynamique très fine. EnerBim travaille par ailleurs avec DualSun au développement d'un module BIPVT (module PV et thermique) dans le logiciel **BIMsolar**. ■

(1) www.enerbim.com
 (2) <http://wp.bim-solar.com>
 (3) <https://energyplus.net/>

posée sur une voie de roulement et accroché à un pivot au sommet. Elle se déplace à la vitesse de 8 m/s pour suivre la course du soleil dans la journée et maximiser le rendement de production PV. Mise en place par Baudin Chateaufneuf, cet ouvrage est composé de verres de différentes dimensions, dont les couleurs ont été choisies par Shigeru Ban. Selon ISSOL, le photovoltaïque doit devenir une part intégrante de la séduction du bâtiment. Une matière avec laquelle l'architecte peut jouer et non une contrainte qu'il subit. C'est pourquoi ISSOL se spécialise plutôt dans le sur-mesure.

Les panneaux photovoltaïques souples à coller

Il existe au moins quatre solutions déjà disponibles en Europe de films souples à coller, verticalement sur les murs aveugles, sur les toitures-terrasses ou en pente. D'autres solutions chinoises sont en cours d'adaptation pour le marché européen.

La première est celle de l'allemand Heliatak (7), dans lequel Engie a pris une participation depuis 2016. Heliatak développe des films PV à base organique. L'entreprise détient le record de rendement pour cette technologie : ses cellules atteignent 13,2% de rendement nominal. Le film organique PV – pesant moins de 1 kg/m², flexible avec un rayon de courbure de 10 cm, translucide, atteignant des longueurs de 0,3 à 6 m, disponible en plusieurs couleurs et très peu sensible à l'élévation de température – est incorporé dans deux produits différents, *HeliaFilm* ou *HeliaSol*. *HeliaFilm* est une couche active qui peut être incorporée à un produit de construction : du verre bombé, par exemple, ou un bardage. Tandis qu'*HeliaSol* est un film avec une face pré-encollée, destiné à être collé directement sur les parois extérieures de bâtiments existants. Début octobre 2018, 185 m² d'*HeliaSol* ont été collés sur la façade d'un entrepôt sur le port de Duisbourg (Allemagne), soit 195 panneaux *HeliaSol* de 3 m de longueur. Le deuxième produit souple est la membrane *EVALON Solar cSi* fabriquée par Alwitra. Elle combine le revêtement d'étanchéité *Evalon* avec des cellules en silicium cristallin encapsulées. *EVALON Solar cSi* mesure 1,55 x 3,49 m, pèse 3,3 kg/m². Il faut moins de 10 m² de surface pour atteindre 1 kWc, chaque membrane affiche une puissance nominale de 450 Wc. La membrane se pose à la fois en toiture et sur parois verticales.

La troisième solution est celle de DAS Energy (8), une entreprise autrichienne (joint-venture entre Diamond Aircraft Industries GmbH et Alternative >>>



Photo © Heliatak

7



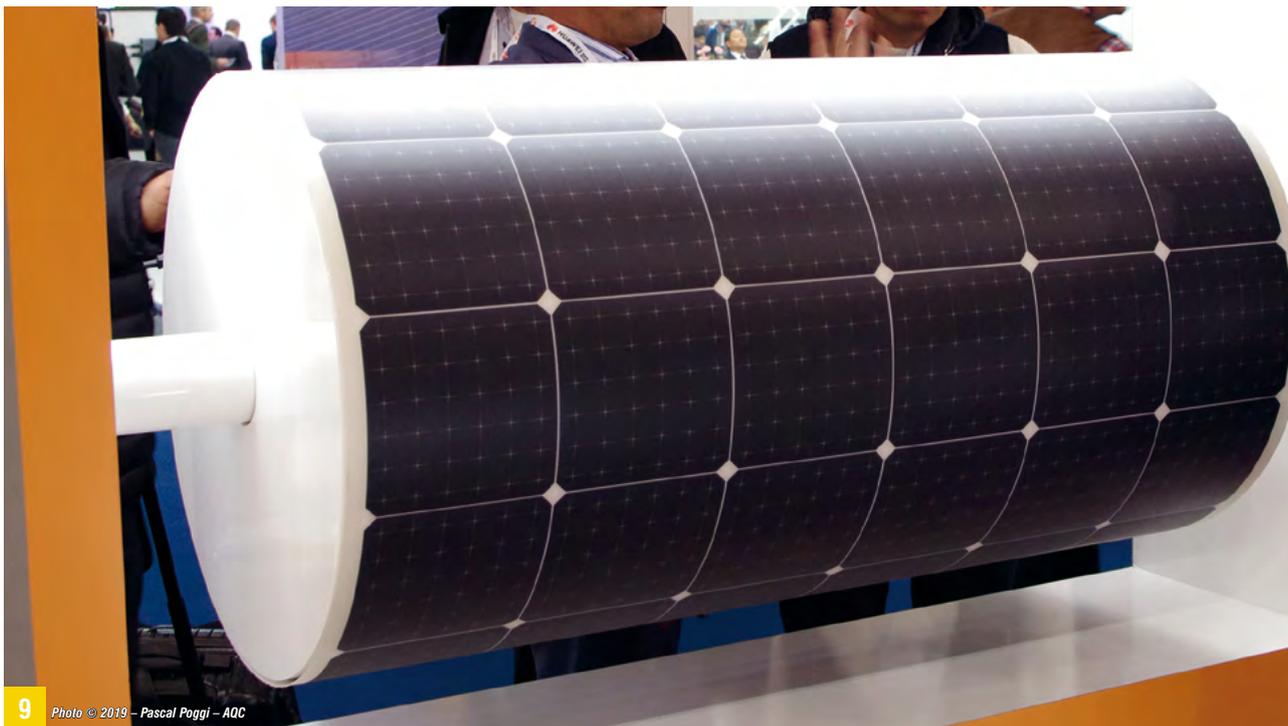
Photo © 2019 – Pascal Poggi – AOB

8

(7) www.heliatak.com/en

(8) www.das-energy.com/the-flexible-module

- ▶ 7 Les films souples Heliasol sont simplement collés sur une paroi verticale maçonnée ou métallique.
- ▶ 8 Das Energy fabrique des panneaux photovoltaïques souples à base de cellules en silicium cristallin. Il s'est engagé dans une procédure d'Avis Technique qui pourrait aboutir à l'automne 2019.



9 Photo © 2019 - Pascal Poggi - AOC



10 Photo © 2019 - Pascal Poggi - AOC

Energy Solutions GmbH) qui fabrique dans sa nouvelle usine de Vienne d'une capacité de production annuelle de 75 MWc, des modules PV en silicium cristallin de 2 à 72 cellules, sur panneau semi-rigide en plastique. Un module pèse en moyenne 2,5 kg/m², soit 4,5 kg pour une puissance nominale de 250 Wc. Das Energy sait aussi fabriquer des modules sur-mesure en termes de couleurs et de dimensions. Das Energy est présent en France et s'est engagé dans une démarche d'obtention d'un Avis Technique qui pourrait arriver au début de l'automne 2019.

La quatrième solution produite par le chinois Sunport est commercialisée en France par Galix Solar. D'autres solutions sont en développement et devraient être commercialisées dès la fin 2019 ou le début 2020. Le Hollandais HyET Solar, par exemple, développe *Powerfoil*: du silicium amorphe encapsulé entre deux feuilles de plastique. Le panneau PV *Powerfoil* est souple - 3 cm de rayon de courbure - et léger, seulement 250 g/m². Son rendement est de 8 % dans sa version standard, et 12 % dans la version *Powerfoil HE*. HyET Solar vise 18 % de rendement vers 2022, ce qui donne des puissances de 200 à 500 Wc/kg. Les panneaux *Powerfoil* peuvent atteindre jusqu'à 12 m de longueur. Ils sont moins sensibles que les panneaux en silicium cristallin, à l'augmentation de température. Ils peuvent être collés sur des parois verticales ou sur des toitures. Pour l'instant, HyET Solar dispose d'une capacité de production de 37 MW/an à Arnhem, mais prépare une nouvelle >>>

▲ 9 Le français Galix Solar commercialise les solutions souples et rigides de Sunport.

▲ 10 Le hollandais HyET Solar disposera en 2020 d'une capacité de production annuelle de 300 MW pour son panneau PV souple *Powerfoil*.



Photo © PI Berlin 1



Photo © PI Berlin 2



Photo © Glassbel 3

- ▶ 1 Le projet SmartFlex a abouti au test en grandeur réelle d'une double façade, dont la peau extérieure (à droite sur la photo) est équipée de cellules photovoltaïques espacées pour préserver la vue et l'accès à la lumière naturelle.
- ▶ 2 La double façade SmartFlex est conçue de manière classique : ouvertures en haut et en bas pour une circulation d'air naturelle par convection, ouvrants sur la façade intérieure pour une ventilation naturelle, etc.
- ▶ 3 Sur la partie sud-est de son bâtiment test, le consortium SmartFlex teste également des protections solaires verticales sous forme de panneaux photovoltaïques semi-translucides.

LE PROJET EUROPÉEN SMARTFLEX

Financé par la Commission européenne à hauteur de 2,9 millions d'euros et initié en 2013, le projet SmartFlex Solar Façades (1) a abouti à un logiciel permettant de concevoir des façades photovoltaïques de n'importe quelles formes et couleurs en utilisant les possibilités de personnalisation des modules photovoltaïques. Les partenaires du projet sont à la fois des industriels – Glassbel pour le verre, Via Solis pour la fabrication de modules PV, le spécialiste de l'équipement des usines PV Mondragon Assembly –, des instituts de recherche – Photovoltaik-Institut Berlin, le centre de compétence suisse pour le BIPV et Creative Amadeo, un éditeur de logiciels. Deux façades du siège social du

verrier Glassbel, situé en Lituanie, ont été utilisées pour tester une installation PV en structure bi-verre (verre/couche PV/verre) de 15 kWc de puissance nominale. La surface totale des deux façades, orientées sud-est et sud-ouest, atteint 600 m². L'installation se compose de 75 modules, de 15 types différents et de diverses dimensions jusqu'à 1,7 x 3,6 m pour une puissance nominale de 274 Wc. Plusieurs solutions de fixation des modules ont été utilisées pour tester leur fiabilité : verre structurel, verre collé, percement et fixation à une ossature, etc. Chacun des 75 modules est équipé d'un onduleur string Enphase Energy, pour isoler et observer précisément son fonctionnement individuel. L'installation

a été raccordée et mise en service en novembre 2016, et en mai 2017, le Photovoltaik-Institut de Berlin, chargé du monitoring, a rendu ses premières conclusions. Il prévoit une production annuelle de 800 kWh par kWc installé en façade, soit une production totale annuelle de 12 000 kWh, sachant en plus que l'installation est en Lituanie, un pays considéré comme peu favorable en raison d'un ensoleillement relativement faible, notamment des durées diurnes courtes pendant les mois d'hiver. Glassbel chiffre le coût de cette double façade PV à 550 € HT/m², contre 880 € HT/m² pour une double façade de verre classique. ■

(1) www.smartflex-solarfacades.eu

“Il est clair que les solutions pour installer beaucoup plus de panneaux photovoltaïques et produire nettement plus d'énergie existent [...]. Mais même en les déployant, il est très probable que tous les bâtiments neufs ne pourront pas être Bepos au sens du niveau Énergie 4 du label E+C-”



11

Photo © 2019 – Pascal Poggi – AOC

usine de 300 MW/an à Arnhem, puis 5 autres usines de 300 MW chacune, construites à travers le monde avec des partenaires.

Bien d'autres difficultés restent à surmonter

Il est clair que les solutions pour installer beaucoup plus de panneaux photovoltaïques et produire nettement plus d'énergie existent, et que d'autres sont en développement et devraient apparaître sur le marché fin 2019 ou en 2020. Mais même en les déployant, il est très probable que tous les bâtiments neufs ne pourront pas être Bepos au sens du niveau Énergie 4 du label E+C-. Certains, les tours, par exemple, consomment par nature trop d'énergie et offrent un facteur de forme trop défavorable à la production d'énergie sur site pour atteindre le Bepos. Il faudra peut-être, ce dont on parle depuis quelques années déjà, réfléchir à une échelle plus vaste – l'îlot, la ville, l'agglomération, la communauté de communes – pour parvenir à compenser les consommations des bâtiments structurellement défavorisés. Pour l'instant, le label E+C- et la future RE 2020, du moins ce qu'on en connaît, restent focalisés sur le bâtiment. En plus, d'autres difficultés administratives, réglementaires, techniques devront être surmontées avant que le Bepos soit généralisé. Côté administratif, le raccordement au réseau d'une installation photovoltaïque, selon sa puissance, requiert un dossier complexe et débouche souvent sur un délai de plusieurs mois alors que pour l'instant, la France raccorde moins de 30 000 installations photovoltaïques au réseau par an... À partir de 2021, nous passerons d'un coup à environ 230 000 installations à raccorder chaque année. La réglementation, notamment les règles d'urbanisme, et ceux qui assurent la protection du patrimoine ne semblent pas avoir pris le virage du BIPV généralisé. Par ailleurs, un générateur photovoltaïque est une installation électrique. Un générateur photovoltaïque adapté à un grand hôtel ou à un grand bâtiment de bureaux est une installation complexe à concevoir et à entretenir. La France compte trop peu d'entreprises ayant l'expérience de tels chantiers. Enfin, comment les pompiers sauront-ils avec certitude que la production d'électricité est coupée lorsqu'ils interviennent en cas d'incendie ? Au-delà de la disponibilité des solutions techniques, bien des sujets restent à approfondir. ■

11 Le chinois Flisom propose sur le marché européen des panneaux souples pouvant atteindre 7 m de longueur.