


Le photovoltaïque en maison individuelle : une installation électrique sous haute surveillance

Retrouvez cette plaquette encadrée dans ce numéro de **Qualité Construction**

• La plaquette **Le photovoltaïque raccordé au réseau dans le bâtiment de l'AQC.**



Le photovoltaïque raccordé au réseau dans le bâtiment

La performance d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau dépend de la qualité de l'intervention en toiture et des travaux électriques spécifiques à cette technique. Des précautions sont également à prendre afin d'assurer la protection des personnes et des biens, tant pendant les travaux qu'ultérieurement.

Cinquième pays le plus ensoleillé d'Europe, la France dispose d'une abondante énergie solaire disponible en toute région. Afin de stimuler le développement du photovoltaïque, la France a mis en place deux dispositifs : la majoration du crédit d'impôt de 40 à 50 % en 2005, et le tarif d'obligation d'achat de l'électricité produite en 2006. Grâce à ces incitations, les installations raccordées au réseau sont aujourd'hui réalisées à 80 % chez le particulier. Le concepteur et l'installateur de panneaux photovoltaïques (PV) doivent prendre conscience des dangers potentiels que représente l'électricité photovoltaïque, pendant et après l'installation. La sécurité à long terme n'est atteinte que si les composants et le système ont été correctement conçus et spécifiés dès le stade de la conception.

Le principe du photovoltaïque

« L'effet photovoltaïque » est un phénomène physique (1) propre à certains matériaux semi-conducteurs comme le silicium, par exemple. Ceux-ci possèdent la propriété de générer

de l'électricité quand ils reçoivent la lumière du soleil ; c'est cette capacité qui est mise en application dans les cellules photovoltaïques. Ces cellules (environ 12 à 13 cm de côté) captent les photons de la lumière qui transmettent leur énergie aux électrons de la matière. Lorsqu'une charge est connectée (un récepteur électrique comme une lampe, par exemple), les électrons se mettent en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique continu (DC). Les charges positives et négatives sont recueillies par des fils métalliques très fins qui acheminent le courant à la cellule suivante.

1. De la cellule aux panneaux.

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, de 1 à 3 W avec une tension de 0,6 V. Pour produire plus de puissance, les cellules sont connectées en série pour former un module (ou panneau) de 50 cm² à 3 m² : la tension augmente (ex : 0,6 V x 48 cellules = 28,8 V), le courant reste identique. La puissance de sortie du module, proportionnelle à sa surface, est exprimée en watt-crête (Wc), environ 100 Wc par m² de panneau. Le montage en série ou en parallèle de plusieurs modules (chaînes ou branches) pour obtenir une puissance encore plus grande, forme au final un champ photovoltaïque de quelques kWc. Cependant, comme « l'effet photovoltaïque est soumis au seul rayonnement solaire, la puissance des modules décroît lorsque le temps se couvre », explique Christian Méric, ingénieur-conseil photovoltaïque de Sunwise. *Par temps très couvert, la production est pratiquement nulle. La nuit et même lors de pleine lune, les modules ne fonctionnent pas.*

2. Des modules au réseau.

Le courant continu (DC) produit par le champ de modules PV est transmis à un onduleur qui le transforme en courant

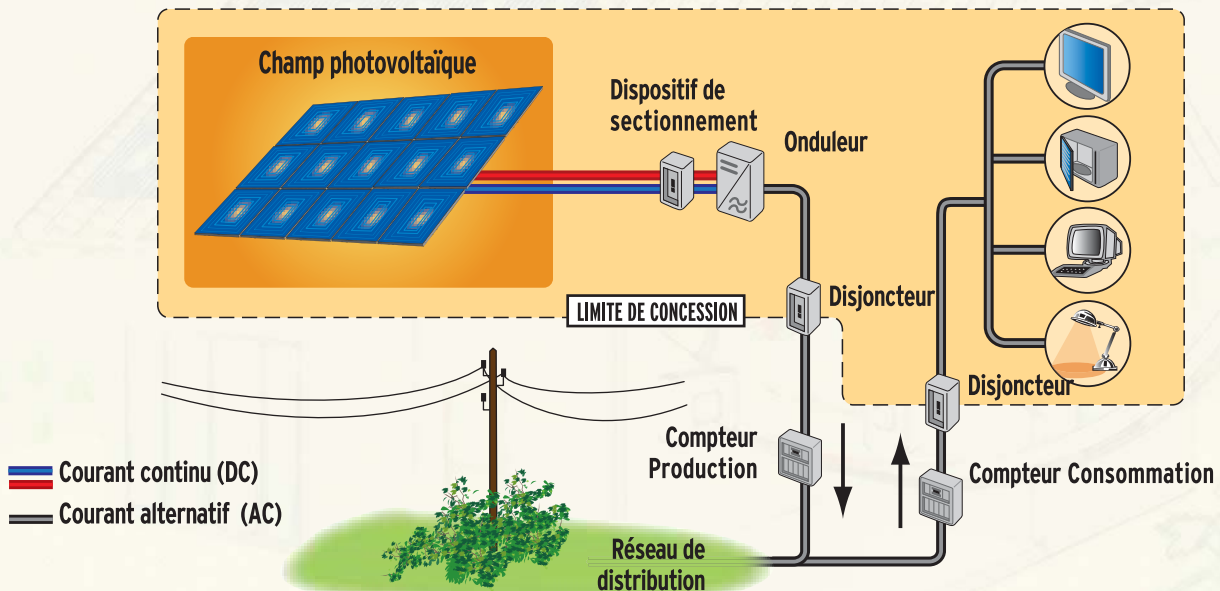
(1) L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français, Antoine Becquerel, grand-père d'Henri Becquerel qui découvrit la radioactivité en 1896 et reçut le prix Nobel en 1903.

À noter

Qu'est-ce que la puissance crête ?

C'est la puissance électrique maximale produite par un panneau ou une installation photovoltaïque dans des conditions spécifiques de températures (25 °C) et d'ensoleillement optimal (environ 1000 W/m²). Elle s'exprime en watt-crête (Wc) pour un panneau ou en kilowatt-crête (kWc) ou mégawatt-crête (MWc) pour une installation.

Principe de fonctionnement des panneaux photovoltaïques



alternatif (AC) 230 V, identique à celui du réseau. L'onduleur optimise le rendement des panneaux, quel que soit l'ensoleillement. Le courant produit est ensuite injecté sur le réseau public. Un compteur placé en amont de l'onduleur mesure la production annuelle d'électricité photovoltaïque afin d'en percevoir les revenus. Cette installation est indépendante de l'installation électrique classique de la maison qui est entièrement alimentée par le distributeur. La fourniture d'électricité dispose de son propre compteur.

pourra bénéficier ni du crédit d'impôt, ni de la TVA à 5,5 %. » Attrayant, le prix de vente au réseau public joue aussi un rôle dans ces choix. « *L'électricité solaire est vendue à EDF environ cinq fois le prix d'achat au fournisseur. Le particulier a donc intérêt à vendre la totalité de sa production et à acheter uniquement ce dont il a besoin, plutôt que de vendre uniquement le surplus d'électricité qu'il ne consomme pas* », remarque Paul Grizel, ingénieur et responsable pôle Énergie bâtiment, énergies renouvelables à la FFIE (2). Enfin, le prix d'achat de l'électricité est assorti d'une prime si les panneaux PV sont intégrés à l'architecture. En synthèse, l'installation la plus intéressante pour le particulier sera constituée de modules PV intégrés au bâti d'une puissance maximum de 3 kWc, dont la production d'électricité est vendue en totalité au réseau.

Illustration AOC

Pour un amortissement optimal

Comme il n'existe pas de corrélation entre la puissance installée et les besoins du bâtiment, le choix du type d'installation se fait suivant des critères de budgets et de surface disponible. « *Un particulier peut avoir un gros budget et être limité par une petite toiture, commente Christian Méric. Ou l'inverse, ce qui va l'obliger alors à limiter la puissance de son installation qui, par ailleurs, ne doit pas excéder les 3 kWc pour être éligible au crédit d'impôt et à la revente totale (prorogé jusqu'en 2012). Si l'espace de sa toiture et son budget le permettent, il peut installer bien au-delà de 3 kWc, mais il ne*

Simplifier les procédures administratives

Si notre tarif d'achat de l'électricité est parmi les plus performants d'Europe, nous sommes aussi les champions des démarches administratives dans les procédures de connexion au réseau. L'attente minimale est de six mois... Face à

(2) Fédération française des entreprises de génie électrique et énergétique.

À noter

Un tarif d'achat incitatif (Source Hespul)

Un arrêté du 10 juillet 2006 fixe à 20 ans l'obligation d'achat de l'électricité produite à partir d'une installation PV, par EDF et les entreprises locales de distribution.

Les tarifs hors TVA ont été fixés à :

- 30 c€/kWh + 25 c€/kWh de prime d'intégration au bâti pour la métropole ;

- 40 c€/kWh + 15 c€/kWh de prime d'intégration au bâti en Corse et outre-mer.

Soit un tarif de 55 c€/kWh sur tout le territoire de la République. Revalorisé tous les ans, le prix d'achat 2009 en métropole est de 60,176 c€/kWh pour une installation intégrée au bâti et de 32,823 c€/kWh dans le cas contraire. Soit 5 fois plus cher que le prix de l'électricité payé par le client (entre 5 et 11 c€/kWh).

**Photo SolarWorld:**

Le système de Toit Solaire s'adapte en neuf et rénovation, intégré partiellement ou totalement à la toiture. Les modules polycristallins sont posés sur des profilés aluminium comportant un caoutchouc en EPDM et sont fixés à l'aide de supports de serrage en caoutchouc EPDM.

Puissance maximum : 225 Wc.

cette lourdeur administrative, ERDF (3) a proposé, mi 2008, à Soler (4) et à Hespul (5) de mettre en place un plan d'amélioration de la procédure et des délais de raccordement. Ce plan prévoit de réduire à 2 (au lieu de 5) les démarches à effectuer : une autorisation de l'urbanisme auprès de la collectivité territoriale compétente (un PC pour le logement neuf, par exemple), et une démarche auprès du distributeur d'électricité pour les contrats de raccordement et d'achat de l'électricité.

Pour une installation en neuf (les modules s'intègrent dans le PC) ou l'obtention de déclaration préalable de travaux sur une maison existante, il faut s'adresser à la mairie. Enfin, « c'est le client (qui est responsable), qui doit se charger des formalités administratives, commente Pierre Mas, conseiller professionnel auprès de l'Una-CPC (6) de la Capeb et gérant de l'entreprise Mas. Cependant, il peut déléguer cette tâche à l'entreprise. »

Une bonne conception pour optimiser les gains

1. Orientation et inclinaison.

Le niveau de production d'électricité dépend directement de l'ensoleillement du lieu, de l'orientation et de la pente du toit. Les données météorologiques d'ensoleillement du site donnent la production électrique moyenne attendue dans des conditions optimales d'implantation. D'après Météonorm (7), des modules polycristallins d'une puissance de 1 kWc (environ 9 à 10 m²) produisent entre 700-800 kWh/kWc dans le nord-est de la France, et de 1 100 à 1 300 kWh/kWc en région Paca et en Corse. L'intensité du rayonnement solaire dépend bien sûr des saisons et du moment de la journée : plus le soleil est

haut, plus elle forte. L'implantation idéale des panneaux PV en France métropolitaine est plein sud, avec une pente de 30 à 35° sur une surface sans ombre. « Les orientations sud/est ou sud/ouest n'engendrent pas de baisse de production importante si la pente reste à 30°, explique Christian Méric. Et même à plat, l'installation aura une production annuelle d'environ 90 % de ce qu'elle aurait pu apporter si elle avait été inclinée de manière optimale. Le choix final résulte souvent d'un compromis, mais l'installateur avisé choisit toujours l'orientation et la pente les plus appropriées pour vendre la meilleure production possible. »



2. Attention aux masques.

Il faut éviter les ombres portées sur les panneaux PV car la chute de rendement est bien supérieure au pourcentage de la surface occultée. « En s'interposant entre le rayonnement solaire et les cellules, elles empêchent de recevoir les photons, expose Christian Méric. La puissance d'un générateur chute, même s'il n'est que partiellement ombragé. Comme les modules sont montés en série, l'ensemble du générateur est pénalisé par le ou les modules affaiblis par l'ombre. Il suffit donc que l'un d'eux soit à l'ombre pour que sa puissance baisse, ce qui pénalise la chaîne entière. »

De son côté, Paul Grizel précise : « Généralement, les masques sont partiels. Une cheminée, par exemple, n'occulte qu'une partie des modules et son ombre se déplace au cours de la journée et en fonction des saisons. En supposant que cette ombre soit toujours de la même taille, cela revient à dire que l'installation dispose d'une surface de module diminuée de la surface de cette ombre. »

Ce ne sont pas toujours les mêmes modules qui vont arrêter de produire, mais globalement cette ombre est perdue. Il faut donc apporter une attention particulière à ces masques (poteaux électriques, immeuble...) en anticipant la croissance des arbres et en allant se renseigner sur la constructibilité des abords (Pos ou PLU). En construction neuve, il faut veiller à l'implantation d'une cheminée ou d'une parabole.

Pour limiter l'impact des masques, « les modules PV (36 à 72 cellules pour les plus courants) doivent être obligatoirement équipés de diodes by-pass, en principe toutes les 18 cellules, soit par exemple 3 by-pass par module de 54 cellules, explique Christian Méric. Si une cellule est masquée, la diode by-pass va permettre au courant de contourner les 18 cellules reliées en série, dont celle qui est masquée, évitant ainsi sa surchauffe. Les 2/3 du module vont donc continuer de fonctionner normalement. » Les diodes limitent aussi les problèmes dits de « hot spot » (surchauffe). « Lorsqu'une cellule est à l'ombre et en raison du montage en série, au lieu d'émettre du courant elle réceptionne celui des autres cellules exposées à la lumière, et se met à chauffer, précise Paul Grizel. Cette surchauffe réduit sa durée de vie et peut entraîner sa destruction. »

3. L'agencement des modules.

Il doit tenir compte de l'ensemble des paramètres de l'installation. « La surface disponible et l'exposition peuvent conduire à répartir les modules sur deux pans de toiture, relate Pierre Mas. Si la place est suffisante, un kit proposé par un industriel convient (ils produisent 140 à 170 W/m², voire plus). Selon la forme du pan de toiture, le choix se portera sur des modules en "portrait" ou en "paysage". L'étude réalisée doit vérifier la cohérence entre le nombre de modules, leur orientation et le couple qu'ils forment avec l'onduleur. » Si les masques sont inévitables, ils peuvent conduire à un agencement spécifique des panneaux en

(3) Électricité réseau distribution France.

(4) Branche photovoltaïque du Syndicat des énergies renouvelables (SER).

(5) Association spécialisée dans le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

(6) Una Couverture-Plomberie-Chauffage.

(7) Base de données météo mondiale.



série ou en parallèle, pour éviter que l'ensemble d'un générateur soit inopérant. Le but étant que l'ombre porte sur une série de modules reliés entre eux et non sur deux ou trois séries en même temps.

4. Pertes dans le circuit.

L'installation doit être conçue, si possible, de manière à limiter la distance entre l'installation PV et le compteur de production afin de minimiser les pertes en ligne. « *Le transport de l'électricité inclut des pertes même si les câbles sont surdimensionnés*, remarque Christian Méric. *Pour les minimiser, l'électricien doit calculer les pertes en fonction de la distance à parcourir, de la puissance à transporter et de la section du câble à choisir. L'idéal est 1 % de perte, et il ne faut pas dépasser 3 % sur l'ensemble de l'installation.* »

Dimensionnement et implantation de l'onduleur

Spécifiquement conçu pour le raccordement au réseau, cet appareil électronique géré par microprocesseur possède des fonctions particulières. En tant qu'interface entre les courants DC et AC, il ajuste automatiquement le fonctionnement des panneaux PV (tension, fréquence, phase) aux exigences normatives fixées par le gestionnaire du réseau, et garantit la qualité du courant produit. Sa fonction de découplage l'arrête automatiquement s'il n'y a plus de réseau, s'il n'est plus en phase avec celui-ci ou si on a coupé le disjoncteur situé en sortie d'onduleur sur la partie AC. En arrêtant ainsi l'injection de courant PV dans le réseau, il supprime tout risque pour les techniciens effectuant

Photo Schüco:

Installation *Premium* intégrée partiellement ou presque totalement sur des toitures en tuiles mécaniques. Ce système PV a reçu le 1^{er} Avis Technique décerné à un procédé photovoltaïque.

Pour en savoir plus – Réglementation et normes

Réglementation

- **Arrêté du 10 juillet 2006** fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3^o de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000.

Normes

Les modules PV doivent être conformes aux normes suivantes :

- **Norme NF EN 61730-1** *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1 : exigences pour la construction* (septembre 2007).
- **Norme NF EN 61730-2** *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2 : exigences pour les essais* (août 2007).

- **Norme NF EN 61215** *Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation* (août 2005).
- **Norme NF EN 61646** *Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation* (novembre 2008).

Les onduleurs doivent être conformes aux normes suivantes :

- **Norme DIN V VDE V 0126-1-1** *Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid* (février 2006).
- **Norme CEI 61727** *Systèmes photovoltaïques (PV) – Caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau* (décembre 2004).

voir la suite à la page suivante

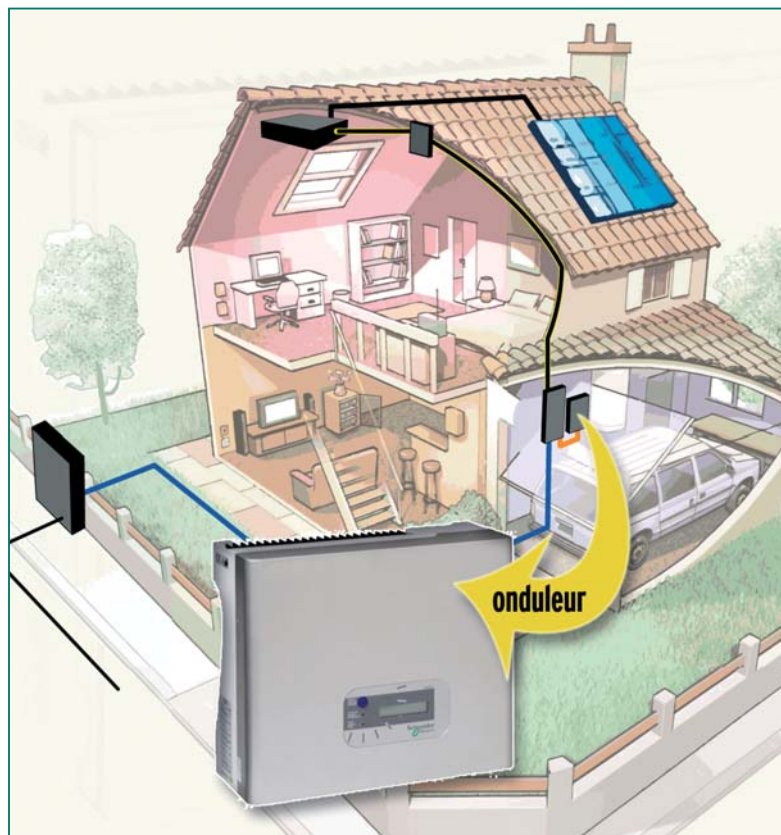


Illustration et photo

Schneider Electric:

Les onduleurs SunEzy disposent d'un écran à cristaux liquides (LCD), d'une interface de communication évoluée et d'une déconnexion automatique de l'onduleur.

des travaux de maintenance ou de réparation sur celui-ci. L'onduleur doit répondre à la norme DIN VDE 0126-1-1 qui prouve qu'il bénéficie d'une protection de découplage intégrée. Elle est exigée pour obtenir le raccordement à ERDF. Il est à noter que si l'absence de réseau arrête le couplage de l'onduleur, il n'arrête pas le champ solaire qui reste opérationnel : il y a toujours de la tension sur la partie DC, mais elle est coupée au niveau de l'onduleur. Par ailleurs, « le client doit prendre conscience que l'onduleur ne peut fonctionner qu'en présence du réseau public, précise Christian Méric. En cas de coupure de ce dernier, il n'aura plus d'électricité chez lui. »

Deux facteurs influent sur le rendement de l'installation et sur sa durée de vie :

■ **le dimensionnement.** La taille de l'onduleur doit être adaptée à la puissance installée. « S'il est sous-dimensionné, il peut se bloquer lorsqu'il y a beaucoup de soleil et qu'il reçoit trop de courant ou de tension par rapport à sa capacité, explique Christian Méric. Il se met en sécurité ou il déleste : il y a donc des pertes. S'il est surdimensionné, des pertes se produiront le matin au lever du soleil parce qu'il lui faudra plus de tension ou de courant pour démarrer, et le soir lorsque soleil décroît, pour continuer de fonctionner. Le but est de le faire fonctionner le plus longtemps possible. ». L'onduleur doit être choisi en fonction de toutes les caractéristiques de l'installation et des données du constructeur. « La puissance crête du champ PV, la tension et le courant des chaînes de modules sont les principaux éléments à prendre en compte, souligne Christian Méric. D'autres éléments sont à vérifier sur la fiche technique des constructeurs : ses capacités, tolérances, limites, sa puissance nominale et maximale, son rendement... » Son rendement doit être supérieur à 90 % pour une charge égale à 10 % de sa charge nominale. Par exemple, si les modules PV produisent 100 W, un onduleur de 1 000 W chargé à 10 % doit avoir un rendement au moins égal à 90 %. Son rendement maximum (dans des conditions optimales) doit être proche de 95 %. Ses paramètres internes doivent être réglables pour s'adapter au réseau local. Il faut aussi qu'il dispose d'une protection contre les surtensions, sinon il faudra installer un parafoudre externe. « Si l'installateur est chevronné, il dimensionne lui-même l'onduleur, sinon il achète des kits qui garantissent que l'ajustement du champ PV est équilibré par rapport à l'onduleur, souligne Christian Méric. Tous les fabricants d'onduleurs ont en ligne un petit logiciel qui contient tous les modules PV existant sur la planète, à l'exception des derniers sortis qui peuvent être rajoutés manuellement. Cet outil permet de vérifier si l'onduleur peut s'adapter à la puissance générée par les modules choisis. »

Lire la suite de l'article à la page 38

Pour en savoir plus - Réglementation et normes (suite et fin)

- **Série NF EN 55014** Compatibilité électromagnétique – Exigences pour les appareils électrodomestiques, outillages électriques et appareils analogues.
- **Norme CEI 61000-3-2** Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-2: limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils inférieur ou égal 16 A par phase) (avril 2009).
- **Série NF EN 60950** Matériels de traitement de l'information – Sécurité.
- **Norme IEC 62109** Sécurité électrique des onduleurs statiques et chargeurs de batterie (2005).
- **Normes françaises et internationales**
- **Norme NF EN 50380** Spécifications particulières et informations sur les plaques de constructeur pour les modules photovoltaïques (juin 2003).
- **Norme NF EN 61727** Systèmes photovoltaïques (PV) – Caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau (septembre 1996).
- **Norme NF C15-100** Installations électriques à basse tension (mars 2009).
- **Normes NF EN 61643-11** Parafoudres basse tension – Partie 11: parafoudres connectés aux systèmes de distribution basse tension – Prescriptions et essais (septembre 2002) et **NF EN 61643-11/A11** (mai 2007).
- **Norme CEI 60364-7-712** Installations électriques dans le bâtiment – Partie 7-712: règles pour les installations et emplacements spéciaux – Alimentations photovoltaïques solaires (PV) (mai 2002).

La protection des personnes et des biens

Protections contre les chocs, les surintensités et surtensions dues à la foudre

Si le courant alternatif est dangereux, le courant continu l'est encore plus. Chez l'homme, les conséquences de chocs électriques sont l'électrisation ou, plus grave, l'électrocution. Concernant les biens, un court-circuit peut créer un arc électrique et déclencher un incendie.

Afin d'assurer la sécurité des personnes et de l'installation, la conception d'un système PV se fera conformément au guide UTE C15-712, seul texte réglementaire existant sur le sujet. Si les chocs électriques directs et indirects ont les mêmes effets, leurs modes de protection diffèrent.

I. Protection contre les chocs directs

Les chaînes de modules PV délivrent plusieurs centaines de volts, même lorsque la partie AC est déconnectée. Or la majorité des électriciens n'est pas habituée à travailler avec du courant continu et le couvreur encore moins. « Sur la partie DC, la tension est de l'ordre de 300 à 600 V, souligne Christian Méric. Sachant que la tension de sécurité s'arrête à 120 V en très basse tension (TBT), elle est ici largement suffisante pour provoquer une électrocution. » Pour éviter les chocs électriques, les modules sont livrés avec leurs câbles et leurs connecteurs, ce qui simplifie l'assemblage de la chaîne et sécurise le travail du couvreur. En revanche, il faut prévoir des connecteurs (spécifiés DC) pour relier le champ PV à l'onduleur.

II. Protection contre les chocs indirects

Aucun disjoncteur ne pouvant fonctionner sur la partie DC, il peut y avoir un contact dangereux en cas de fuite de courant entre une polarité et la masse métallique d'un module, par exemple. De ce fait, tout le matériel utilisé sur la partie DC (modules PV, câbles, interrupteurs sectionneurs,

onduleur...) doit être de classe II et spécifié courant continu. Une détection de défaut d'isolement côté DC est généralement intégrée à l'onduleur: en cas de problème, une alarme se déclenche.

Dès la sortie de l'onduleur, l'électricien se retrouve en terrain connu avec du 230 V alternatif habituel. Sur cette partie AC, les normes NF C15-100 et le guide UTE C15-712 font obligation d'installer, dans une habitation, un disjoncteur différentiel de 30 mA.

II. Protection contre les surintensités et surtensions dues à la foudre

Suivant la norme NF C15-100 (section 433), un disjoncteur sera prévu côté AC afin de se prémunir contre les courts-circuits. Installé en amont de la limite de concession (avant le compteur), il aura un pouvoir de coupure de 3 kA, ce qui est suffisant pour isoler l'onduleur du réseau. Pour protéger l'installation contre les conséquences de la foudre, toutes les masses métalliques (cadres et supports de modules, onduleur...) seront interconnectées et reliées à la prise de terre de la maison.

Des parafoudres (NF EN 61643-1) peuvent compléter ce dispositif, pour limiter les surtensions dues à la foudre. Ils seront mis en œuvre sur la partie AC suivant l'UTE C15-712. Côté DC, « tous les onduleurs sont dotés de para-surtenseurs (type varistance), explique Christian Méric. Le parafoudre DC est très peu utilisé chez le particulier et il vaut mieux ne pas en mettre plutôt que de poser des parafoudres qui ne sont pas spécifiés pour une application courant continu et PV. Personnellement je déconseille aux installateurs d'en poser, sauf cas très particulier (niveau céramique, paratonnerre...) » ■


SIGNALISATION DE SÉCURITÉ

Côté DC, tous les connecteurs posés sur les câbles des modules sont livrés avec l'étiquette « Do not disconnect under load » : ne pas ouvrir en charge. Ce marquage doit également figurer sur les rallonges et leurs connecteurs. Même inaccessible, un connecteur installé dans un plafond peut le devenir lors de travaux. Un menuisier, par exemple, peut l'ouvrir parce qu'il le gêne, avec le risque de provoquer un incendie ou de s'électrocuter. Pour éviter qu'ils ne soient ouverts par une personne non avertie, le mieux est de prévoir des connecteurs uniquement débouchables à l'aide d'un outil. Il faut également prévoir côté DC, à proximité de l'interrupteur sectionneur et de l'onduleur, et côté AC, près du disjoncteur et du compteur EDF, les étiquettes : « Attention, présence de deux sources de tension » et « Isoler les deux sources avant toute intervention : réseau de distribution et panneau photovoltaïque ». Ces étiquetages doivent être conformes à l'UTE C15-712 pour la partie DC et à l'UTE C15-712 ainsi qu'à la NF C15-100 pour la partie AC.

Illustration AQC


Étiquettes

sur les rallonges et les connecteurs




Ne pas ouvrir en charge

à proximité du disjoncteur et de l'onduleur



Isoler les deux sources avant toute intervention



Attention, présence de deux sources de tension :
- réseau de distribution
- panneau photovoltaïque



Photos Imerys Toiture:
La tuile photovoltaïque en silicium polycristallin fixé sur un châssis assure l'étanchéité de l'ensemble sans complément de zinguerie, sauf avec des tuiles canal. Les châssis favorisent la ventilation de la sous-face des cellules.

■ **l'implantation.** En tant qu'appareil électrique et électronique, l'onduleur doit être installé dans un endroit sec, ventilé et accessible. Une atmosphère chaude et humide est néfaste pour ses composants. Le manque de ventilation le fait chauffer, occasionnant des pertes d'énergie et son usure prématurée. L'implantation idéale est dans des combles aménagés car il se trouve alors près des champs PV. « *Il faut toujours favoriser la partie DC (entre les modules PV et l'onduleur) par rapport à la partie AC (de l'onduleur au réseau), car il y a plus de perte sur la partie DC* », souligne Christian Méric.

⚠ Attention néanmoins, des combles non isolés sont trop chauds l'été et peu ventilés. Sinon, un local technique tempéré, un garage, un débarras isolé et ventilé font l'affaire. Par mesure de sécurité, l'ouverture de l'onduleur se fera uniquement avec une clé ou un outil.

Produits : du module au matériel électrique

Le choix des différents composants doit être réalisé avec vigilance. Il est préférable d'utiliser des kits les plus complets possibles en respectant les prescriptions du fabricant. Il est aussi recommandé d'employer des produits bénéficiant d'une

évaluation technique par tierce partie (Avis Technique, par exemple). Pour autant, il reste une partie à adapter en fonction des distances, des systèmes d'attaches, de protection des câbles, etc.

1. Les modules photovoltaïques.

Le silicium extrait du sable ou du quartz est la principale matière première utilisée pour fabriquer des cellules PV. Trois types de produits existent : les cellules en silicium monocristallin, en silicium polycristallin et en silicium amorphe. Ils sont vendus sous forme de panneaux rigides (avec ou sans cadre aluminium) et, parfois, en surface souple pour le silicium amorphe.

« *Entre le mono et le polycristallin, les rendements sont pratiquement similaires, de 13 à 17 % pour le premier et de 11 à 15 %, pour le second, expose Christian Méric. Cependant, il faut distinguer le rendement d'un module de celui d'une cellule. La juxtaposition des cellules polycristallines génère moins de perte sur le module que pour les cellules monocristallines. De ce fait, le module polycristallin peut avoir un rendement égal ou légèrement supérieur à celui du module monocristallin, bien que sa cellule ait un rendement légèrement inférieur à celui de la cellule monocristalline. Il faut donc vérifier dans la documentation des fabricants si le rendement est donné pour la cellule, le module ou les deux. La couche mince (surface souple) a un petit rendement (5 à 9 %). Plus sensible à la luminosité, elle produit un peu de courant*

UNE CERTIFICATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES MODULES PV

Faute de reconnaissance des performances des capteurs photovoltaïques, le CSTB met en place en fin d'année, en partenariat avec le LNE (1) et le CEA (2), une filière de certification dédiée. « *Située en amont de l'Avis Technique, la certification visera la qualité intrinsèque des modules, explique Jérôme Beccavin, chef de projet du*

montage du laboratoire de certification pour le CSTB. *Elle aura pour base le respect des deux normes (IEC 61215 et IEC 61646) de performances électriques et de résistance mécanique et thermique des modules PV cristallin et couche mince, qui servent aussi de pré-requis à l'Avis Technique. Ce dernier garantit ensuite l'aptitude des modules*

à être intégrés au bâti, en toiture, par exemple en assurant le clos et le couvert. » Les premières certifications seront délivrées au deuxième trimestre 2010.

(1) Laboratoire national de métrologie et d'essais.


(2) Le Commissariat à l'énergie atomique.



même par temps couvert alors que dans les mêmes conditions la production des mono et polycristallins décroît. En revanche, comme son rendement est faible en plein soleil, elle produit, à surface égale, la moitié du cristallin, il faut donc doubler sa surface.» Aujourd'hui, c'est le polycristallin qui représente le meilleur compromis rendement, coût, efficacité.

2. Les câbles et connecteurs côté DC.

Le câblage pouvant être posé à l'extérieur ou derrière les modules, il doit respecter certaines spécifications. Les câbles unipolaires double isolation (classe II) seront non propagateurs de flamme, résistants aux intempéries, aux UV et aux fortes températures (90 °C dehors, 70 °C sous les modules). Ils doivent être dimensionnés pour des courants maximaux susceptibles de les traverser (soleil au zénith en été), y compris en cas de court-circuit. « Le problème se pose lors de la mise en parallèle de chaînes de modules, souligne Paul Grizel. Le courant d'une chaîne reste modeste puisqu'il équivaut au courant d'un module. En revanche, sur un générateur, il est le multiple du nombre de chaînes. » Les connecteurs spécifiés courant continu doivent être dimensionnés à l'identique des câbles.

 Attention : il est préférable de choisir des modules PV dotés de connecteurs débrochables à l'aide d'un outil. « La connexion, même manuelle, doit être audible, comme le "clic" de la ceinture de sécurité, insiste Paul Grizel. Elle garantit au couvreur, qui n'a pas de compétence en électricité, que les deux panneaux sont bien raccordés. »

3. Les dispositifs de sectionnement DC.

L'UTE C 15-712 fait obligation d'installer en entrée d'onduleur (ou intégré à celui-ci) un interrupteur sectionneur bipolaire général. « En cas d'intervention, il faut d'abord couper la partie AC, explique Christian Méric. Cela évite la création d'arc électrique à l'ouverture de l'interrupteur sectionneur. » Par ailleurs, chaque polarité doit pouvoir être sectionnée hors charge, c'est-à-dire sans que rien ne soit branché en aval. « Une fois que la partie AC est coupée et que l'interrupteur sectionneur a été ouvert, il faut pouvoir déconnecter séparément chaque polarité (+, -) qui arrive à l'onduleur, reprend Christian Méric. Tout le matériel (interrupteur, disjoncteur...) doit être adapté au courant continu. Les caractéristiques ne sont pas les mêmes que pour le courant alternatif. Il est important de choisir des fabricants qui proposent du matériel spécifique DC et qui plus est, pour les parafoudres, DC spécifique PV. »

4. Contrôle de la production.

« L'installation PV est un produit financier dont le coût doit être amorti en 10-12 ans par la vente de l'électricité produite, commente Paul Grizel. Ce schéma impose de vendre du courant à chaque heure du jour ensoleillé. Mais comme l'électricité est facturée par le particulier une seule fois par an, si son installation



ne fonctionne pas pendant six mois, il n'a aucun moyen de s'en apercevoir, sauf par une vérification quotidienne de son compteur. La surveillance à distance est donc souhaitable pour contrôler les performances et signaler tous défauts de fonctionnement. » De son côté, Christian Méric estime « qu'il est rare d'installer un monitoring chez le particulier. La plupart des onduleurs intègrent une interface de communication évoluée avec : affichage instantané de la puissance injectée, total des kWh, tension du champ solaire, du réseau, etc. Outre la lecture directe sur l'onduleur, il existe des options de display déporté ou fonctionnant par radio. »

Photo Koramic :

Les cellules en silicium polycristallin sont encapsulées dans un cadre en polyuréthane (pas besoin de liaison à la prise de terre) résistant aux intempéries. Puissance : 115 W/m².

Qualifications et assurance

L'installation du photovoltaïque requiert une double compétence : celle d'un couvreur pour le travail en hauteur et en couverture, et celle d'un électricien pour la partie électrique et le raccordement au réseau. « L'idéal pour une entreprise est d'avoir un couvreur professionnel QualiPV Bat et un électricien professionnel QualiPV Elec, remarque Christian Méric. Elle bénéficie alors vraiment de l'appellation QualiPV. Sinon, un électricien QualiPV Elec peut travailler avec un couvreur ayant les compétences et les assurances nécessaires (décennale, travail en hauteur), de préférence QualiPV Bat, mais pas obligatoirement. QualiPV Elec apporte à un électricien professionnel disposant d'une

Attention !

Attention aux garanties !

- **Modules** : le produit est garanti de 2 à 5 ans, leur rendement est garanti à 90 % pendant 10 ou 12 ans et à 80 % jusqu'à 20 à 25 ans.
- **Onduleurs** : 2 à 5 ans avec des extensions possibles à 10 et 20 ans.
- **L'ancienneté du fabricant** : « Certains fabricants garantissent leurs modules pour 10, 20 voire 25 ans alors qu'ils n'existent que depuis 6 mois, 1 an, souligne Christian Méric, ingénieur-conseil photovoltaïque

de Sunwise. Seront-ils encore là dans 5 ans ? L'engouement pour le solaire favorise l'apparition de produits d'importations de mauvaise qualité et d'opportunistes pour les vendre. Leurs clients en paieront malheureusement les conséquences. Pour moi, les signes de la qualité sont : les références du fabricant, son ancienneté et les certifications qu'il peut produire. »



Photos Eternit

Photo de gauche:

Totalement intégrée, l'ardoise Solesia en silicium polycristallin se pose à recouvrement sans accessoire d'étanchéité. Insérés entre les liteaux, les connexions et boîtier de jonction sont invisibles. De classe II et sans cadre métallique, les ardoises n'ont pas besoin d'être reliées à une prise de terre.

Photo de droite:

Ce système est vendu en kit, de l'ardoise PV à l'onduleur. Il se pose sur un écran de sous-toiture. La ventilation en sous-face est obtenue en ménageant des orifices linéaires à l'égoût et au faîtage.

habilitation électrique au minimum BR (selon UTE C 18-150), les compétences pour installer du photovoltaïque dans de bonnes conditions et en toute sécurité, notamment vis-à-vis du courant continu. QualiPV Bat forme le couvreur professionnel aux particularités d'intégration de modules PV dans une couverture, et aux précautions sécuritaires à prendre. Elle ne forme pas le couvreur au métier d'électricien, ni l'électricien au métier de couvreur, ni même à leur propre métier. »



À noter: Qualifelec a créé une nouvelle mention SPV «Solaire photovoltaïque» pour les électriciens déjà qualifiés électrotechnique.

Enfin, l'entreprise doit être spécifiquement assurée pour ces travaux en garantie décennale et en responsabilité civile. Celles qui sont agréées QualiPV les possèdent d'office puisqu'elles ont dû en justifier auprès des instances d'habilitation.

Les possibilités d'installation

Le tarif d'achat de l'électricité favorise le développement de systèmes PV intégrés au bâti. « Chez le particulier, la pose en surimposition de toiture en France métropolitaine ne se fait plus », confirme Christian Méric. Pour bénéficier de la prime d'intégration, les modules doivent assurer une fonction technique ou architecturale essentielle dans l'acte de construire. Ils peuvent être intégrés dans la toiture ou la façade, ou être installés en brise-soleil, en allège, verrière, garde-corps de fenêtre,

de balcon ou de terrasse. Si le toit est inutilisable, on peut concevoir une installation en toiture-terrasse ou au sol, mais elle ne bénéficiera pas de la prime d'intégration. La toiture offre généralement les surfaces (10 à 30 m²) et inclinaisons nécessaires. Les modules PV deviennent couverture, soit seuls, soit combinés avec un produit d'étanchéité.

Des systèmes de plus en plus intégrables se développent (tuile PV d'Imerys Toiture, tuile Korasun de Koramic, ardoise Solesia d'Eternit...), assurant seul le clos et le couvert et facilitant la mise en œuvre. Posés en verrière ou en couvertures de véranda, les modules PV offrent les mêmes propriétés thermiques, mécaniques et phoniques que les vitrages standard. « L'installateur doit connaître un maximum de produits de différents fabricants, remarque Pierre Mas. Il peut choisir et proposer à son client le module le plus avantageux en fonction des formes du toit, du matériau de couverture existant et des possibilités techniques. »

Pose: attention aux points sensibles

1. La durabilité des composants du système.

Tous les matériaux (modules, câbles, boîtier de connexion...) mis en œuvre sur le toit ou sous les modules doivent résister aux intempéries (UV, gel, pluie, grêle, forte température, chocs thermiques...), et doivent bénéficier d'un traitement anticorrosion si nécessaire.

2. L'étanchéité.

Première règle, les pentes minimales du support données pour chaque produit doivent être respectées. Les accessoires d'étanchéité traditionnels (bavettes, bandes latérales supérieures et de jonction...) assureront la jonction des modules rectangulaires avec les éléments de couverture. Ils recouvriront aussi les fixations et passages de câbles. Les solutions intégrées (tuiles, ardoises solaires) assurent l'étanchéité d'office

À noter

Le conseil au client

Le particulier doit fournir un justificatif d'assurance lors du dépôt du dossier de raccordement auprès d'ERDF. Il doit aussi vérifier que les clauses de son contrat multirisque habitation couvrent bien le risque photovoltaïque.



puisqu'elles se posent comme les éléments traditionnels. Les qualités techniques d'étanchéité de ces produits sont testées en soufflerie concomitance vent/pluie au CTMNC (8).

3. La résistance au vent des modules.

Spécifiée dans les fiches techniques du fabricant, elle est de l'ordre de 200, 210 km/h.

4. Une ventilation insuffisante en sous-face de modules posés sur un toit isolé.

En faisant monter la température des cellules, cela provoque une baisse de rendement. « La perte est d'environ 5% par degré d'élévation au-dessus de 25°C, précise Christian Méric. L'Ademe recommande un espace de 11 cm en surimposition de toiture. Avec un système intégré, il faut un minimum de ventilation pour assurer le moins de perte possible, mais il y en aura toujours plus qu'en surimposition. L'idéal c'est une pose sur combles non isolés, en verrière ou en toiture de véranda où rien ne vient gêner la circulation d'air sous les modules. » En intégration, il faut donc suivre les préconisations du fabricant. Sous un toit isolé, l'air circule de l'égout au faîtage où doivent être prévus des orifices linéaires de ventilation de section adaptée ou des châtiers disposés sur le rampant. La lame d'air entre l'isolant et la sous-face des éléments de couvertures est d'épaisseur variable (2 cm minimum).



À noter : la pose d'un écran de sous-toiture participe à l'étanchéité et à la résistance au vent des éléments de couverture, et évacue la condensation pouvant se créer sous les éléments PV.

5. Le circuit électrique.

Les circuits DC et AC doivent emprunter des gaines différentes.

6. Le montage des connecteurs.

Il ne faut pas modifier les connecteurs mâles/femelles pré-montés entre les modules PV. Ils sont conçus pour garantir une bonne connexion et la sécurité du couvreur. Il ne faut pas couper les câbles des modules. « Au fur et à mesure que les modules sont raccordés entre eux, la tension croît aux bornes de la chaîne, insiste Paul Grizel. L'installateur peut se retrouver sous tension à tout moment et, dès lors, devenir lui-même la "charge" du système. » Mais « le danger se situe surtout au niveau de la rallonge entre le champ PV et l'onduleur puisque c'est l'électricien qui doit la fabriquer », constate Christian Méric. Il faut s'assurer que les connecteurs des modules PV et des câbles sont du même fabricant. Certains connecteurs se ressemblent et s'emboîtent sans être du même fabricant. Ils peuvent provoquer un mauvais contact et déclencher un incendie. Enfin, il existe des pinces spéciales à sertir et il en existe autant qu'il y a de marque de connecteurs. À ce propos, Pierre Mas estime « qu'il faudrait que les fabricants s'entendent pour harmoniser leurs connecteurs ».

La protection contre le champ magnétique dû à la foudre

Ce champ magnétique génère dans les boucles des installations PV des surtensions proportionnelles à la surface (délimitée par le câble extérieur). Pour limiter ces effets, celle-ci doit être réduite au maximum. Deux types de boucle sont à éviter :

■ **la boucle induite entre polarités.** La foudre crée une tension entre les lignes positive et négative des modules



Photo Koramic : La connectique et les fixations intégrées dans le cadre du module *KoraSun* facilitent la mise en œuvre et augmentent la longévité du système.

(généralement montées en série). Si elle s'ajoute à la tension induite créée sur chaque module, cela peut occasionner la destruction des équipements électriques de la partie courant continu. Les conducteurs de polarité doivent donc être placés ensemble et parallèles pour obtenir une petite boucle ;

■ **la boucle entre polarités et le conducteur de masse.** Si le conducteur d'interconnexion des masses n'est pas joint aux polarités du circuit continu lors du cheminement des câbles vers les équipements électriques, la surtension peut provoquer la destruction de ces derniers ou celle des modules PV. Le câblage des polarités et les câbles de liaison

(8) Centre technique de matériaux naturels de construction.

⚠ Attention !

Attention aux couples électrolytiques !

Pour éviter la formation de couples électrolytiques au niveau du raccord des cadres aluminium des modules PV avec le fil de terre en cuivre, il faut utiliser des connexions adaptées cuivre/aluminium.

À noter

L'avis du Consuel

Il est recommandé dans la procédure de demande de raccordement à ERDF. Cet avis apporte sécurité à l'usager et facilite l'exécution de la procédure.

Protections contre les interférences électromagnétiques

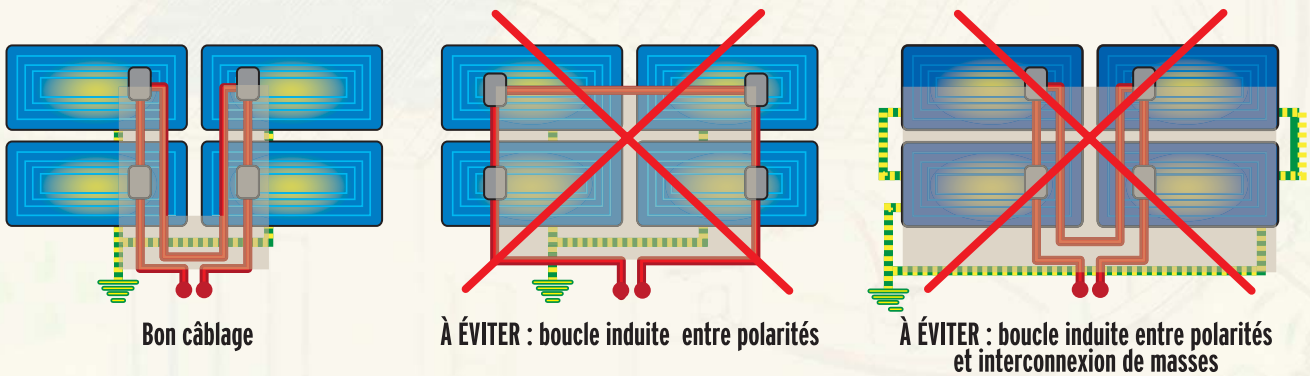


Illustration AQC

entre le champ PV et les équipements électriques seront donc plaqués sur toute leur longueur contre le câble de masse.

■ un numéro de hot-line ou celui de l'entreprise à appeler en cas de panne.

Le client doit s'approprier son installation et contrôler régulièrement sa production d'électricité sur l'onduleur ou le monitoring. L'installateur doit lui expliquer quoi faire, et ne pas faire, en cas d'affichage de message de défaut. Une fois par mois, il doit vérifier le bon fonctionnement de l'interrupteur différentiel 30 mA en appuyant sur le bouton test: la protection doit se déclencher immédiatement. Si ce n'est pas le cas, il doit prévenir l'électricien. Il peut également vérifier visuellement la propreté des modules. S'il est en pavillon, un coup de jet d'eau suffit pour enlever les feuilles mortes, par exemple. Pour le reste, la vérification et l'entretien doivent être réalisés par une entreprise QualiPV qui doit proposer un contrat de maintenance. ■

Marie-Pierre Jouan

Réception des travaux et maintenance

L'installateur doit remettre à son client l'historique de son installation. Ce dossier technique comprendra au moins :

- un schéma électrique du système PV et un plan d'implantation des différents composants et des liaisons correspondantes;
- une description de la procédure d'intervention sur le système PV et les consignes de sécurité;
- les notices des matériels;

Pour en savoir plus - Documents et liens utiles

Documents

- **Guides de l'UTE**, à commander sur le site www.ute-fr.com, rubrique « Le catalogue » :
 - **UTE C18-510** *Recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique* (1^{er} novembre 1988 + mise à jour en 2004) ;
 - **UTE C32-502** *Guide pour les câbles utilisés dans les systèmes photovoltaïques* (2^e tirage avril 2009) ;
 - **UTE C15-712** *Guide Pratique: installations photovoltaïques. Installations électriques à basse tension* (février 2008).
- **Guide de la FFIE** *Installations solaires photovoltaïques raccordées au réseau de distribution inférieures ou égales à 36 kVA* (octobre 2007), à commander sur le site www.presselec.fr.
- **Guide de l'Ademe** *Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau – Guide de rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage* (octobre 2007 – réf.: 6257), à commander sur le site www.catalogue-ademe-editions.com.
- **Guides de l'Ademe et du SER** :
 - *Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations PV raccordées au réseau* (2008) ;
 - *Protection contre les effets de la foudre dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau* (2009) ;

– *Guide de spécifications techniques pour les installations photovoltaïques* (2009).

- **Plaquette de l'AQC** *Le photovoltaïque raccordé au réseau dans le bâtiment*, disponible sur www.qualiteconstruction.com, à la rubrique « Nos publications ».

Liens utiles

- **Base de données météo** : www.software.cstb.fr.
- **Les installateurs QualiPV** (Appellation qualité pour les installateurs de systèmes solaires photovoltaïques) : www.qualipv.org.
- **Les installateurs QualiEnR** (Appellation pour la qualité d'installation des systèmes à énergies renouvelables) : www.qualit-enr.org.
- **Les installateurs QualifElec** (Association technique et professionnelle de qualification des entreprises d'équipement électrique) : www.qualifelec.fr.
- **Site Internet de la FFIE** (Fédération française des entreprises de génie électrique et énergétique) : www.ffie.fr.
- **Site Internet du Consuel** (Comité national pour la sécurité des usagers de l'électricité) : www.consuel.com.