

Photo Hespul

PHOTOVOLTAÏQUE

LES ENSEIGNEMENTS D'UNE ÉTUDE SUR LES DYSFONCTIONNEMENTS ÉLECTRIQUES

TEXTE : AQC PHOTOS : ANTOINE FARCOT/
AUTAN SOLAIRE, EDISUN POWER,
HESPUL, SIPPAREC, SOS SOLAIRE

Sur une installation photovoltaïque, les dysfonctionnements électriques peuvent affecter de manière durable le niveau de production ou porter atteinte à la sécurité des biens et des personnes. Une étude terrain initiée par l'AQC développe, pour chaque composant concerné (module, onduleur, câbles...), les causes et les conséquences possibles relatives aux défauts, les solutions de réparation et les mesures préventives.

Depuis 2012, le Dispositif Alerte de l'AQC (1) a remonté, via des rapports d'expertise construction du terrain, un nombre important de sinistres concernant des systèmes photovoltaïques intégrés en toiture, liés aux procédés ou à leur mise en œuvre, concernant dans 30 % des cas des dysfonctionnements électriques (part établie sur plus de 600 rapports reçus).

Sur la base de ce constat, l'AQC a diligenté une étude ayant pour objectif d'appréhender les dysfonctionnements électriques pouvant survenir sur une installation photovoltaïque (PV) installée sur bâtiment, et pouvant mener à des pertes d'exploitation, présenter un risque électrique voire mener à un sinistre d'origine électrique. Cette étude a été confiée à l'association Hespul, spécialisée dans le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, et forte de vingt ans d'expérience dans le solaire photovoltaïque.

Un échantillon des rapports d'expertise a été analysé. Ces résultats restent bien sûr qualitatifs, car l'obtention de données statistiques nécessiterait un échantillonnage à plus grande échelle. L'analyse des 32 rapports faisant suite à des sinistres survenus dans les cinq premières années de fonctionnement a mis en évidence que les 3/4 des sinistres ont eu lieu dans le marché résidentiel et sur de faibles puissances (moins de 3 kWc dans 70 % des cas). L'origine de ces sinistres se situe majoritairement au niveau des connexions en courant continu – boîtes de jonction de modules, connecteurs de câbles, coffrets de dérivation – et des onduleurs. Plusieurs types de dysfonctionnements se distinguent : la perte de production, le risque de choc électrique, l'échauffement et l'incendie. Il ressort de ces cas concrets :

- d'une part, que la perte de production peut être associée soit à des erreurs de dimensionnement du système (champ PV, compatibilité électrique modules-onduleurs...), soit à des pannes onduleurs ;
- et d'autre part que le risque incendie est fortement lié à des défauts de connectique en courant continu, que ce soit au niveau des modules (boîtes de jonction défectueuses), du choix des matériels pour les connexions ou de leur mise en œuvre (coffrets courant continu [CC]).

Les défaillances affectant le matériel, c'est-à-dire liées à la qualité intrinsèque du matériel, touchent principalement les modules et les onduleurs.

Un catalogue de fiches « défaut »

En parallèle, une collecte de données terrain a été réalisée auprès de professionnels de la filière aux profils variés (bureaux d'études, distributeurs, installateurs, experts divers, organismes de contrôle, exploitants, mainteneurs), afin d'identifier les défauts

“L'origine des sinistres analysés se situe majoritairement au niveau des connexions en courant continu – boîtes de jonction de modules, connecteurs de câbles, coffrets de dérivation – et des onduleurs”

électriques récurrents, leurs origines et de comprendre comment les éviter. L'exploitation et le croisement des données bibliographiques et des données collectées lors des entretiens ont permis de dresser une liste de défauts électriques affectant les installations photovoltaïques. L'étude développe l'ensemble de ces défaillances, puis chacune fait l'objet d'une fiche détaillée (37 au total) qui rassemble une description du composant en cause, les causes possibles (matériel, mise en œuvre, défaut survenant lors de l'exploitation), les conséquences prévisibles sur la performance du système et le niveau de risque induit, les solutions de réparation et les mesures de prévention à mettre en place.

Par ailleurs, chaque défaut fait l'objet d'un classement qualitatif pour qualifier sa gravité, selon trois critères : niveau de risque pour la sécurité des biens ou des personnes (risque de choc électrique ou d'incendie), impact sur la performance, fréquence du défaut. Le classement des défauts répertoriés en suivant cette échelle permet de constater que la cause principale de pertes de production est liée au fonctionnement de l'onduleur, qui se met en sécurité dès qu'un défaut survient (surchauffe, défaut d'isolement...). Viennent ensuite la conception du champ PV (gestion des ombrages et de la ventilation, appairage des modules par puissance) et l'encrassement des modules, suivis par les connexions courant continu (CC) défectueuses qui entraînent des pertes par effet joule. Le problème le plus grave que posent des connexions CC défectueuses est le risque de départ de feu, que les connexions se situent au niveau des boîtes de jonction des modules PV, des connecteurs, ou des borniers de raccordement. Le fait d'intégrer les modules PV en couverture est un facteur aggravant vis-à-vis de l'élévation de température qui va accélérer le vieillissement des matériels mais surtout par rapport aux conséquences d'un départ de feu, qui sont moindres en surimposé. Dans tous les cas, une installation PV en toiture pose des difficultés d'accès au câblage des modules à la réception et lors des visites d'entretien.

Cette étude *Dysfonctionnements électriques des installations photovoltaïques – Points de vigilance* sera en ligne prochainement sur le site de l'AQC (2), cet article vous propose quelques points de synthèse.

Les défauts des modules

Les défauts modules peuvent se classer en trois catégories : le vieillissement prématuré, les dégradations dues à des chocs ou des contraintes mécaniques, les défauts de fabrication ponctuels ou sériels et les défauts dans la conception du système.

1. Vieillissement des modules

Les modules PV connaissent une dégradation lente de leur rendement en raison du vieillissement des matériaux qui les composent. Celle-ci est prévisible et prise en compte par les fabricants dans la garantie de performance affichant une baisse moyenne de 1 % par an. Bien que les facteurs de vieillissement des modules soient nombreux, ces défauts contribuent moins à la perte de production que les pannes onduleurs et très peu aux risques relevant de la sécurité des personnes. >>>

(1) Dispositif d'observation dont l'objectif est de prévenir les désordres sériels causés par la mise en œuvre de produits industriels, mais également de traiter globalement les remontées d'informations pathologiques relatives aux produits et procédés incorporés dans un ouvrage.

(2) Cette étude sera bientôt téléchargeable sur www.qualiteconstruction.com, à la rubrique « Nos ressources ».

DES BONNES PRATIQUES ET DES RECOMMANDATIONS DÉTAILLÉES

En parallèle de l'analyse des dysfonctionnements et pour éviter l'apparition de désordres, l'étude dresse une liste de recommandations et bonnes pratiques par famille d'équipements.

► Défauts modules

Pour prévenir l'apparition de ces défauts, il est recommandé de :

- soigner l'emballage des modules pour le transport ;
- éviter les zones ombragées ;
- prévoir une lame d'air à l'arrière des modules ;
- prévoir des zones de circulation autour du champ PV pour éviter de marcher dessus ;
- serrer les fixations des modules avec une clé dynamométrique réglée au couple adéquat ;
- mesurer les tensions des chaînes en circuit ouvert V_{oc} en réception et lors des maintenances préventives ;
- inspecter visuellement les modules en maintenance préventive pour détecter les défauts et les corrélés avec le niveau de production annuel, et remplacer les modules défectueux si nécessaire.

► Défauts de connectique et de câblage

Les bonnes pratiques pour éviter ce type de défauts sont les suivantes :

- élaborer un plan de câblage pour déterminer le nombre de connecteurs et les longueurs de câbles, et s'assurer que la détermination de leurs sections tient compte de leur température d'utilisation ;
- choisir impérativement des connecteurs de même marque et de même type que

ceux des modules PV ; proscrire les compatibilités entre marques annoncées par les fabricants ;

- éviter les câbles en tension pouvant forcer sur les connecteurs et fixer les câbles sous les modules pour éviter tout pincement ;
- limiter le nombre de rangées de modules pour faciliter l'accès aux connecteurs ;
- protéger et ventiler les chemins de câbles ;
- choisir pour les coffrets un emplacement protégé des intempéries et correctement ventilé et espacer suffisamment les coffrets ;
- prévoir des embouts pour les câbles souples au niveau du raccordement sur les borniers ;
- mesurer les résistances d'isolement Riso +/- terre et -/terre à la réception et en maintenance préventive ;
- inspecter visuellement les chemins de câbles et les gaines de façon régulière ;
- resserrer les borniers de raccordement régulièrement ;
- détecter les points chauds avec une caméra thermique et remplacer le matériel endommagé le cas échéant.

► Défauts du système de protection

Les recommandations de l'étude pour empêcher ce type de défauts sont :

- prévoir un raccordement en peigne de tous les éléments conducteurs du circuit courant continu vers un unique conducteur d'équipotentialité ;
- s'assurer de la présence d'une prise de terre unique pour le bâtiment ;
- s'assurer que la valeur de courant du

fusible est proportionnelle au courant de court-circuit des modules ;

- placer les coffrets à hauteur d'homme pour faciliter la maintenance ;
- procéder à une inspection visuelle de la liaison équipotentielle et mesurer sa continuité à la réception puis régulièrement ;
- vérifier l'état des parafoudres et les remplacer si nécessaire, notamment après un épisode orageux ;
- vérifier le bon état des fusibles par mesure de continuité ou par lecture du témoin.

► Défauts onduleurs

Pour éviter ce type de défaut, il convient de :

- s'assurer de l'adéquation des caractéristiques de l'onduleur et du champ PV aux valeurs limites de température ;
- choisir obligatoirement un onduleur avec transformateur si la mise à la terre fonctionnelle est requise côté CC ;
- préférer un contrôleur d'isolement par chaîne pour éviter de répercuter les défauts d'une chaîne sur tout le champ PV ;
- installer les onduleurs dans un local ventilé, accessible et hors poussière avec un espacement suffisant entre onduleurs ;
- dépoussiérer régulièrement l'onduleur et les filtres de ventilation du local technique ;
- pour la recherche de défaut d'isolement, mesurer les résistances d'isolement Riso +/- terre et -/terre au mégohmmètre une zone après l'autre (nécessité d'avoir un plan de câblage des modules). ■

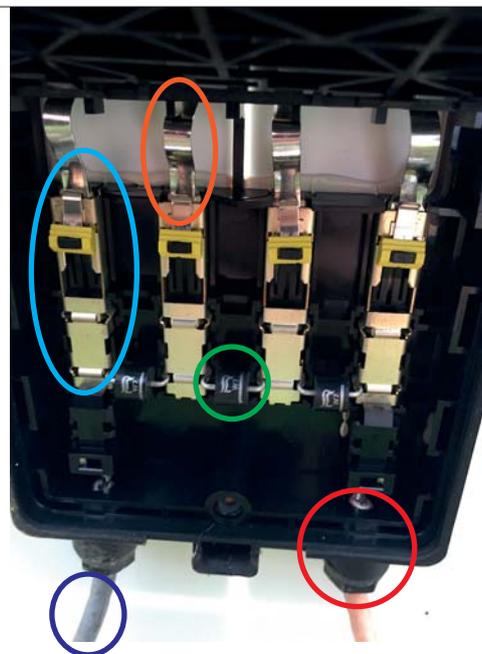


Photo SOS Solaire

Encrassement des modules photovoltaïques (particules de fumées liées à la pollution atmosphérique, déjections animales, débris végétaux, sable...). L'encrassement entraîne directement une baisse de la performance de l'installation, mais peut également engendrer des points chauds, sources de pertes de production, si elle n'est présente que sur une partie du module.



1 Photo Hespul



Composants internes d'une boîte de jonction

Connexions avec les pistes des cellules PV (lamelles)
Câbles

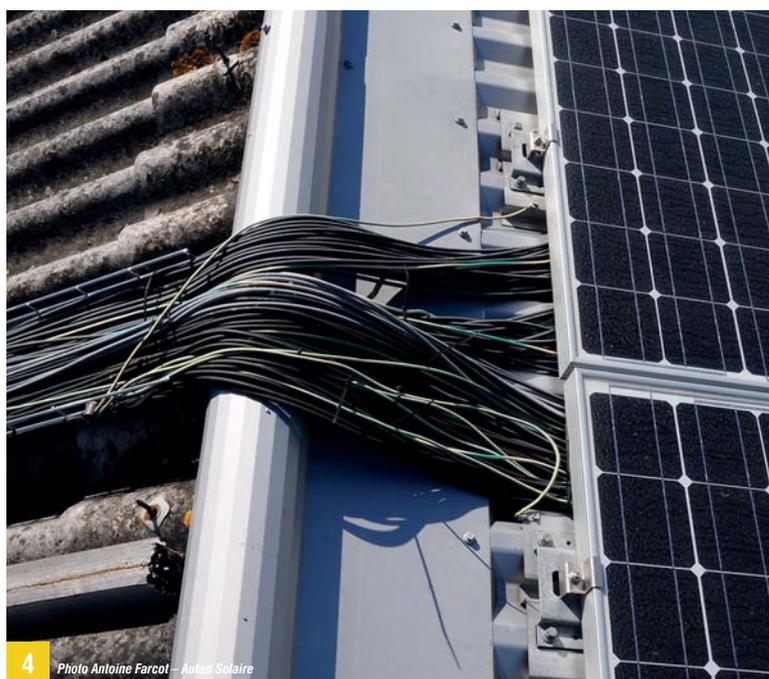
Bornes
Diodes de by-pass
Presse-étoupes

2 Photo Edisun Power

- 1 Bris de verre en face avant d'un module entraînant le passage du courant dans la diode by-pass.
- 2 Boîte de jonction avec connexions à lamelles.
- 3 Boîte de jonction défectueuse. Risque d'échauffement pouvant provoquer un incendie.
- 4 Absence de chemin de câbles.



3 Photo Antoine Farcot - Autan Solaire



4 Photo Antoine Farcot - Autan Solaire

Le vieillissement d'un module PV est principalement lié à la dégradation de l'encapsulant, matériau basé sur un copolymère de type EVA (Éthylène vinyle acétate). Ce polymère subit une auto-oxydation lente sous l'action des UV et de la chaleur, menant à une décoloration allant du jaune au brun. Cette décoloration engendre des pertes optiques induisant une baisse du courant de court-circuit et donc de la puissance du module.

Par ailleurs, la décomposition de l'EVA produit de l'acide acétique. Celui-ci se concentre en face avant des cellules, plus exposées aux UV, et se révèle corrosif pour les électrodes en argent et pour les rubans d'interconnexion en cuivre étamé qui relient la face avant d'une cellule à la face arrière de la cellule suivante. La corrosion des interconnexions mène à une augmentation de la résistance des contacts qui se traduit d'abord par une perte de performance et ensuite par un échauffement localisé. Celui-ci entraîne des marques brunes par dégradation thermique des matériaux polymères sous l'effet de la perte Joule voire de l'arc électrique entre cellules si l'interconnexion est sectionnée.

La corrosion peut également être provoquée ou aggravée par la délamination des différentes couches (verre, encapsulant, cellules PV, encapsulant, face arrière). La délamination résulte d'une adhésion limitée entre l'encapsulant et les cellules PV, mise à mal par l'exposition aux UV et pouvant trouver ses causes dans un procédé de laminage imparfait, une mauvaise gestion de la dilatation des couches du module lors des cycles thermiques climatiques ou lors d'un effort mécanique. Ces contraintes mécaniques sont soit induites par le procédé de fabrication (laminage, cadrage) soit dues à des facteurs extérieurs (couple de serrage des cadres sur le système de montage trop important, efforts sur la charpente, champ PV désaligné, cycles thermiques...).

2. Dégradations d'origine mécanique

Outre la corrosion, des contraintes ou chocs mécaniques peuvent sectionner les interconnexions entre cellules et mener à des échauffements localisés. L'origine de ces chocs peut se trouver dans la manutention et le transport avec un emballage insuffisamment protecteur, un évènement de grêle exceptionnelle, une élasticité de l'EVA insuffisante. Les chocs favorisent également la casse des cellules en créant des microfissures dans le silicium. La cause la plus fréquente est le fait de marcher sur les modules. Une fissure isole électriquement deux parties d'une même cellule, ce qui mène à des pertes de performance.

3. Défauts de fabrication

Dans cette catégorie, on peut citer une soudure défectueuse au niveau des interconnexions, un contact imparfait à l'intérieur de la boîte de jonction, des diodes by-pass non fonctionnelles par suite d'un choc mécanique ou d'une décharge électrostatique au moment de l'assemblage du module ou un module présentant un phénomène de dégradation induite par le potentiel.

Certaines séries de modules PV ont fait l'objet d'une alerte fabricant (Scheuten en juillet 2012, Solar Fabrik en avril 2015, Auversun, Heckert Solar...) préconisant

“Certaines séries de modules PV ont fait l'objet d'une alerte fabricant [...] préconisant une déconnexion préventive des systèmes en raison d'un échauffement observé au niveau de la boîte de jonction située à l'arrière des modules”

une déconnexion préventive des systèmes en raison d'un échauffement observé au niveau de la boîte de jonction située à l'arrière des modules. D'après les informations collectées sur les sinistres passés, les départs de feu sont généralement créés au niveau de connexions mal réalisées et fragilisées par des mouvements dus à des contraintes thermiques (exemple : dilatation) ; un matériau inflammable situé à proximité (polymère quelconque) peut alors s'embraser sous l'effet de la chaleur générée par un contact défectueux.

4. Défauts de conception du champ PV

Les modules PV peuvent présenter des caractéristiques électriques différentes en raison de la tolérance acceptée sur leur puissance nominale. S'ils sont câblés en série, cet effet de mismatch (3) aura un impact sur le fonctionnement de groupes de panneaux (baisse de l'énergie produite par dégradation du point de fonctionnement optimal), ce qui pourra engendrer des anomalies de certains des modules.

Une baisse de production peut aussi être générée par un ombrage sur le champ PV, en particulier s'il est mal géré, c'est-à-dire que certains modules seulement d'une chaîne sont partiellement ombragés. Dans ce cas, les diodes by-pass des modules sont plus fortement sollicitées et peuvent vieillir prématurément. Une fois dégradées, elles ne protègent plus les modules ou les parties de modules ombragés qui finissent par s'échauffer localement. Un autre facteur de pertes quasi systématique pour les installations sur bâtiment est la sous-ventilation des modules intégrés en toiture. Il a été démontré que la perte sur la production annuelle était comprise entre 5 et 10 %, d'où l'importance de ménager une lame d'air suffisante en sous-face des modules, ainsi qu'une entrée d'air en bas de toiture et une sortie au niveau du faîtage.

Les défauts de connectique et de câblage

La connectique électrique peut être à l'origine de pertes de production, mais également de départs de feu dans les cas les plus sévères. Les principales anomalies liées au câblage peuvent être générées par des problèmes de conception – câble manquant, sous-dimensionnement, mauvais câblage des strings, connectique entre les câbles défectueuse... – ou apparaissent lors du fonctionnement de l'installation : dégradation, défaut d'isolation, vieillissement UV, déconnexion...

1. Câbles CC

Les câbles conduisent le courant continu depuis les modules jusqu'à l'onduleur. Selon la puissance de l'installation (c'est-à-dire le nombre de modules PV) et la complexité de l'architecture électrique (nombre de chaînes et d'onduleurs ou d'entrées onduleurs), ils seront mis en parallèle dans des boîtes de jonction de chaînes intermédiaires. >>>

[3] Mismatch : décalage en puissance de modules raccordés en série dans une même chaîne (les modules PV sont vendus pour une puissance nominale avec une tolérance sur la puissance de \pm quelques %).

“Il a été démontré que la connexion croisée (l'utilisation de deux connecteurs de marques différentes) présente un risque d'échauffement élevé, aussi le respect du guide UTE C15-712-1 doit être formel”

Les défauts pouvant survenir au niveau des câbles CC sont dus à un mauvais dimensionnement de ces câbles au moment de la conception de l'installation ou à leur dégradation suite à de mauvaises manipulations ou en raison d'environnements agressifs. Des erreurs de pose peuvent également mener à la formation de boucles d'impédance.

Premièrement, la section des câbles est calculée en tenant compte du courant admissible corrigé d'un facteur selon la température ambiante et la chute de tension acceptable. Si l'étape de calcul des sections est omise, ou si les câbles posés sur chantier ne correspondent pas au choix technique, alors il y a un risque d'échauffement des câbles. Le choix de câbles inadaptés peut aussi résider dans l'utilisation de câbles à âme aluminium, d'une section déterminée sans tenir compte de la température ambiante réelle et de la dissipation de la chaleur dans le volume du coffret et/ou du local dans lequel il sera posé. Également, les câbles CC et la liaison d'équipotentialité peuvent créer une boucle d'impédance s'ils ne cheminent pas côte-à-côte. Une telle boucle peut créer une surtension qui va endommager les appareils électriques du bâtiment, dont l'onduleur, en cas d'épisode orageux.

Deuxièmement, les câbles CC peuvent être blessés lors du montage, par pincement ou écrasement, ou par frottement lors du tirage des câbles dans les gaines électriques, en particulier pour les câbles enterrés. Le pincement conduit généralement à des défauts d'isolement car l'âme se trouve alors en contact avec la masse par l'intermédiaire des cadres de modules ou du système de fixation.

2. Connecteurs CC

Les composants d'un système PV, comme les modules, les coffrets CC et même les onduleurs sont de plus en plus fréquemment raccordés à l'aide de connecteurs à encliqueter. Ces connecteurs peuvent présenter des défauts de plusieurs ordres :

- incompatibilité entre connecteurs (marques et/ou modèles différents, même s'ils sont déclarés compatibles à d'autres modèles par le fabricant) ;
- sertissage mal exécuté (réalisé sans la pince adéquate ou dans de mauvaises conditions sur chantier) ;
- encliquetage ou serrage insuffisant lors de la pose ;
- corrosion due à un environnement humide permanent sous les panneaux.

La qualité du contact électrique entre deux connecteurs est évoquée dans la norme produit qui exige que les contacts se touchent lors du branchement, et

dans le guide UTE C15-712-1 [4] qui requiert que les connecteurs soient de même type et de même marque. Il a été démontré que la connexion croisée (l'utilisation de deux connecteurs de marques différentes) présente un risque d'échauffement élevé, aussi le respect du guide UTE C15-712-1 doit être formel.

3. Borniers de raccordement

Le terme générique de « coffret CC » désigne la boîte de raccordement dans laquelle sont situés les fusibles CC, les borniers ou cartes permettant la mise en parallèle des différentes chaînes de modules, les parafoudres et l'inter-sectionneur CC précédant l'entrée onduleur. Selon le nombre de chaînes et d'onduleurs, il peut y avoir plusieurs coffrets en cascade. Le rôle du coffret est de protéger ses composants internes de l'environnement extérieur, mais aussi les personnes de tout contact avec un élément sous tension. Il est important que le coffret soit placé dans un endroit protégé des intempéries et correctement ventilé, même si son indice de protection est adapté aux conditions extérieures. Les borniers de raccordement peuvent être sources de pertes de production ou de courts-circuits si le raccordement est mal exécuté. Les pertes de production proviennent d'une qualité de contact insuffisante (section du bornier insuffisante par rapport à la section du câble, desserrage ou corrosion des connexions...) pouvant aussi mener à des échauffements voire des départs de feu. Les courts-circuits sont le résultat d'un contact malencontreux entre deux polarités (brins mal insérés en contact, distance d'isolement insuffisante...). Les facteurs aggravants sont l'élévation de température à l'intérieur des coffrets lorsqu'ils sont placés en extérieur (plein sud ou en toiture) ou en intérieur, dans un local mal ventilé ou sous combles.

Défauts du système de protection

Côté courant continu, le système PV est équipé des protections suivantes : liaison à la terre (protection contre les contacts indirects), parafoudres (protection contre les surtensions d'origine atmosphérique), fusibles (protection contre les surintensités).

1. Liaison équipotentielle

Depuis la dernière version du guide UTE C15-712-1, tous les matériels du circuit courant continu, même ceux de classe II, doivent être mis à la terre de manière individuelle. Les défauts fréquents sont :

- une liaison non durable dans le temps, sans prise en compte de la corrosion galvanique entre métaux par exemple, ou avec une liaison non continue par la mise en série des cadres des modules ou de tout autre élément ;
- des prises de terre multiples pour un même bâtiment, ce qui peut présenter un risque de choc électrique par différence de potentiel ;
- une section de conducteur insuffisante. >>>

[4] UTE C15-712-1 Installations électriques à basse tension – Guide pratique – Installations photovoltaïques sans stockage et raccordées au réseau public de distribution (juillet 2013).



Photo Antoine Farcot - Autan Solaire 5

5 Échauffement d'une paire de connecteurs incompatibles.

6 Exemple de coffret CC.

7 Borniers de raccordement : les contacts à l'intérieur peuvent présenter une résistance importante menant à un échauffement (borniers et câbles incompatibles, desserrage...) ou un isolement insuffisant entre parties actives menant à un court-circuit (brins de câbles de polarités opposées en contact).

8 Discontinuité de la liaison équipotentielle. Risque de choc électrique pour le personnel (possible courant de fuite dans des matériels mis à la masse tels que le cadre du module ou les structures de fixation).

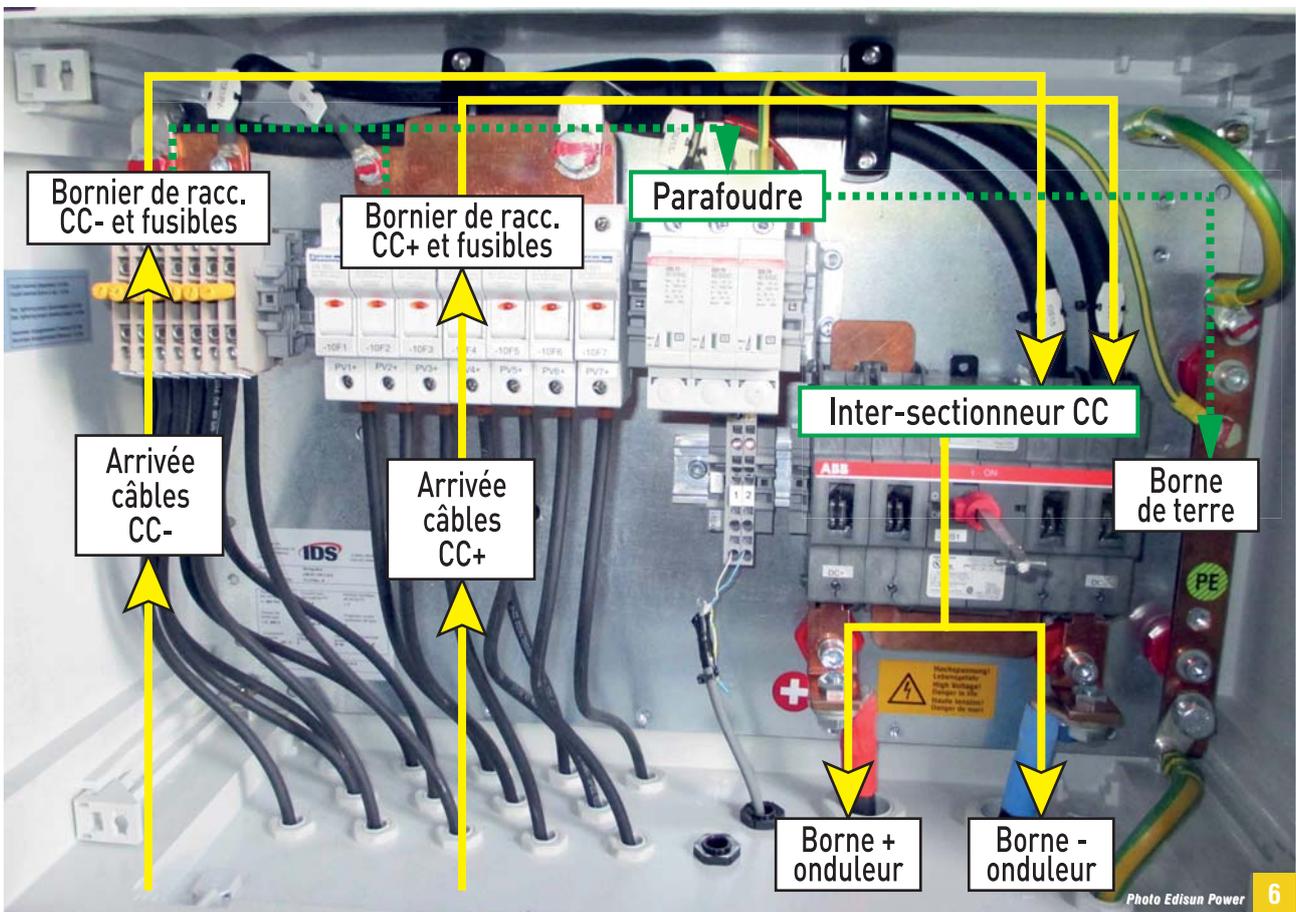


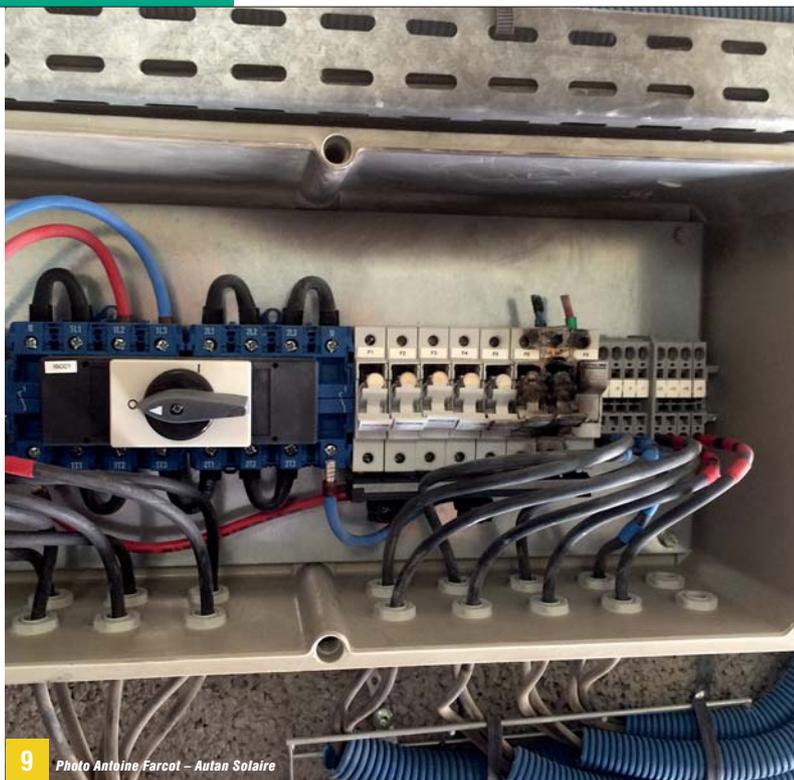
Photo Edisun Power 6



Photo Antoine Farcot - Autan Solaire 7



Photo Antoine Farcot - Autan Solaire 8



9

Photo Antoine Farcot – Autan Solaire



10

Photo Sipperoc

9 Court-circuit entre deux porte-fusibles.

10 Onduleurs protégés des intempéries par une casquette.

2. Fusibles CC

Les fusibles protègent les séries de modules des courants inverses qui pourraient s'y déverser, typiquement si la série fonctionne en récepteur (série ombragée, effet de mismatch entre séries...). Des fusibles sous-dimensionnés entraîneront des pertes de production, tandis que des fusibles surdimensionnés ne protègent pas les chaînes de modules.

3. Parafoudres

Les parafoudres protègent l'installation PV des surtensions d'origine atmosphérique en les évacuant à la terre. S'ils sont mal dimensionnés, positionnés ou raccordés, il y a un risque de destruction de l'installation en cas de foudre (modules, onduleurs...). Si les parafoudres sont détériorés, il y a en outre un risque de court-circuit et donc d'échauffement.

Les défauts onduleur

Les onduleurs sont à l'origine d'une bonne partie des anomalies de fonctionnement des installations photovoltaïques, pouvant être liées à un problème de conception, de mise en œuvre ou encore de fonctionnement électrique.

1. Dimensionnement de l'onduleur

Les caractéristiques courant-tension du champ PV aux conditions limites de température doivent entrer dans la plage de tensions d'entrée de l'onduleur et *a fortiori* dans celles de son MPP (Maximum power point) tracker, et ne pas dépasser le courant maximum admissible. Pour optimiser le fonctionnement du système dans la durée, on choisira un point de fonctionnement autour de la tension de chaîne la plus fréquemment relevée, par exemple 600 V, afin d'éviter de faire travailler l'onduleur en surcharge, ce qui générerait un vieillissement prématuré.

2. Surchauffe

Un onduleur contient des composants électroniques pouvant être endommagés par des températures élevées. Pour cette raison, il réduira sa puissance en abaissant son point de fonctionnement pour les protéger jusqu'à se mettre en sécurité au-delà d'un certain seuil de température. La ventilation des onduleurs est un point-clé pour une exploitation du système satisfaisante.

3. Découplage récurrent dû à la fluctuation de la tension réseau

L'électricité produite en sortie d'onduleur se doit de respecter les valeurs de tension et de fréquence admises par le réseau de distribution d'électricité, soit 230 V et 50 Hz en monophasé. Il arrive que le réseau local connaisse des perturbations fréquentes se traduisant par des valeurs en dehors de la plage de valeurs nominales, ce qui active la protection de découplage de l'onduleur qui se met en sécurité. Généralement, l'onduleur se remet automatiquement en service dès retour à la norme de ces paramètres. En revanche, si la routine de l'onduleur est d'attendre le jour suivant pour se remettre en route, les pertes de production peuvent être conséquentes. ■