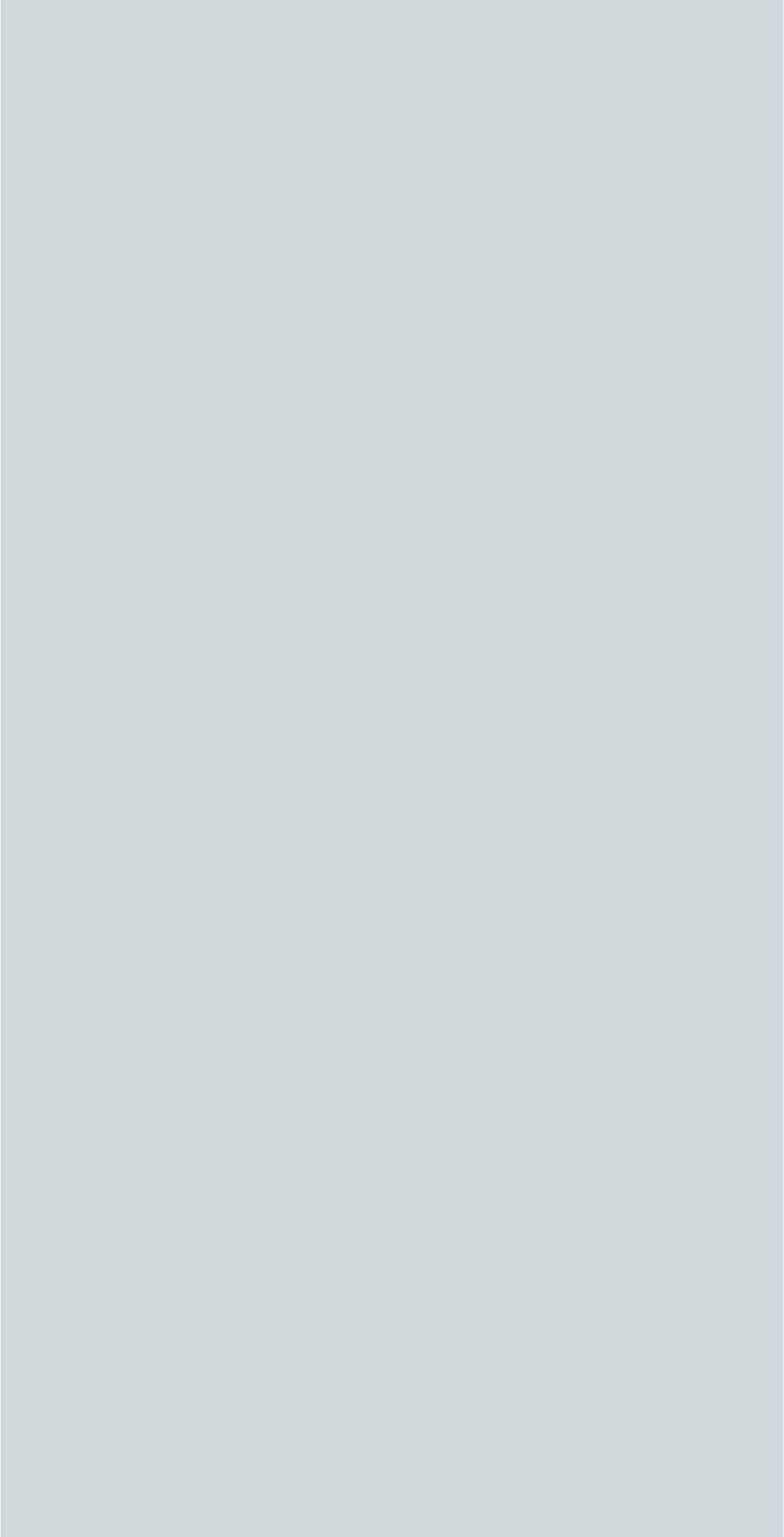


# MAÎTRISER LE RISQUE LIÉ AUX INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES







**VOUS ÊTES APPELÉ  
SUR LE LIEU D'UN INCENDIE...**

**LE BÂTIMENT COMPORTE UNE  
INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE...**

**VOICI COMMENT AGIR  
POUR INTERVENIR  
EN TOUTE SECURITÉ.**

# Avant-propos

**À l’instar de la vapeur et de l’électricité en leurs temps, le photovoltaïque interpelle.** De plus en plus répandu chez les particuliers comme sur les bâtiments de tous types, ce nouveau mode de production d’énergie électrique a suscité de vives émotions quant aux risques encourus par les sapeurs-pompiers en cas d’intervention. Les prises de position les plus alarmistes et les plus fantaisistes ont circulé dans la presse et sur les forums.

Spécialement destiné aux Services de Secours, ce guide remet les choses à leur place. Il réunit les informations objectives nécessaires pour que les équipes d’intervention puissent travailler sereinement en présence d’une installation photovoltaïque.

Les pages qui suivent sont la synthèse pratique des questions relatives aux risques factuels présentés par les générateurs photovoltaïques et leurs installations électriques associées. Elles sont le fruit de nombreux échanges entre des représentants des services de secours et des organismes professionnels\* soucieux d’apporter des réponses claires aux questions des sapeurs-pompiers.

Nous vous souhaitons une excellente lecture !

**Raymond ALAZARD, Nicolas CHAINTREUIL et Gérard MOINE**

Les auteurs sont impliqués dans les groupes de travail des normalisations et règlements français dédiés au segment photovoltaïque et plus généralement à la sécurité des installations électriques. Raymond ALAZARD est *Installation Expert Corporate* chez SOCOMEC, Nicolas CHAINTREUIL est chef de projet Systèmes Photovoltaïques au Laboratoire des Systèmes Solaires du CEA et Gérard MOINE est directeur technique de Transénergie.

\* Voir en dernière page



# Préface

La technologie liée à l'utilisation et à la récupération de l'énergie solaire n'est pas récente : le photovoltaïque est une technologie qui a commencé à se développer dans les années 1970. Pourtant ce n'est que depuis peu que sa croissance est notable (4003 MW installés fin 2012 – source : CGDD - SOeS).

Appuyées par une politique énergétique d'une part, mais également par des progrès considérables, les applications du photovoltaïque ne semblent plus avoir de limite. Dans ce cadre, des risques particuliers peuvent être mal appréhendés et avoir un impact sur l'environnement de ces installations.

**Face à ce constat, j'ai missionné mes services afin qu'un travail collaboratif soit mis en place** et qu'un guide, destiné avant tout aux opérationnels des services d'incendie et de secours ainsi qu'aux cadres chargés de la formation et aux cadres responsables de la sécurité, soit réalisé. Une réflexion conjointe a été donc menée entre les partenaires institutionnels, professionnels et experts afin de réaliser ce guide dont l'objectif est bien d'améliorer la maîtrise des événements accidentels liés aux équipements photovoltaïques.

Aujourd'hui, je suis particulièrement fier et heureux de voir ce travail abouti et je tiens à signaler le sérieux et la précision avec lesquels ce projet a été conduit.

Ainsi, en dépit de la grande diversité des structures (configuration et évolution historique des constructions) et de l'impossibilité de dresser un inventaire exhaustif de tous les bâtiments existants, voici malgré tout un guide qui vient parfaitement compléter la note opérationnelle diffusée le 9 juin 2011 relative aux interventions sur les installations en présence de panneaux photovoltaïques (PPV). Sans livrer « la solution unique » face à un sinistre, tous les professionnels du secours devraient tirer un bénéfice opérationnel de sa lecture et intervenir avec une plus grande sécurité.

Je tiens pour finir à remercier l'ensemble des services d'incendie et de secours qui ont bien voulu prêter leurs concours pour que ce guide voit le jour, ainsi qu'aux contributeurs financiers qui ont permis qu'un tel document soit mis gracieusement au service de la profession.



**Jean-Philippe VENNIN**

Sous-directeur des ressources, des compétences et de la doctrine d'emploi  
Direction générale de la Sécurité Civile et de la gestion des crises

Dans ce guide :  
quatre parties complémentaires

## **A** IDENTIFIER UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

## **B** MAÎTRISER LES RISQUES

## **C** SOLUTIONS POUR PROTÉGER L'ACTION DES SAPEURS-POMPIERS

## **D** ADOPTER LES BONNES PRATIQUES EN INTERVENTION



<b>A1</b>	Distinguer solaire thermique et solaire photovoltaïque	<b>9</b>
<b>A2</b>	Du résidentiel à la centrale solaire au sol	<b>13</b>
<b>A3</b>	Comment fonctionne une installation photovoltaïque ?	<b>14</b>
<b>A4</b>	Produire de l'électricité : pour vendre ou pour consommer ?	<b>16</b>
<b>A5</b>	Signalisation des installations photovoltaïques	<b>18</b>



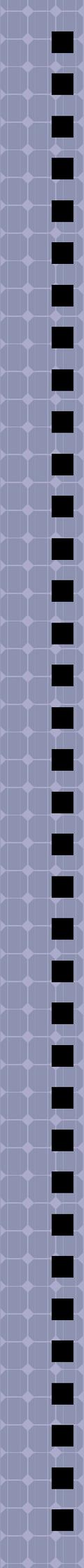
<b>B1</b>	Risques généraux liés à l'énergie électrique	<b>19</b>
<b>B2</b>	Risques spécifiques aux installations photovoltaïques	<b>21</b>
<b>B3</b>	Dispositifs pour assurer la sécurité des personnes et des biens	<b>23</b>
<b>B4</b>	Risques pour les sapeurs pompiers en intervention	<b>25</b>



<b>C1</b>	Dispositions de coupure côté courant alternatif	<b>28</b>
<b>C2</b>	Dispositions constructives visant à protéger l'installation	<b>30</b>
<b>C3</b>	Dispositions de coupure pour sécuriser les dégagements accessibles aux occupants vis-à-vis des circuits <i>d.c.</i>	<b>32</b>
<b>C4</b>	Installations avec tension PV <i>d.c.</i> maintenue inférieure à 60 V	<b>34</b>
<b>C5</b>	Dispositions complémentaires	<b>35</b>



<b>D1</b>	Traitement de l'alerte	<b>38</b>
<b>D2</b>	Evaluation du risque photovoltaïque sur la zone d'intervention	<b>39</b>
<b>D3</b>	Conduite des opérations en présence d'une installation photovoltaïque sous tension	<b>40</b>
<b>D4</b>	Déblai et désengagement des services publics de secours	<b>47</b>





# IDENTIFIER UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

## A1 Distinguer solaire thermique et solaire photovoltaïque

Depuis quelques années, nos toits se garnissent de panneaux destinés à récupérer l'énergie solaire. Pour autant, tous les panneaux n'ont pas la même fonction...

### A1.1 Le solaire thermique

Dans une installation solaire thermique, le rayonnement thermique issu du soleil est utilisé pour créer de l'énergie sous forme de chaleur. Il existe de nombreux systèmes et applications, à plus ou moins grande échelle (chauffe-eau solaires, centrales thermiques, sécheurs, cuisinières, distillateurs, climatiseurs, etc.).

La collecte de l'énergie thermique se fait au moyen d'absorbeurs faits de matériaux de couleur sombre et à haute conductivité thermique (acier, etc.). Cette chaleur est ensuite traitée différemment selon les cas. Le chauffe-eau solaire est la configuration la plus courante qui se trouve sur les maisons individuelles (voir figure 1) :

Les chauffe-eau solaires destinés à la production d'eau chaude domestique peuvent être confondus avec les panneaux photovoltaïques. Pourtant, leur fonctionnement et les risques associés sont totalement différents.

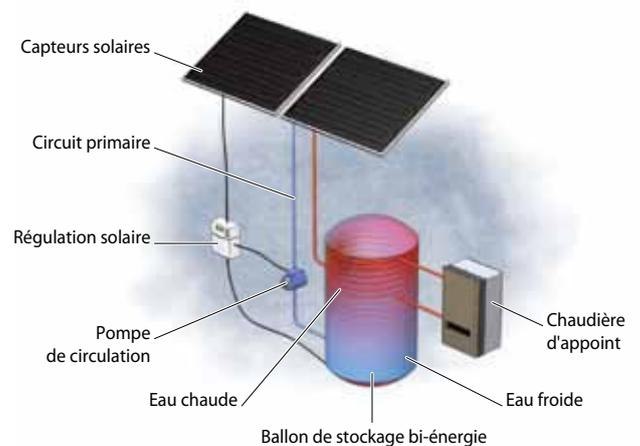


Fig. 1 : Installation solaire thermique



Système de chauffe-eau solaire : deux exemples d'installation à petite échelle (deux à trois capteurs).

- Un panneau solaire thermique est constitué de capteurs absorbant la chaleur.
- Un conduit, parcouru par un fluide caloporteur, traverse les modules pour récupérer l'énergie thermique emmagasinée et la transmettre à un réservoir le plus souvent constitué d'eau.

De tels systèmes ne présentent aucun risque électrique. Ces installations comportent le plus souvent deux à trois capteurs (5 m<sup>2</sup>) et sont donc assez aisément identifiables. Cependant certaines installations peuvent être plus voire beaucoup plus conséquentes (chauffage solaire par le sol en maison individuelle, logements collectifs, hôtels, campings, etc.).

### A1.2 Le solaire photovoltaïque

Dans une installation photovoltaïque, le rayonnement solaire est converti en électricité au travers de matériaux semi-conducteurs (essentiellement du silicium).

Qu'est-ce que l'effet photovoltaïque ? Au contact du matériau semi-conducteur, l'énergie lumineuse incidente crée des charges électriques mobiles (positives et négatives). Ces charges sont séparées au sein du matériau grâce à un champ électrique interne, ce qui génère une tension continue de quelques dizaines de volts à l'échelle d'un module PV. Le principe est illustré par la figure 2.

Les panneaux solaires photovoltaïques constituent la partie visible de l'installation. Une installation domestique comporte bien souvent plus d'une dizaine de panneaux solaires photovoltaïques juxtaposés. Nous reviendrons en détail un peu plus tard sur ce composant essentiel.

#### ..... Les cellules photovoltaïques

Le plus petit élément générateur d'électricité est appelé cellule photovoltaïque. Il existe différents types de cellules sur le marché, qui se distinguent par leur structure et leur matériau, choisis scrupuleusement de façon à tirer profit au maximum du rayonnement solaire.

#### ..... Les panneaux photovoltaïques

Représentés sur la figure 3, les panneaux (ou modules) photovoltaïques sont composés de cellules solaires interconnectées les unes aux autres et protégées de l'environnement par un matériau transparent en face avant (souvent du verre) et par un autre matériau en face arrière (souvent une feuille de polymère ou une autre plaque de verre).

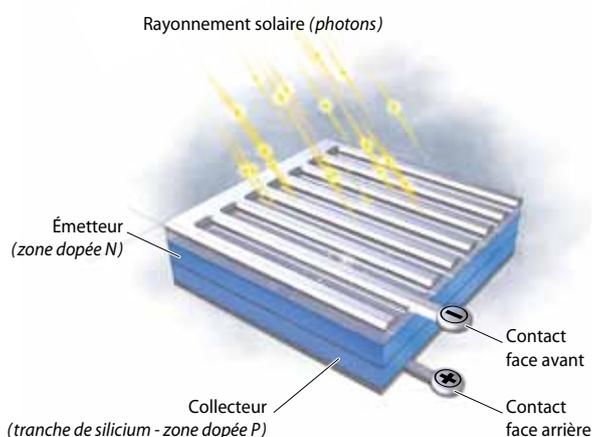


Fig. 2 : L'effet photovoltaïque

La puissance des panneaux photovoltaïques varie selon la technologie et la surface – de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de watts-crête (puissance disponible par ciel bleu au midi solaire). Deux grandes familles de panneaux photovoltaïques sont disponibles sur le marché.

La première famille regroupe les modules au silicium cristallin. Des panneaux de ce type sont mis en œuvre dans 85% des sites photovoltaïques dans le monde. Deux technologies coexistent au sein de cette famille.

Les panneaux à base de silicium *monocristallin* représentent environ 40% du marché. Ils se caractérisent par des cellules rondes ou carrées aux angles arrondis et par leur surface uniforme (voir photo). Les panneaux à base de silicium *polycristallin* représentent les 45% restants. Ils se composent de cellules carrées dont la surface fait apparaître une multitude de cristaux.

La seconde famille regroupe les panneaux en couches minces. Ce type de panneau est beaucoup moins utilisé, notamment pour les installations raccordées au réseau sur bâtiment, car son rendement est plus faible que celui du silicium cristallin. Les panneaux ont une couleur uniforme bleu sombre, brun ou vert sombre. À ne pas confondre avec les panneaux solaires thermiques !

Les principales technologies couches minces sont au nombre de trois :

- Les panneaux au *silicium amorphe* (a Si) se présentent sous forme rigide ou souple. On les retrouve essentiellement sur le toit de bâtiments industriels.
- Les panneaux au *cuivre indium sélénium* (CIS) se présentent généralement sous forme rigide. On les retrouve essentiellement sur le toit de bâtiments résidentiels ou tertiaires.
- Les panneaux au *tellure de cadmium* (CdTe) se présentent également le plus souvent sous forme rigide. On les rencontre principalement dans les centrales au sol.

## À RETENIR

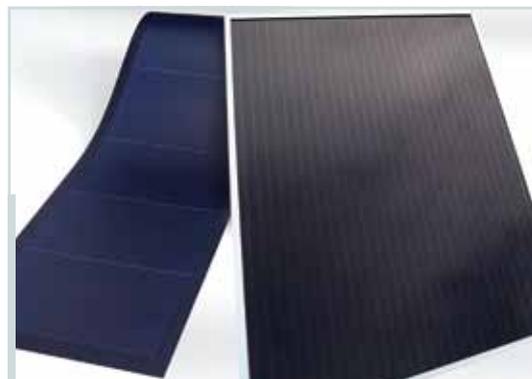
- Les installations solaires thermiques ne présentent pas de risque électrique.
- Certains panneaux photovoltaïques peuvent être confondus avec les panneaux thermiques ; dans le doute, considérer le risque électrique.



Fig. 3 : Module photovoltaïque



Panneaux au silicium monocristallin (à gauche) et au silicium polycristallin (à droite)



Panneaux au silicium amorphe (à gauche) et au CIS ou au CdTe (à droite)

# TEST

Identifiez les panneaux photovoltaïques !



**Vous avez tout trouvé ?  
Vérifiez vos résultats ci-dessous**

Réponses : 1 Solaire thermique en haut et photovoltaïque en bas  
• 2 Solaire thermique • 3 Solaire photovoltaïque • 4 Solaire photovoltaïque • 5 Solaire thermique à gauche et  
photovoltaïque à droite • 6 Solaire photovoltaïque • 7 Solaire thermique

## A2 Du résidentiel à la centrale solaire au sol

Ce test vous a permis de découvrir - si vous ne le saviez déjà - qu'il existe plusieurs techniques et possibilités d'implantation des panneaux photovoltaïques au bâti. Le choix d'une technique est déterminé non seulement par les possibilités offertes par le bâtiment mais également par la puissance de l'installation.

### A2.1 Installations résidentielles

Les toits des maisons individuelles ne peuvent accueillir que des systèmes photovoltaïques de faible puissance (quelques kilowatts crête, soit une surface de panneaux de l'ordre de 15 à 20 m<sup>2</sup>). Les panneaux mis en œuvre sont dans la plupart des cas intégrés à la toiture, en substitution de tuiles ou ardoises. Plus marginalement, on les trouvera en surimposition sur la toiture existante.

### A2.2 Installations sur bâtiments tertiaires, industriels ou agricoles

De par la surface disponible sur leur toit voire leurs façades, les bâtiments collectifs, les hangars industriels, les immeubles du grand tertiaire - sans oublier les toitures industrielles ou agricoles - peuvent héberger des installations photovoltaïques bien plus conséquentes, de quelques dizaines à quelques centaines de kilowatts crête (kWc), ce qui représente quelques centaines à quelques milliers de m<sup>2</sup> de panneaux. Si les panneaux occupent généralement les toits des bâtiments industriels ou agricoles, ils investissent volontiers diverses autres surfaces disponibles sur les façades des bâtiments tertiaires.

### A2.3 Centrales solaires au sol

Pour des centrales de production photovoltaïques de plusieurs mégawatts crête (MWc) voire plusieurs dizaines de MWc, l'électricité est injectée en totalité sur le réseau électrique haute tension. Les panneaux sont dans la plupart des cas implantés sur des structures fixes orientées vers l'équateur. Dans certains cas, notamment dans les régions à fort ensoleillement, les centrales solaires sont équipées de « trackers » qui permettent de suivre la course du soleil pour obtenir un rendement maximum.



Installation résidentielle - système surimposé sur la toiture



Installation sur le toit d'un bâtiment agricole



Installation sur le toit d'un bâtiment industriel - panneaux souples



Centrale solaire au sol - panneaux montés sur structure fixe

Les panneaux photovoltaïques génèrent un courant continu qui doit être converti en courant alternatif pour pouvoir être utilisé dans l'installation électrique domestique ou vendu au fournisseur d'énergie.

## À RETENIR

- Dans tout ce document :
- d.c. se rapporte à la partie courant continu de l'installation
  - a.c. se rapporte à la partie courant alternatif



Fig. 4 : Exemple de chaîne photovoltaïque impliquant 8 modules.

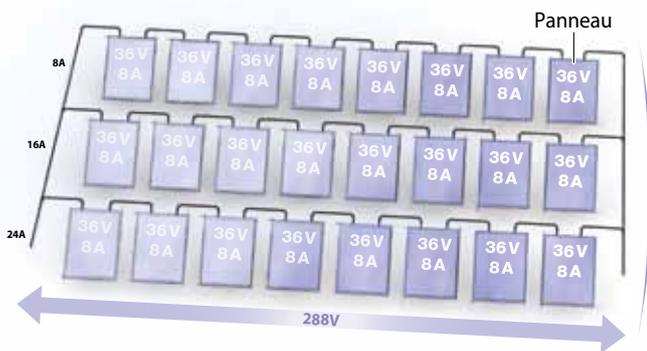


Fig. 5 : Champ photovoltaïque constitué de trois chaînes assemblées en dérivation.

## A3 Comment fonctionne une installation photovoltaïque ?

La production d'électricité par effet photovoltaïque requiert un minimum de composants essentiels. Les panneaux servent à générer un courant électrique à partir de la lumière du soleil. Ce courant est de type continu (*d.c.*) comme celui produit par les piles électriques ou les batteries de votre automobile). Or la plupart des appareils électriques fonctionnent avec un courant alternatif (*a.c.*) délivré par le fournisseur d'énergie (EDF, etc.). Pour être utilisable, le courant continu généré par les panneaux doit donc être converti en courant alternatif : c'est le rôle de l'onduleur. Les panneaux photovoltaïques et l'onduleur sont les deux composants essentiels de l'installation.

### A3.1 Les panneaux photovoltaïques

Nous avons vu précédemment qu'un module photovoltaïque réunit plusieurs cellules au sein de ce qu'on appelle couramment un panneau photovoltaïque. Or un panneau de 60 cellules 6 pouces génère une tension de l'ordre de 30 à 40 V et un courant de l'ordre de 8 A soit une puissance totale d'environ 250 W par ciel bleu à midi solaire, ce qui équivaut tout juste à la puissance d'un petit appareil électroménager.

Une chaîne correspond à un ensemble de modules photovoltaïques reliés entre eux en série (voir fig. 4). Ce type de raccordement génère une tension plus élevée et optimisée pour la production d'énergie. Si vous assemblez plusieurs chaînes reliées entre elles en dérivation parallèle (ce qui permet d'additionner le courant de chaque chaîne), vous obtenez ce qu'on appelle un champ photovoltaïque avec davantage de puissance comme le montre la figure 5. Selon le nombre de panneaux, la puissance obtenue va ainsi de quelques kWc à quelques dizaines de MWc.

### A3.2 L'onduleur

Un onduleur est conçu pour effectuer la conversion du courant continu en courant alternatif. En outre, les onduleurs photovoltaïques font en sorte que les panneaux photovoltaïques fonctionnent au maximum de leur puissance quelles que soient les conditions d'ensoleillement et de température.

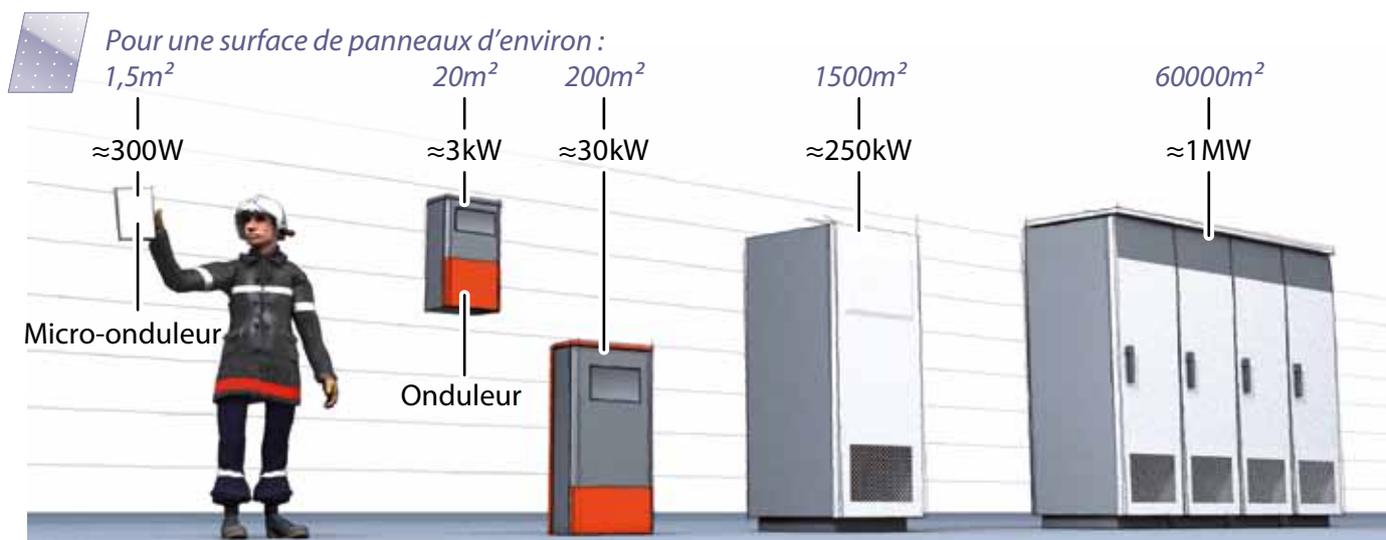


Fig. 6 : À chaque installation son onduleur

### A3.3 Les dispositifs d'interconnexion

Une installation complète et opérationnelle suppose bien entendu que ces éléments soient raccordés entre eux et au réseau. D'où la nécessité d'un certain nombre de composants servant à l'interconnexion.

#### ..... Les câbles « solaires »

Les câbles dits « solaires » transportent le courant continu produit par le champ photovoltaïque vers l'onduleur. Leurs caractéristiques doivent répondre aux exigences du guide UTE C15-712-1 pour assurer la protection des personnes en situation non dégradée (câble unipolaire et double isolation).



Câble solaire et connecteurs

#### ..... Les connecteurs

La connexion physique entre les liaisons électriques courant continu (*d.c.*) en amont du coffret de contrôle de chaîne est assurée à l'aide de connecteurs sécurisés choisis conformément à la norme NF EN 50121.



Boîtes de jonction de chaînes

#### ..... La boîte de jonction (selon le cas)

Situées dans la partie courant continu du circuit électrique, entre les panneaux solaires et l'onduleur, les boîtes de jonction de chaînes servent à protéger et à mettre en parallèle les différentes chaînes du champ photovoltaïque.



Batteries dans un local spécialement adapté

### A3.4 Les batteries d'accumulateurs stationnaires

Le stockage est nécessaire si l'on veut utiliser l'énergie solaire en dehors des heures d'ensoleillement ou si l'on souhaite momentanément disposer d'une puissance instantanée supérieure à celle produite par les modules solaires.

Les batteries d'accumulateurs stationnaires demandent à être protégées. La législation impose un « local batteries » dès que l'énergie stockée atteint 1 kWh (> 85 Ah sous 12 V), puissance atteinte par une batterie 12V 100 Ah ! Le local batteries doit être doté d'un système d'aération et d'un bac de récupération pouvant assurer la rétention de la capacité d'électrolyte des batteries en cas d'accident.

## À RETENIR

Une installation photovoltaïque raccordée au réseau est constituée au minimum d'un champ photovoltaïque qui capte l'énergie solaire, d'une installation électrique, de coffrets de regroupement et d'un ou plusieurs onduleurs pour convertir l'énergie *d.c.* en énergie *a.c.* utilisable.

À ce jour, la majorité des installations est destinée à la vente au distributeur d'énergie. Mais cette situation pourrait évoluer dans l'avenir. D'où l'importance de considérer tous les cas de figure existants.

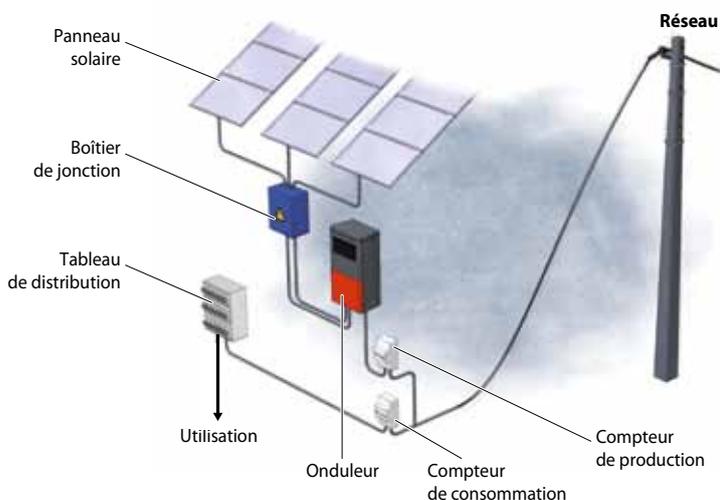


Fig. 7 : Installation raccordée au réseau - vente totale

## A4 Produire de l'électricité : pour vendre ou pour consommer ?

### A4.1 Les installations raccordées au réseau

#### ..... Vente totale

Actuellement, les systèmes photovoltaïques sont pour la plupart raccordés au réseau public de distribution et la totalité de la production photovoltaïque est vendue au distributeur d'énergie. C'est le cas de bien des maisons individuelles, de nombreux « toits photovoltaïques » de bâtiments et, bien sûr, des centrales solaires au sol.

La production photovoltaïque est injectée entièrement au réseau ERDF via un compteur de production. La consommation électrique domestique est alimentée via un compteur de consommation qui permet la facturation de l'énergie délivrée par le distributeur (voir fig. 7).

#### ..... **Autoconsommation + vente partielle**

Dans ce type d'installation (voir fig. 8a), la production photovoltaïque a pour vocation principale l'alimentation de l'installation électrique du site ; en cas de surplus, celui-ci est injecté au réseau ERDF.

À l'inverse, lorsque la demande en consommation du site dépasse la production, un compteur de soutirage mesure l'énergie prélevée au réseau de distribution. Un seul disjoncteur est requis pour couper l'électricité côté réseau.

#### ..... **Autoconsommation avec stockage**

Ce type d'installation constitue une variante de la précédente (voir fig. 8b). La vocation reste avant tout l'alimentation de l'installation électrique du site. Pour assurer cette alimentation en toutes circonstances, l'utilisateur s'est équipé de batteries d'accumulateurs.

### **A4.2 Les installations autonomes**

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont indépendants du réseau électrique conventionnel. Ils sont principalement utilisés pour l'alimentation de lieux difficiles d'accès (zone de montagne, etc.) où le raccordement au réseau n'est pas réalisable, pour des raisons techniques ou économiques.

En général, ces installations sont équipées de batteries, d'un régulateur de charge et d'onduleurs autonomes (voir fig. 9). Les batteries servent à stocker le surplus de production ; cette énergie stockée sera restituée durant la nuit ou pendant des périodes de faible ensoleillement.

Dans certains cas, des installations photovoltaïques autonomes sont couplées à d'autres systèmes indépendants tels que des éoliennes ou des groupes électrogènes pour produire davantage d'électricité ; on parle alors de systèmes hybrides.

## **À RETENIR**

Les installations électriques diffèrent selon que l'énergie est utilisée ou vendue. Nous verrons plus tard que cela aura son importance lorsqu'il s'agira de mettre en sécurité l'installation.

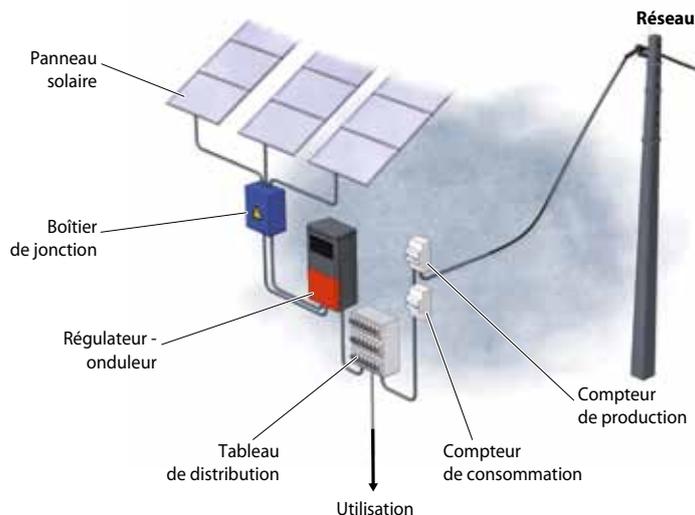


Fig. 8a : Installation raccordée au réseau - autoconsommation sans stockage

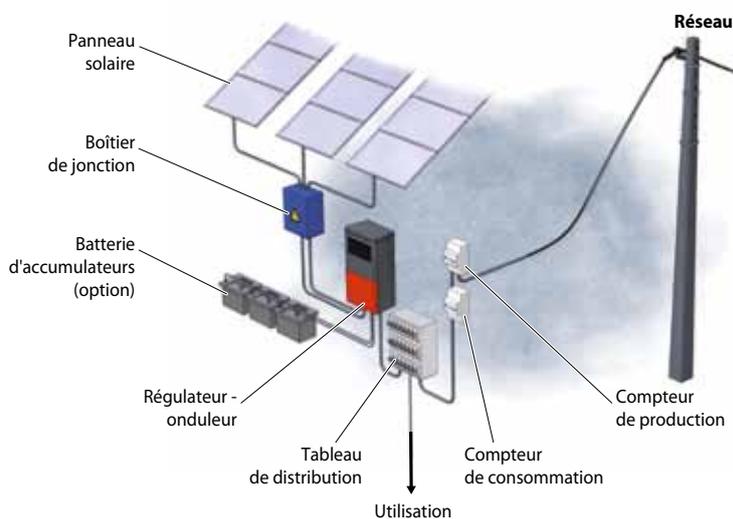


Fig. 8b : Installation raccordée au réseau - autoconsommation avec stockage

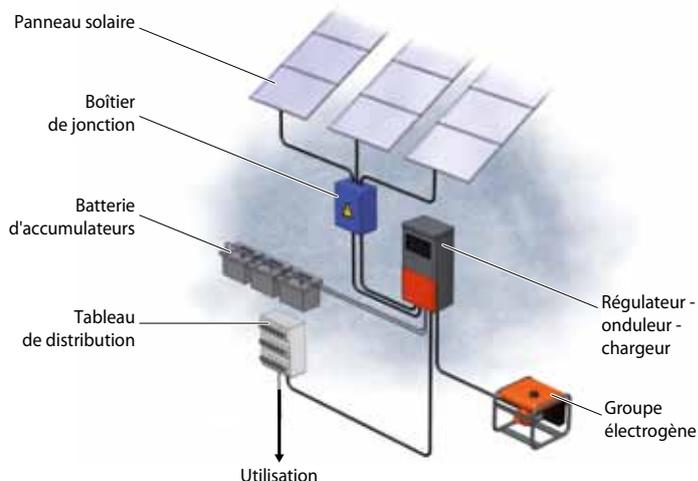
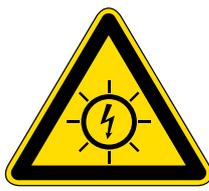


Fig. 9 : Installation autonome



Attention  
Présence de deux  
sources de tension  
- Réseau de distribution  
- Panneaux photovoltaïques



Isoler les deux sources  
avant toute intervention

Fig. 10 : Signalétique mise en place en 2011. —

## A5 Signalisation des installations photovoltaïques

Il n'est pas toujours aisé de savoir si une installation photovoltaïque est présente au sein d'un bâtiment, en particulier lorsque les modules sont intégrés à un toit plat. Pour permettre aux sapeurs-pompiers d'identifier ces installations, le guide UTE C 15712-1 définit depuis janvier 2011 un jeu d'étiquettes permettant d'identifier un système photovoltaïque et d'informer sur les risques.

L'implantation de ces étiquettes dépend du type de raccordement (vente totale ou partielle). Nous y reviendrons dans la partie C de ce guide.



### L'ESSENTIEL DE LA PARTIE A

- Un panneau sur un toit n'est pas forcément photovoltaïque. Les panneaux dédiés au solaire thermique ne présentent pas de risque électrique.
- Les panneaux et les onduleurs sont les composants essentiels d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau.
- Si vous ne pouvez être certain de l'absence ou la présence d'une installation photovoltaïque par la simple observation de l'extérieur du bâtiment, vous pouvez rechercher à proximité de l'organe de commande de coupure générale pour intervention des services de secours la présence d'étiquettes qui identifient à coup sûr une installation photovoltaïque (depuis 2010). Selon que l'installation est destinée à la vente ou à la consommation, l'implantation de ces étiquettes et les procédures de sécurisation sont différentes (voir parties C et D).



# B

## MAÎTRISER LES RISQUES

### B1 Risques généraux liés à l'énergie électrique

Avant d'aborder dans le détail les risques électriques spécifiques aux installations photovoltaïques, il paraît utile d'effectuer un tour d'horizon des dangers inhérents à la présence d'une installation électrique, dangers auxquels vous êtes exposé non seulement lors de n'importe quelle intervention dans un bâtiment équipé et non sécurisé, mais aussi au quotidien à votre domicile.

#### B1.1 Le choc électrique

Il y a choc électrique lorsqu'un courant électrique traversant le corps humain provoque des effets physiopathologiques effectifs. Pour qu'il y ait passage du courant à l'intérieur du corps, deux points au moins doivent être à des potentiels différents : les deux mains, une main et un pied, la tête et une main, la tête et un pied, etc.

Le corps humain est généralement en contact avec le potentiel de la terre. C'est pourquoi il est primordial d'identifier toute apparition d'un potentiel dangereux accessible afin de prévenir tout risque.

Les risques les plus courants et les plus fréquents ne sont pas liés aux panneaux photovoltaïques.

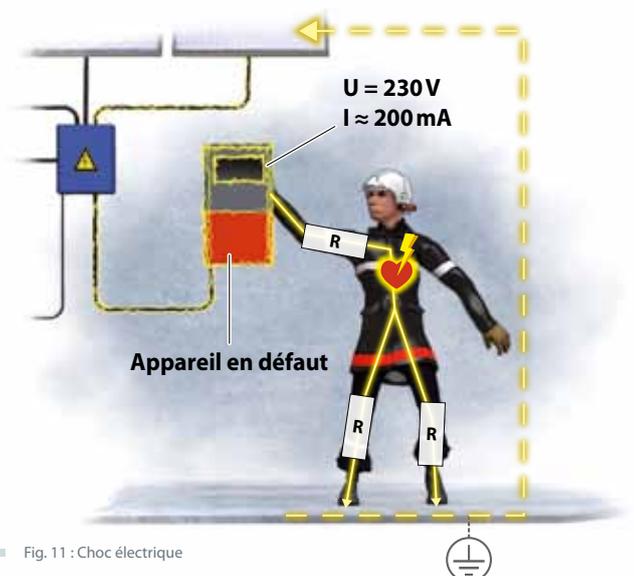


Fig. 11 : Choc électrique



### B1.2 Les seuils de danger

La commission électrotechnique internationale définit la norme CEI 60479-1 qui indique les effets physiologiques du courant sur l'homme. En fonction de l'intensité du courant traversant le corps humain, plusieurs seuils de danger y sont définis :

- le seuil de perception (valeur minimale du courant provoquant les premières sensations),
- le seuil de réaction (le courant est responsable de la contraction de certains muscles),
- le seuil de non lâché,
- le seuil de fibrillation cardiaque.

Il s'avère donc important de connaître l'intensité du courant susceptible de traverser une personne exposée.

L'impédance électrique globale (ou résistance globale) du corps humain est une variable importante dans la détermination de cette intensité. L'impédance corporelle dépend de multiples facteurs classés par ordre d'influence :

- la tension de contact,
- le degré d'humidité de la peau (l'eau favorise la conduction du courant),
- la surface de contact entre la source de courant et la personne (plus elle est importante, plus l'impédance corporelle est faible),
- le temps d'exposition (un contact prolongé diminue la résistance au courant de la peau),
- la fréquence (plus elle augmente, plus le corps est conducteur).

Bon à savoir : en-dessous d'une valeur maximale appelée « tension limite conventionnelle de contact » (symbole UL), la tension de contact peut être maintenue indéfiniment sans danger pour les personnes.

La valeur de cette tension limite ainsi que les seuils de danger varient selon de la nature du courant.

#### •••• En courant continu

Les seuils sont présentés dans le tableau 1. La « tension limite conventionnelle de contact » (UL) est prise égale à 60 V.

#### •••• En courant alternatif

Les seuils sont présentés dans le tableau 2. La « tension limite conventionnelle de contact » (UL) est fixée à 25 V.

Courant continu	Effets physiologiques
Entre 0 et 2 mA	Perception
Entre 2 et 25 mA	Contraction musculaire
Entre 25 et 150 mA	Fortes contraction musculaire et perturbations cardiaques
Au-delà de 150 mA	Arrêt du cœur et de la respiration

Tableau 1 : Courant continu et seuils de danger

Courant alternatif	Effets physiologiques
Entre 0 et 0,5 mA	Perception
Entre 0,5 et 5 mA	Contraction musculaire
Entre 5 et 30 mA	Fortes contraction musculaire et perturbations cardiaques
Au-delà de 30 mA	Arrêt du cœur et de la respiration

Tableau 2 : Courant alternatif et seuils de danger

### B1.3 Les divers types de chocs électriques

#### ..... **Le contact direct**

Ce type de situation se produit lorsqu'une personne est en contact avec une partie active d'un conducteur électrique, c'est-à-dire une partie susceptible de se trouver sous tension en service normal.

Parmi ces conducteurs, figurent notamment les âmes conductrices des câbles électriques (phase ou neutre coté alternatif et polarité + ou - coté courant continu). La personne sera très probablement victime d'un choc électrique dans cette situation.

#### ..... **Le contact indirect**

Ce type de situation se produit lorsque une personne est en contact simultané, d'une part avec la terre, d'autre part avec une masse métallique portée accidentellement sous tension.

Cette masse peut être l'enveloppe métallique d'appareils électroménagers ou une carcasse d'onduleur, habituellement hors tension mais qui, en cas de défaut interne, peut être portée pendant un court instant à un certain potentiel.



Fig. 12 : Illustration d'un contact direct, d'une part avec un conducteur actif, d'autre part avec la terre au travers de l'échelle « touchant la terre ».

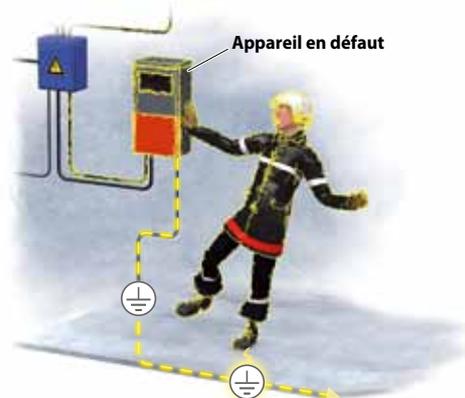


Fig. 13 : Choc électrique par contact indirect

## B2 Connaître les risques spécifiques aux installations photovoltaïques

En comparaison avec les installations électriques couramment rencontrées, les installations photovoltaïques présentent quelques spécificités dont il faut tenir compte.

### B2.1 Spécificités

#### ..... **En journée, la source de tension ne peut être interrompue**

En fonctionnement normal, la tension continue créée par le générateur photovoltaïque est convertie en tension alternative via l'onduleur (voir fig. 14a). En cas de sinistre ou de nécessité, couper l'électricité provenant du réseau alternatif ERDF n'empêche pas le champ solaire de rester sous tension (voir fig. 14b). De la même manière, une coupure *d.c.* en amont

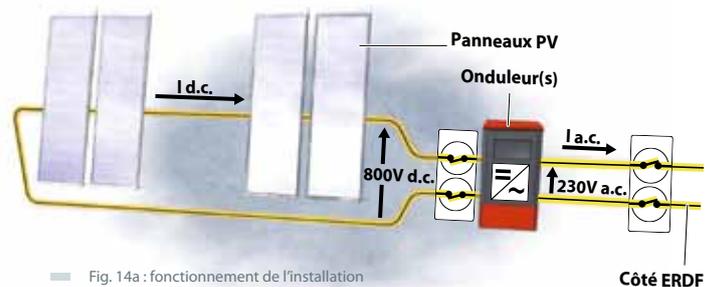


Fig. 14a : fonctionnement de l'installation en temps normal (exemple)

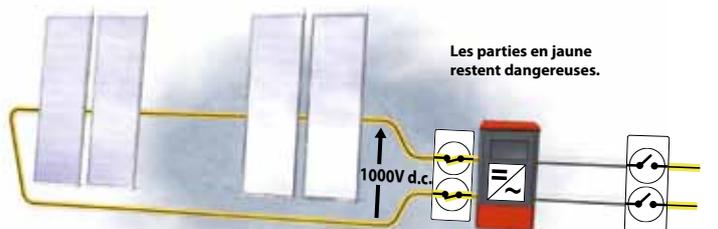


Fig. 14b : fonctionnement de l'installation après coupure du réseau alternatif

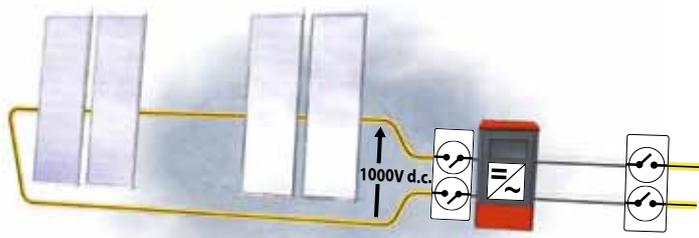


Fig. 14c : Fonctionnement de l'installation après coupure d.c. en amont de l'onduleur et coupure du réseau alternatif

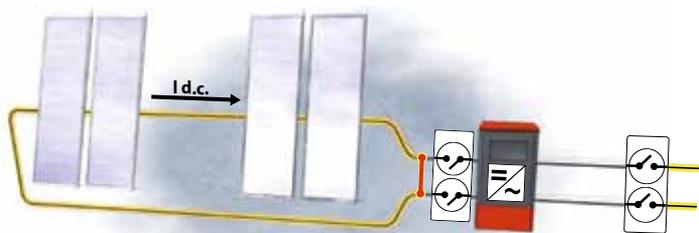


Fig. 15 : Fonctionnement de l'installation après coupure réseau et mise en court circuit du circuit d.c.

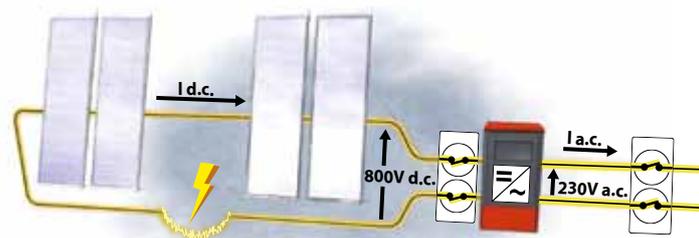


Fig. 16a : Arc électrique généré par l'ouverture du circuit photovoltaïque en charge

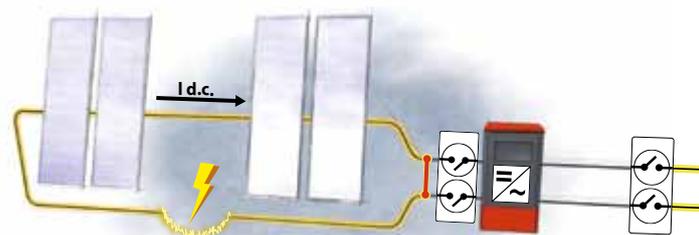


Fig. 16b : Arc électrique généré par l'ouverture du circuit photovoltaïque en court-circuit

de l'onduleur n'interrompt pas la production électrique (voir fig. 14c).

#### ..... Comment annuler la tension de sortie

Annuler la tension de sortie du champ photovoltaïque peut se faire en court-circuitant les deux polarités du champ photovoltaïque (voir fig. 15) ; celui-ci va alors se comporter comme un générateur de courant. Le courant de court-circuit est légèrement supérieur au courant en fonctionnement normal.

## B2.2 Dangers potentiels

#### ..... Le risque de choc électrique au contact des panneaux

Les connexions des cellules dans chaque module photovoltaïque sont assurées par des soudures. Il est donc impossible, en situation opérationnelle, d'intervenir directement sur ces branchements internes pour interrompre la présence d'une tension au niveau d'un module. Pris individuellement, un module ne présente à ce jour pas de risque mortel pour l'homme car la tension en circuit ouvert est très généralement inférieure à 60 V d.c.. Cependant, dans une installation photovoltaïque, les panneaux étant branchés en série, les tensions s'additionnent.

Les tensions en sortie de chaîne et de champ atteignent généralement plusieurs centaines de volts ; le risque de choc électrique par contact direct existe donc bel et bien. Les divers risques seront détaillés en B4.

#### ..... Le risque d'arc électrique

Qu'un circuit photovoltaïque soit en charge (il alimente l'onduleur, fig. 16a) ou en court-circuit (fig. 16b), son ouverture accidentelle entraîne la formation d'un arc électrique très difficile à interrompre et qui peut être à l'origine d'un départ de feu, d'un choc électrique, de brûlures, d'éblouissement, etc.

## À RETENIR

- En présence de lumière, la tension d.c. d'une installation photovoltaïque présente des risques de choc électrique mortel par contact direct.
- L'ouverture accidentelle d'un circuit d.c. PV va créer un arc électrique pouvant engendrer, en plus du choc électrique, de graves brûlures ou un incendie.

## B3 Quels sont les dispositifs mis en place pour assurer la sécurité des personnes et des biens ?

La norme NF C 15-100 prescrit les mesures de protection à appliquer aux installations électriques basse tension. Les guides UTE C 15-712 précisent comment appliquer cette norme à une installation photovoltaïque raccordée ou non au réseau.

### B3.1 Protection contre les chocs électriques

En raison des spécificités d'un générateur photovoltaïque, coté *d.c.*, en plus des dispositions identiques à l'installation *a.c.*, il est demandé d'utiliser des connecteurs PV en amont du premier coffret de regroupement et des câbles unipolaires avec une isolation renforcée équivalente à la classe II.

Pour la protection contre les contacts indirects, au-dessus de 120 V *d.c.*, seule l'utilisation d'une isolation renforcée, équivalente à la classe II, est admise.

### B3.2 Protection contre les surintensités

Les surintensités doivent être maîtrisées afin d'éviter la destruction des câbles et autres composants. Côté continu d'une installation photovoltaïque usuelle (sans batteries), les surintensités sont dues principalement à un défaut d'une chaîne photovoltaïque conduisant à l'établissement de courants inverses en présence de plusieurs chaînes raccordées en parallèle. Si des surcharges ne peuvent se produire, des courts-circuits peuvent se produire consécutivement à une défaillance de l'isolement ; cependant de tels courts-circuits restent bien souvent d'une amplitude très limitée, ce qui les rend difficile à identifier et à éliminer. C'est pour cette raison que l'isolation est renforcée et les conducteurs + et - séparés.

Sur la partie alternative, les surintensités peuvent être causées par des courts-circuits au niveau des onduleurs. Ces défauts ne nécessitent pas de précautions complémentaires à celles d'une installation usuelle.

### B3.3 Protection de découplage

Toutes les installations photovoltaïques raccordées au réseau doivent comporter une protection de découplage, c'est-à-dire un dispositif de

Mise à la terre des masses, isolation renforcée, coupure automatique du circuit en défaut, etc. Avec des obligations différentes sur les circuits *d.c.* et *a.c.*, les normes permettent d'assurer la protection requise tant que l'installation n'est pas dégradée.

	Sur le circuit <i>d.c.</i>	Sur le circuit <i>a.c.</i>
<b>Protection contre les contacts directs</b>	Connecteur PV Isolation renforcée	Isolation simple Enveloppes
<b>Protection contre les contacts indirects</b>	Isolation renforcée	Coupure automatique

Tableau 3 : Des mesures de protection contre les chocs électriques adaptées à chaque situation

	Sur le circuit <i>d.c.</i>	Sur le circuit <i>a.c.</i>
<b>Protection contre les courts-circuits</b>	Isolation renforcée Câbles séparés Dimensionnement à $I_{sc}$	Protection ampèremétrique
<b>Protection contre les surcharges</b>	-	Protection ampèremétrique
<b>Protection contre le courant inverse</b>	Protection par fusible sur chaque polarité	-

Tableau 4 : Mesures de protection contre les surintensités

## À RETENIR

- Les présences simultanées d'un générateur coté *d.c.* et du réseau de distribution publique coté *a.c.*, voire d'une batterie d'accumulateurs vont nécessiter la mise en place de dispositions de coupure et de protections intégrant cette multiplicité de contraintes telle que l'isolation renforcée coté *d.c.*, la prise en compte des courants inverses, les coupures d'urgence des deux cotés de l'onduleur, le découplage automatique du réseau ERDF, etc.
- Les pictogrammes présentés dans la vue d'ensemble ci-dessous seront repris dans les parties C et D. Nous conseillons de bien les identifier et d'en retenir la signification.

coupure automatique du réseau qui intervient en cas de sortie de plages de fonctionnement de l'onduleur en tension ou fréquence. Cette protection de découplage est intégrée ou non à l'onduleur.

### B3.4 Sectionnement et coupure d'urgence

L'onduleur doit pouvoir être mis hors tension en cas de danger (défaut, échauffement, etc.) à l'aide d'une coupure d'urgence. De même, la maintenance de l'onduleur doit pouvoir être assurée en toute sécurité après sectionnement. Des dispositifs de coupure et de sectionnement sont placés en amont coté *d.c.* et en aval coté *a.c.* et au plus près de celui-ci.

### B3.4 Synthèse

La figure 17 offre une vue d'ensemble des principaux dispositifs mis en place tout au long de l'installation photovoltaïque pour en assurer le contrôle-commande et la protection dans le cadre de l'application des normes.

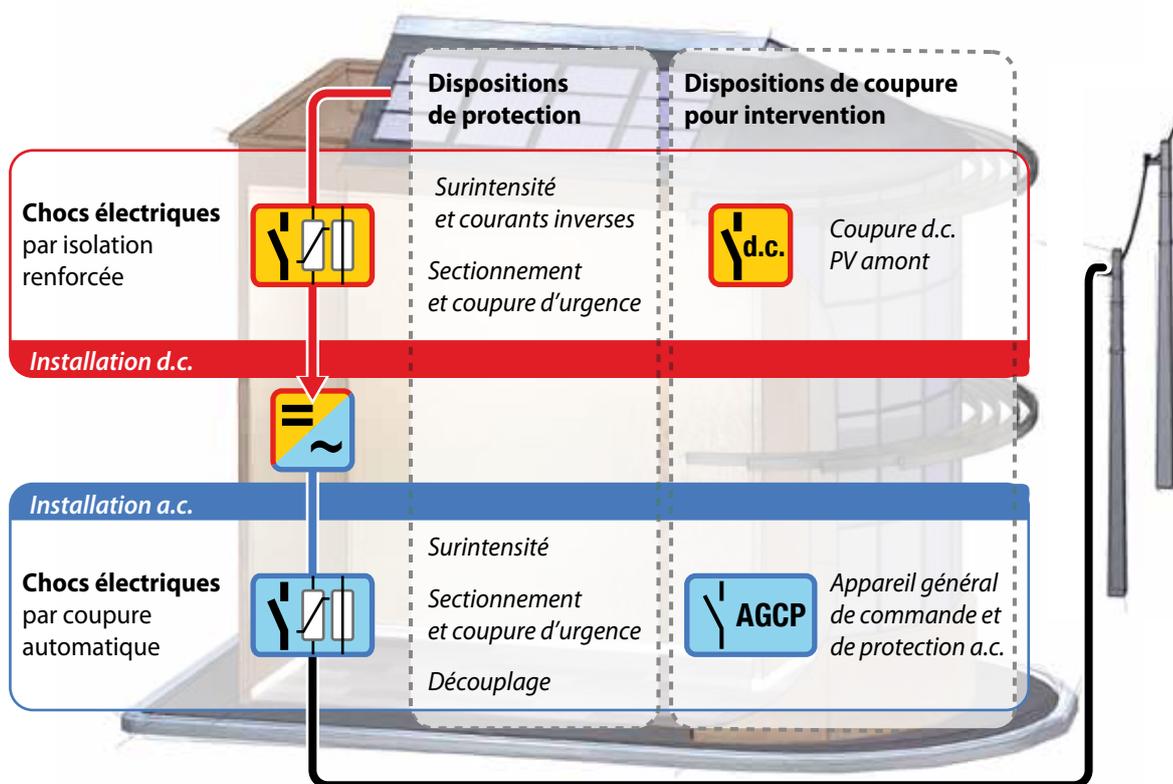


Fig. 17 : Synthèse des protections mises en place tout au long de l'installation photovoltaïque

## B4 Risques pour les sapeurs-pompiers en intervention

Les normes assurent la prévention contre les chocs électriques en situation non dégradée. Par voie de conséquence, les principaux risques d'ordre électrique proviennent des situations dans lesquelles l'installation est dégradée.

### B4.1 Choc électrique par contact direct

#### ..... *Risque de choc électrique par contact direct avec deux conducteurs actifs*

Deux points du corps humain sont en contact direct avec des éléments nus sous tension (les deux mains sur la figure 18) et à des potentiels différents. La personne est victime d'un choc électrique.

#### ..... *Risque de choc électrique par contact direct avec un conducteur actif et la terre*

La figure 19 montre les deux polarités en sortie de champ photovoltaïque. L'une est reliée à la masse tandis que l'autre est à un potentiel supérieur à 60 V. La personne peut être victime d'un choc électrique si elle touche un élément nu sous tension de la polarité non raccordée à la terre tout en ayant un contact (les pieds) avec la terre.

#### ..... *Risque de choc électrique par contact direct et décharge capacitive*

Dans la configuration de la figure 20, aucune des deux polarités en sortie de champ n'est connectée à la terre. Un risque de choc électrique par décharge capacitive est présent pour la personne en contact simultanément avec un élément nu (un conducteur par exemple) sous tension et la terre. En effet, une charge électrique s'accumule entre un champ photovoltaïque et les masses.

Les risques proviennent essentiellement de la dégradation par le feu de l'isolation des câbles ou des équipements.

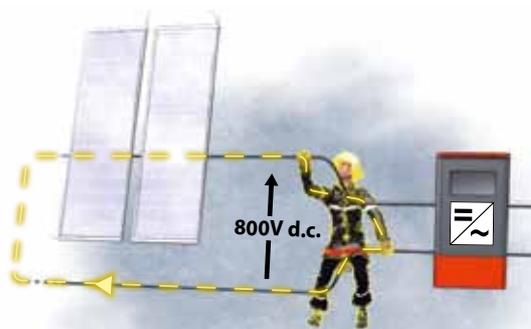


Fig. 18 : Contact direct avec deux conducteurs actifs

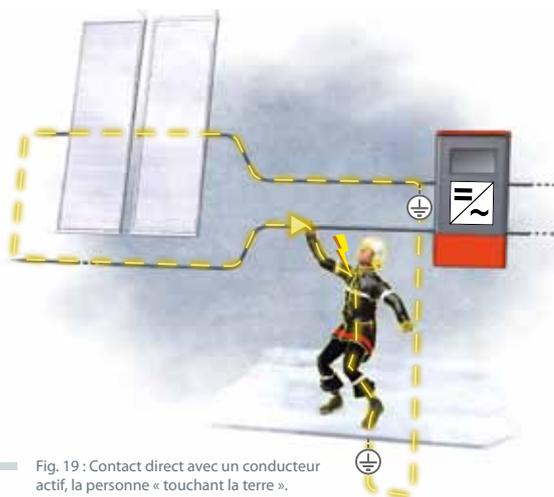


Fig. 19 : Contact direct avec un conducteur actif, la personne « touchant la terre ».



Fig. 20 : Contact direct et décharge capacitive

### À RETENIR

- Quelle que soit la configuration des installations d.c. PV ou a.c., le contact direct avec un élément conducteur électrique actif (isolant détruit, enveloppe ouverte...) peut causer un choc électrique fatal pour le sapeur-pompier.

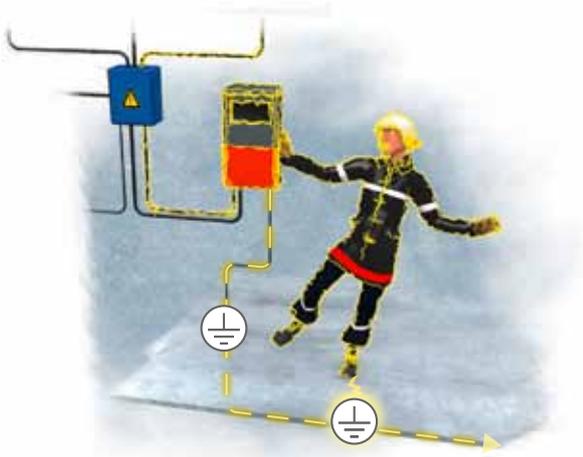


Fig. 21 : Contact indirect

#### B4.2 Choc électrique par contact indirect

Dans la figure 21, le sapeur-pompier touche la carcasse métallique d'un onduleur en défaut.

Si le défaut est coté *a.c.*, les appareils de protection vont éliminer ce défaut avant que la tension de contact ne soit dangereuse pour le sapeur-pompier.

Si le défaut est sur le circuit *d.c.* de l'onduleur, la mise à la terre locale de l'onduleur assure que l'élévation en potentiel de masse de l'onduleur reste à un potentiel non dangereux.



## L'ESSENTIEL DE LA PARTIE B

- L'essentiel des risques électriques (choc électrique, court-circuit) n'est pas spécifique à l'installation photovoltaïque.
- Pour isoler l'installation électrique d'un bâtiment raccordé au réseau, il suffit de couper l'installation côté alternatif (*a.c.*) à l'aide de l'AGCP.
- En présence de lumière, une installation PV produit constamment du courant ; pour sécuriser l'intervention des sapeurs-pompier et garantir la sécurité des personnes présentes dans le bâtiment, il est essentiel de couper l'installation au plus près des panneaux.
- Hormis avec des appareillages spécialement dédiés, ne pas chercher à ouvrir le circuit PV : il y a un risque d'arc électrique très dangereux.
- Les dispositifs de protection de l'installation en situation non dégradée sont définis par la norme. Il est important de savoir les reconnaître pour agir rapidement et efficacement. C'est l'objet de la partie C.



# SOLUTIONS POUR PROTÉGER L'ACTION DES SAPEURS-POMPIERS

En présence de photovoltaïque, les sapeurs-pompiers peuvent agir en toute sécurité dans les locaux et dégagements accessibles aux occupants une fois que l'installation est coupée de réseau public de distribution en courant alternatif et sécurisée vis-à-vis du champ photovoltaïque et de l'éventuelle batterie d'accumulateurs.

En C1, nous allons expliquer comment **couper** l'installation électrique du réseau public (*a.c.*).

En C2, nous exposerons les diverses **dispositions constructives** qui permettent de protéger une installation photovoltaïque.

En C3, nous exposerons les **dispositions de coupure** permettant de sécuriser les dégagements accessibles aux occupants vis-à-vis des circuits *d.c.*.

En C4, nous évoquerons le cas des installations PV *d.c.* dans lesquelles la **tension est maintenue inférieure à 60 V**.

En C5, nous aborderons enfin les **dispositions complémentaires** qui permettent de protéger les pompiers à **proximité immédiate des éléments du générateur PV**.

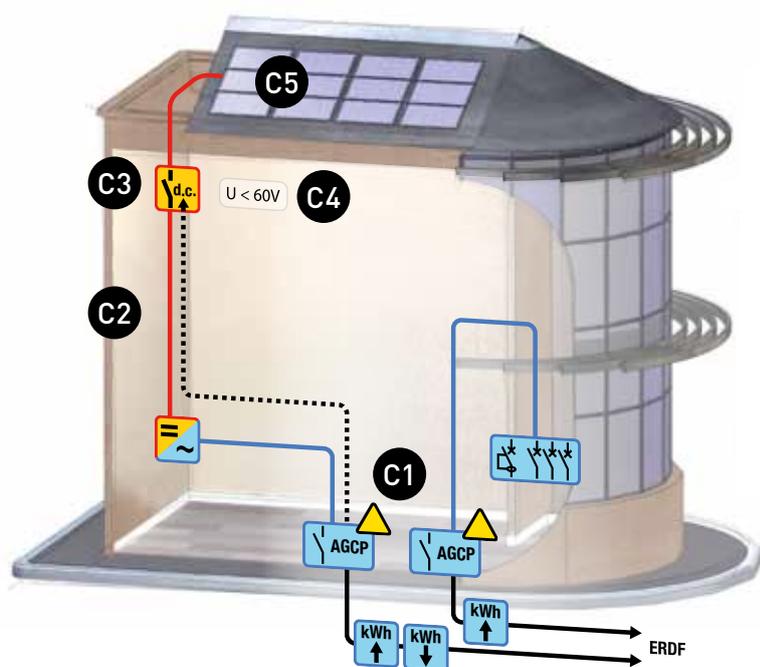


Fig. 22

## C1 Dispositions de coupure côté courant alternatif

Afin de prévenir des risques de choc électrique par contact direct en cas de sinistre ou de situation dégradée, la commande de la coupure pour intervention des services de secours côté courant alternatif (*a.c.*) est requise afin d'isoler les installations du réseau public de distribution ou d'une source autonome.

Dans une installation domestique, cette action est assurée par l'actionnement direct du ou des AGCP. Dans les établissements industriels ou commerciaux, cette action peut être télécommandée de façon centralisée.

Les cas de figure suivants sont à considérer :

### C1.1 Vente totale

L'installation comprend 2 AGCP : le premier sert à couper l'installation photovoltaïque et le second sert à couper l'installation d'utilisation.

Les commandes de coupure pour intervention des services de secours et des AGCP sont fréquemment **regroupées en un seul lieu**. Les étiquettes normalisées permettent d'identifier les 2 AGCP :

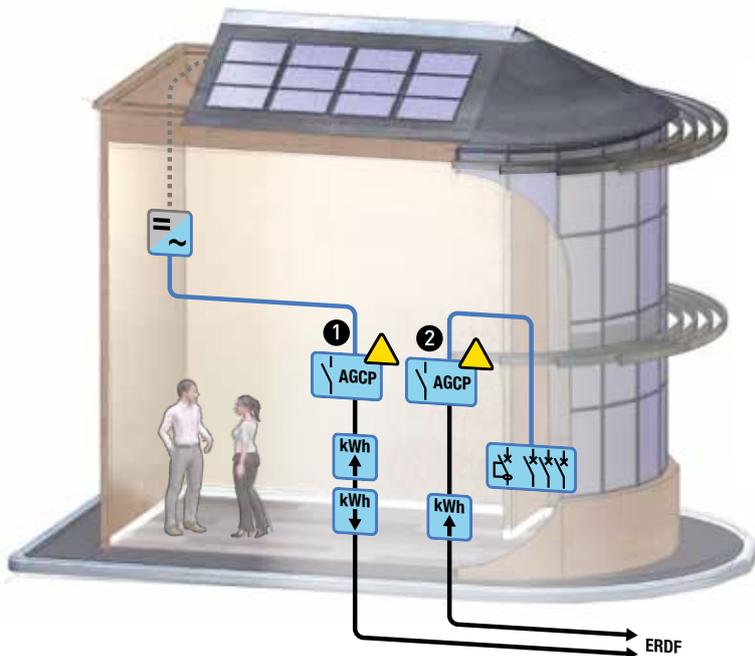


Fig. 23

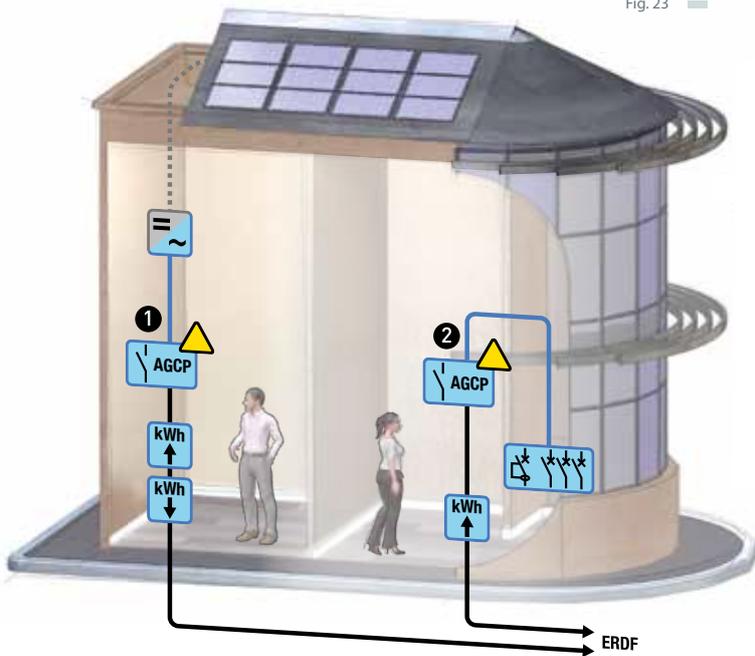
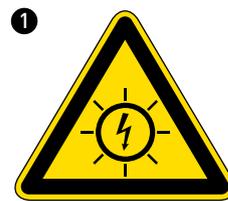


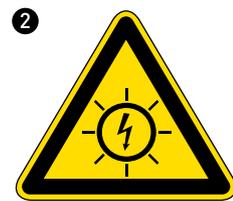
Fig. 24



Coupe photovoltaïque

Ce groupe d'étiquettes signale l'AGCP de production qui va isoler **l'installation PV coté a.c.** du réseau de distribution.

Un autre appareil de coupure (l'AGCP de consommation) est à actionner pour isoler les utilisations du site du réseau de distribution.



Production photovoltaïque

Coupe réseau de distribution

Ce groupe d'étiquettes désigne l'AGCP de consommation qui va isoler **les utilisations du site** du réseau de distribution.

Un autre appareil de coupure (l'AGCP de production) est à actionner pour isoler l'installation PV coté *a.c.* du réseau de distribution.

Il se peut cependant que ces commandes de coupure ne soient **pas regroupées en un seul lieu**, notamment si l'installation est de type domestique. Dans ce cas de figure, il est impératif de rechercher le second AGCP dans un local distinct de celui dans lequel vous avez trouvé le premier.

### C1.2 Vente partielle

L'installation comprend un seul AGCP. Les commandes de la coupure pour intervention des services de secours et de l'AGCP sont **centralisées**.



Coupure réseau de distribution et photovoltaïque

Ce groupe d'étiquettes identifie l'AGCP et signale que la commande de coupure pour intervention des services de secours va isoler **les utilisations et l'installation PV coté a.c.** du réseau de distribution.

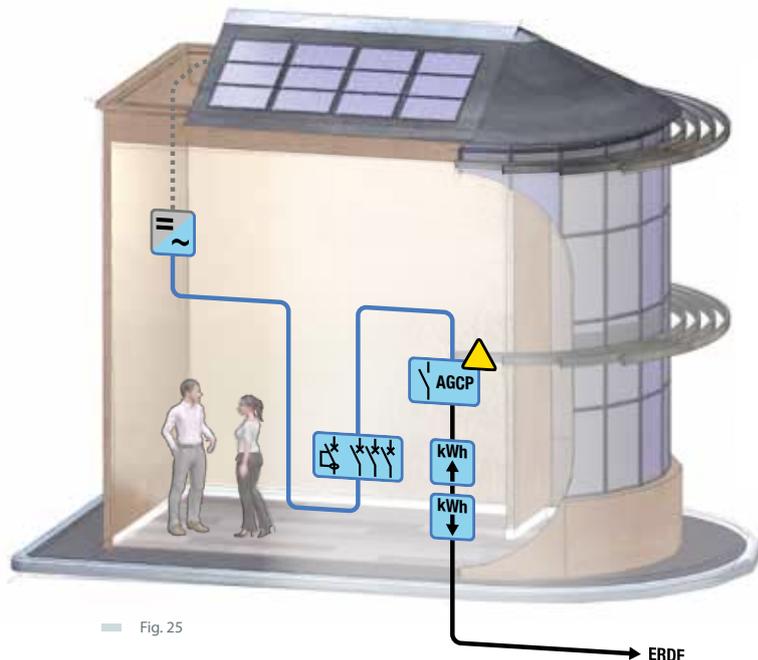


Fig. 25

### C1.3 Installation autonome

L'installation comprend un seul AGCP. En sortie de l'onduleur, les commandes de la coupure pour intervention des services de secours et de l'AGCP sont **centralisées**.

N.B. : Dans cette configuration, la coupure de l'AGCP entraîne la mise hors de tension de l'installation d'utilisation, mais pas la déconnexion automatique de l'onduleur.



Production autonome

Coupure utilisation a.c.

Ce groupe d'étiquettes identifie l'AGCP et signale que le site n'est pas raccordé au réseau de distribution publique. L'AGCP va isoler **les installations coté a.c.**

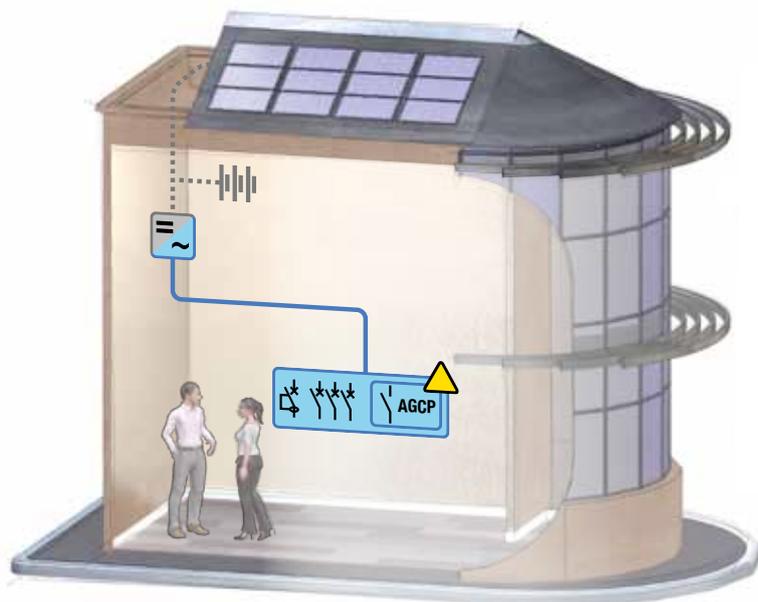


Fig. 26

## C2 Dispositions constructives visant à protéger l'installation photovoltaïque

Les textes réglementaires préconisent des solutions « constructives » qui assurent aux occupants des locaux accessibles la mise hors de portée effective des câbles *d.c.*, même en cas de sinistre.

Dans tous les cas de figure présentés ci-après, aucune tension *d.c.* dangereuse n'est présente dans les locaux normalement occupés ; de ce fait,

l'établissement est sécurisé uniquement à l'aide des appareillages de coupure *a.c.* décrits en C1.

Lors de la coupure de l'AGCP coté *a.c.* de la production PV, l'onduleur va se déconnecter automatiquement et assurer la mise hors de tension de sa canalisation *a.c.* en sortie jusqu'à l'AGCP.



Fig. 27

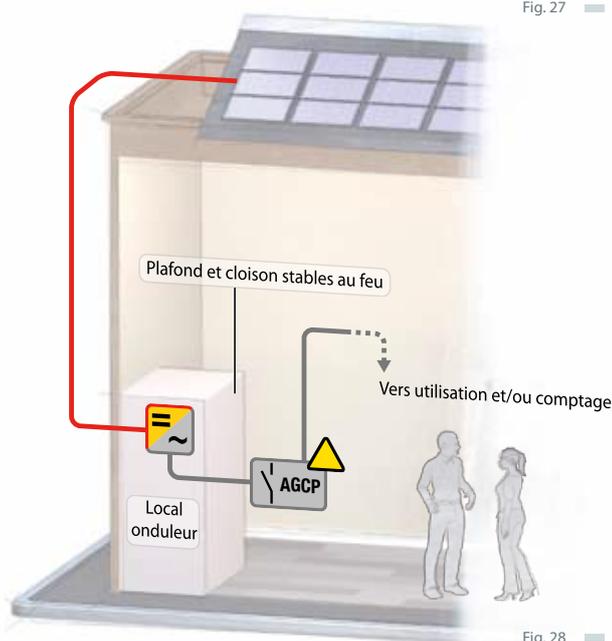


Fig. 28

### C2.1 Circuit *d.c.* PV à l'extérieur du bâtiment

Dans ce cas de figure, la partie *d.c.* ne présente aucun danger pour les occupants et les services de secours. Deux variantes sont possibles :

#### ..... *L'onduleur est situé à l'extérieur, à proximité des modules*

Le circuit *d.c.* PV (partie rouge de l'illustration ci-contre) est très court, limité aux abords immédiats des modules PV. Cette configuration est signalée par l'étiquette\* suivante, qui doit se trouver à proximité de l'AGCP de l'installation PV :

Câble *d.c.* PV et onduleur(s) sous tension à l'extérieur du bâtiment

#### ..... *La canalisation *d.c.* PV est à l'extérieur, l'onduleur est dans un espace séparé*

Le circuit *d.c.* PV (partie rouge de l'illustration ci-contre) court jusqu'au local onduleur au moyen d'une canalisation qui ne pénètre à aucun moment dans le bâtiment. Cette configuration est signalée par l'étiquette\* suivante, qui doit se trouver à proximité de l'AGCP de l'installation PV :

Câble *d.c.* PV sous tension à l'extérieur du bâtiment

(\*) Signalétique mise en place en janvier 2014 pour les ERP dans un premier temps.

### C2.2 Canalisation d.c. PV dans un CTP, onduleur dans un espace séparé

Dans cette configuration, les canalisations d.c. passent à l'intérieur des locaux normalement occupés, mais elles sont mises en œuvre dans un Cheminement Technique Protégé (CTP). Cette configuration est signalée par l'étiquette suivante, qui doit se trouver à proximité de l'AGCP de l'installation PV :

Câble d.c. PV sous tension dans les parties accessibles au public sous chemin technique protégé

Si aucune stabilité au feu n'est exigée pour le bâtiment, les parois verticales, le plancher haut du local onduleur et la CTP présentent un REI\* 30 au minimum.

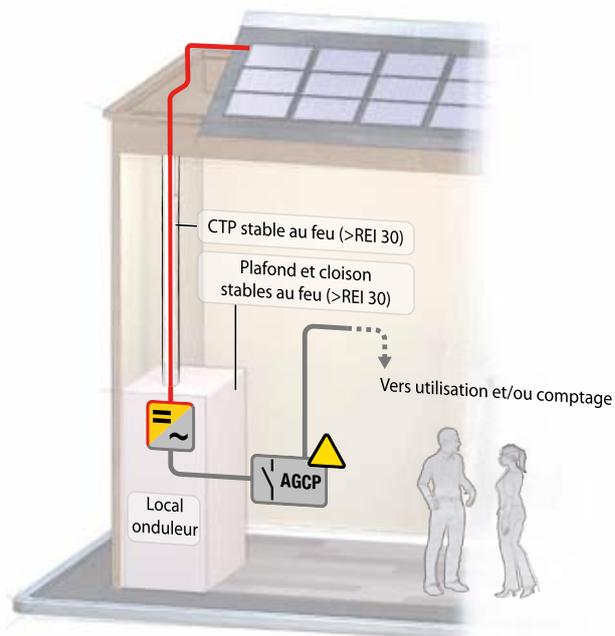


Fig. 29

### C2.3 Canalisation d.c. PV et onduleur dans un espace séparé

Dans cette configuration, les canalisations d.c. passent à l'intérieur du bâtiment, mais pas dans les locaux normalement occupés. Cette configuration est signalée par l'étiquette suivante, qui doit se trouver à proximité de l'AGCP de l'installation PV :

Câble d.c. PV sous tension uniquement dans le local onduleur

Si aucune stabilité au feu n'est exigée pour le bâtiment, le plancher bas de cet espace présente un REI\* 30 au minimum.

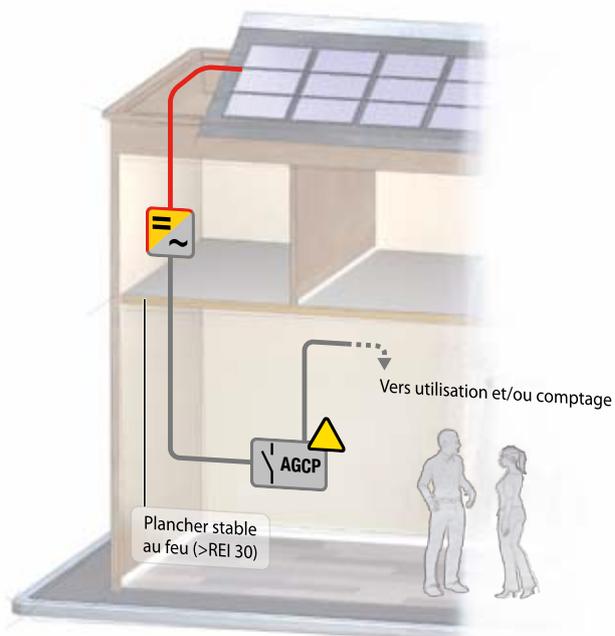


Fig. 30

(\*) REI : Résistance / Etanchéité / Isolation au feu

## C3 Dispositions de coupure pour sécuriser les dégagements accessibles aux occupants vis-à-vis des circuits d.c.

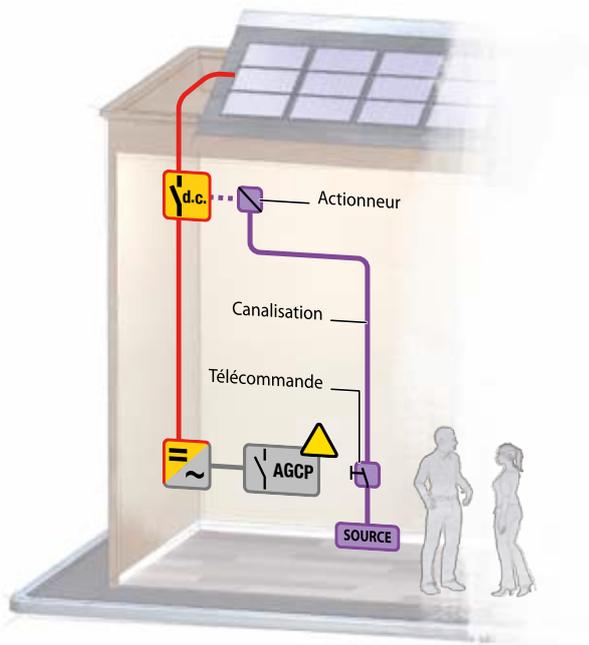


Fig. 31

### C3.1. Dispositions de coupure

Une coupure électromécanique des câbles d.c. peut être intégrée dans un coffret dédié ou encore dans la boîte de regroupement et de contrôle des chaînes de modules photovoltaïques située en amont de la zone occupée, au plus près des modules.

**Important : la coupure doit s'effectuer à l'aide d'un dispositif électromécanique. Car un principe de coupure électronique (semi-conducteur) n'assure pas une isolation suffisante pour garantir la sécurité contre les contacts directs.**

L'actionnement de l'appareil de coupure est assuré soit par manœuvre directe (poignée, perche, etc.), soit par télécommande (électrique, pneumatique ou autre).

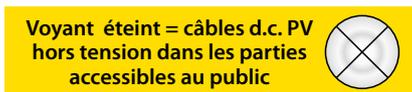
Les dispositifs de commande ou télécommande des différents appareils de coupure pour intervention doivent être clairement identifiés et regroupés. Une signalisation efficace doit être assurée à proximité pour informer de l'actionnement et de la position effective des appareils de coupure afin de confirmer aux secours de la mise en sécurité de la zone d'intervention.

Energie	Type de source	Canalisation	Actionneur	
			Sécurité positive	Non
Électrique	Normal (secteur)	Câble électrique	Bobine à manque de tension	<del>X</del>
	Normal et Secouru (AES)	Câble électrique CR1	<del>X</del>	Bobine à émission de courant ou moteur
Pneumatique	Réseau d'air comprimé	Cuivre / acier	Vérin	<del>X</del>
	Cartouche gaz	Cuivre / acier	<del>X</del>	Vérin

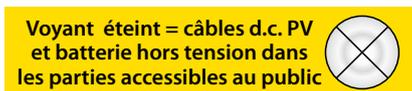
Tableau 5 : Principe de télécommande

### C3.2. Coupure télécommandée

La présence d'une des deux étiquettes ci-dessous indique que l'établissement peut être sécurisé de façon télécommandée pour qu'aucune tension *d.c.* dangereuse ne soit présente dans les locaux normalement occupés.



La sécurisation est assurée par la télécommande de la coupure des câbles *d.c.* PV en amont des locaux accessibles aux occupants.



La sécurisation est assurée par la télécommande de la coupure des câbles *d.c.* PV et de la batterie éventuelle en amont des locaux accessibles aux occupants.

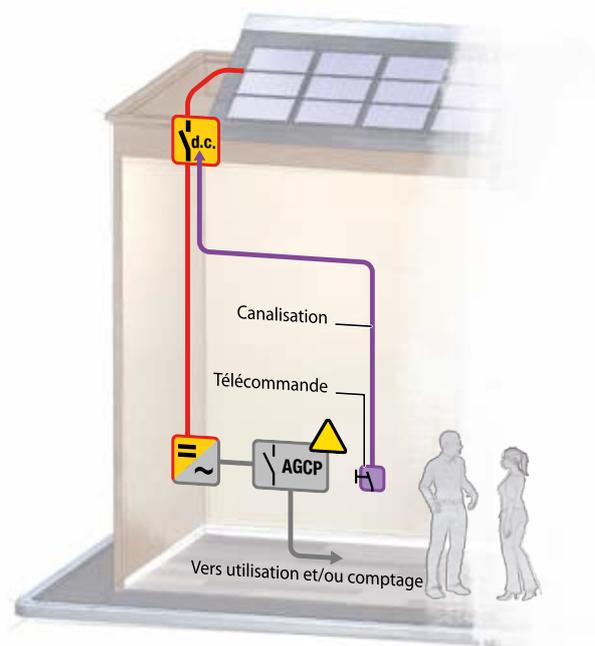
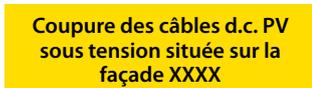


Fig. 32

### C3.3. Coupure directe extérieure

La présence de l'étiquette ci-dessous indique que l'établissement peut être sécurisé à l'aide d'un appareillage accessible de l'extérieur pour qu'aucune tension *d.c.* dangereuse ne soit présente dans les locaux normalement occupés.



La sécurisation est assurée par la commande directe d'un appareil accessible de l'extérieur qui assure la coupure du circuit *d.c.* PV avant que les câbles ne pénètrent dans les locaux accessibles aux occupants.

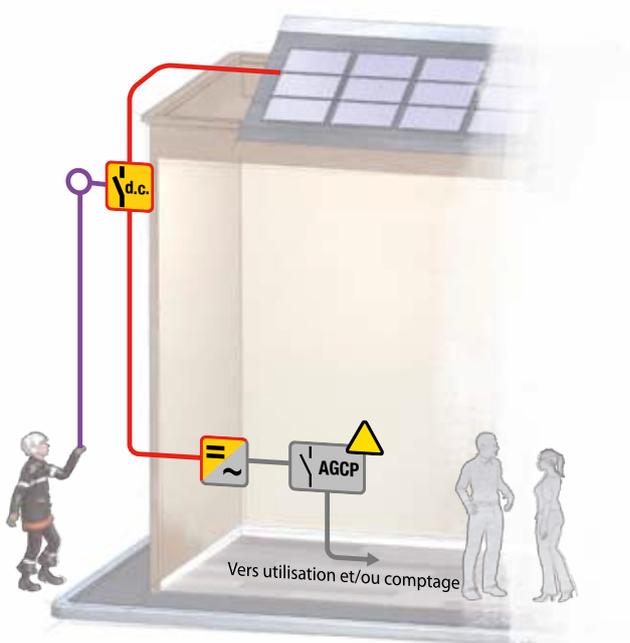


Fig. 33

## C4 Installations photovoltaïques avec tension PV d.c. maintenue inférieure à 60 V

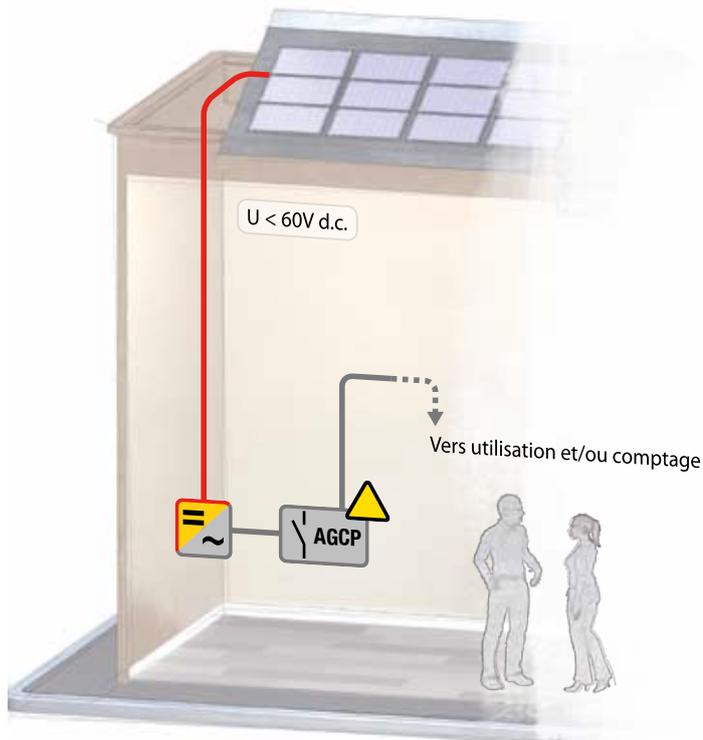


Fig. 34

Il est techniquement possible de concevoir des installations photovoltaïques au sein desquelles la tension d.c. reste partout inférieure à 60 V. Nous avons vu en B1.2 qu'en-dessous de cette valeur maximale appelée « tension limite conventionnelle de contact » (symbole UL), la tension de contact peut être maintenue indéfiniment sans danger pour les personnes. La partie d.c. de ces installations PV ne présente donc pas de danger en cas de contact direct.

Cette configuration est signalée par l'étiquette suivante, qui doit se trouver à **proximité de l'AGCP de l'installation PV** :

Câble d.c. PV sous tension inférieure à 60 V dans les parties accessibles

Dans les bâtiments équipés de ce type d'installation, la coupure a.c. présentée en C1 suffit à sécuriser les locaux normalement occupés.

## C5 Dispositions complémentaires

Dans la zone non accessible habituellement (non fréquentée par les occupants mais accessible par les sapeurs-pompiers), si des dispositions constructives n'ont pu être mises en œuvre (cheminements réservés, etc.) et si les services de secours exigent de la traverser en passant à proximité immédiate des éléments du générateur PV pour accéder aux locaux et dégagements accessibles aux occupants, il peut être demandé d'installer localement des dispositions complémentaires qui vont limiter la tension au plus à 60 V d.c. en amont de la coupure définie en C3.

Pour atteindre cet objectif, il existe notamment deux solutions :

- **Fractionner le circuit au sein d'une chaîne de modules.** Dans ce cas, plusieurs dispositifs de coupure électromécanique sont insérés dans une chaîne de modules PV pour réaliser des tronçons dans lesquels la tension est inférieure ou égale à 60 V d.c. (voir fig. 35).
- **Abaisser par court-circuitage la tension dans une chaîne de modules.** Dans ce cas, les appareils de court-circuitage électromécanique ou électronique sont soit intégrés par tronçons d'une tension au plus égale à 60 V d.c., soit intégrés individuellement aux modules dépassant les 60 V d.c..

La commande de ces systèmes de sécurisation complémentaire est identifiée et regroupée avec les autres appareils de coupure pour intervention des services de secours. La signalisation est assurée par l'étiquette complémentaire suivante :

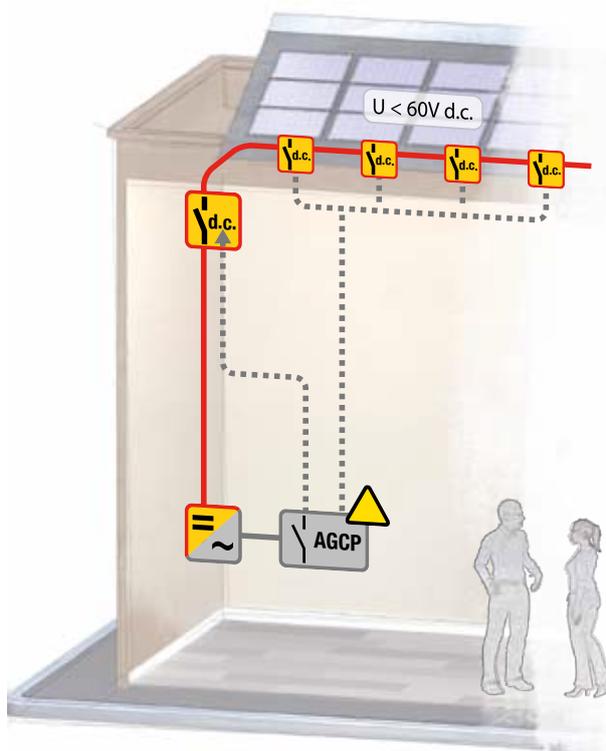
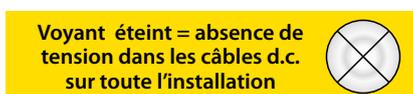


Fig. 35



## L'ESSENTIEL DE LA PARTIE C

Pour intervenir en toute sécurité, il est nécessaire :

a) d'avoir coupé le ou les raccordements au réseau côté distribution publique ;

b) d'avoir mis hors tension la partie générateur photovoltaïque, si la tension PV dépasse 60 V *d.c.*.

Ceci s'obtient soit en coupant les câbles *d.c.* au plus près des modules, soit en s'assurant que des dispositions constructives ont été mises en place pour mettre hors de portée les canalisations *d.c.*.



# ADOPTER LES BONNES PRATIQUES EN INTERVENTION

**Dans cette partie D, nous proposons des dispositions pratiques pour prendre en compte la présence d'une installation photovoltaïque dans la conduite des opérations des services publics de secours.**

Ces dispositions sont organisées selon la séquence indiquée sur l'illustration ci-contre.

Elles sont à considérer en fonction des doctrines en place dans les SDIS et ne peuvent être considérées comme des exigences réglementaires.

Traitement de l'alerte

Evaluation du risque photovoltaïque sur la zone d'intervention

**Conduite des opérations en présence d'une installation photovoltaïque sous tension**

- 1 - Installation sinistrée ou sinistrable
- 2 - Sécurisation de l'installation
- 3 - Installation non dégradée et non sinistrable

Déblai et désengagement des services publics de secours



## D1 Traitement de l'alerte

La prise d'appel du requérant est la première étape permettant de rechercher la présence d'une installation photovoltaïque sur la zone d'intervention. Cette recherche doit être réalisée plus particulièrement sur les types de sinistres suivants :

- Feu de structure
- Feu d'origine électrique
- Matériau menaçant de tomber
- Destruction d'insectes
- Epuisement de locaux (inondations)

Si la présence d'une installation PV sur la zone d'intervention est identifiée à la prise d'appel, elle doit être mentionnée sur l'information d'alerte. La valise électro-secours (conforme à la préconisation de la NIO) doit être emportée et ErDF (ou le gestionnaire de réseau de distribution selon le cas) doit être prévenu.



### ACTIONS



- Mentionner la présence d'installation photovoltaïque lors de la transmission de l'alerte vers les Centres de Secours.
- Prendre les équipements de protection individuelle et les valises électro-secours.
- Alerter ErDF, le gestionnaire de réseau de distribution (GRD) et/ou un électricien averti.

## D2 Evaluation du risque photovoltaïque sur la zone d'intervention

Si l'information d'alerte ne fait pas état de la présence d'une installation photovoltaïque, les reconnaissances conduites doivent être l'occasion de rechercher la présence des organes ou de signalétique PV :

À l'extérieur du bâtiment :

- Identifier la présence de panneaux PV (*rappel de la partie A : « au-delà de 5m<sup>2</sup>, il est à considérer que l'on est en présence de PV »*).
- Si la toiture n'est pas visible du sol, les reconnaissances aériennes doivent être l'occasion de vérifier la présence de capteurs PV sur la couverture.

À l'intérieur du bâtiment, rechercher :

- la présence de signalétique a.c. :



Coupe photovoltaïque



Production photovoltaïque  
Coupe réseau de distribution

- la présence éventuelle des deux AGCP (voir photo du haut) ;

- la présence de signalétique onduleur (\*) :



Attention  
Présence de deux sources de tension  
- Réseau de distribution  
- Panneaux photovoltaïques



Isoler les deux sources avant toute intervention

À l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment (à limite de concession ErDF), rechercher la signalétique ErDF ou du GRD (généralement présente sur toute installation raccordée au réseau, voir photo de droite).

**La découverte d'un des éléments précités signifie qu'une installation PV est présente sur la zone d'intervention. Celle-ci doit être considérée sous tension jusqu'à la réalisation des opérations de mise en sécurité décrites au § 3.2.**

(\*) Signalétique mise en place en janvier 2011



— Présence de deux AGCP signalée par les étiquettes normalisées



— À gauche : présence d'un onduleur signalée par les étiquettes normalisées  
À droite : exemple de signalétique visible à la limite de la concession ErDF

### ACTIONS

- Rechercher la mention de présence PV à la lecture de l'ordre de mission
- Questionner l'occupant sur la présence éventuelle de PV
- Conduire la reconnaissance en recherchant la signalétique et les composants visibles de l'installation PV
- Constater de l'état de l'installation (sinistrée / sinistrable)

## D3 Conduite des opérations en présence d'une installation photovoltaïque sous tension

### D3.1. Installation sinistrée ou sinistrable

Lorsque la zone d'intervention comporte une installation PV – sinistrée ou sinistrable –, si des actions doivent être menées sans que la mise en sécurité de l'installation ait été réalisée, les dispositions mentionnées ci-après doivent être respectées.

Dans tous les cas, la mise en sécurité de l'installation doit être recherchée en parallèle de l'intervention sur le sinistre.



#### ACTIONS



- Annoncer la présence du risque électrique à tous les acteurs impliqués dans l'opération de secours.
- Rechercher la mise en sécurité de l'installation dès que possible (voir D3.2).
- Pour limiter les risques immédiats, agir en tenant compte des points d'attention particuliers :
  - arrosage
  - nacelle et échelles
  - éclairage
  - fusion des composants

● Action nécessitant une attention particulière

#### Arrosage et phase d'attaque du feu

L'arrosage d'un feu en présence d'une installation PV en défaut est une doctrine incontournable de traitement des sinistres.

L'usage d'une lance à jet droit est à écarter car, outre le risque électrique, cette pratique peut causer des dommages à l'ouvrage.

**Un sapeur pompier touchant simultanément une eau de ruissellement (sur l'installation PV en défaut) et un élément conducteur (échelle) est en danger de choc électrique.**

Arrosage avec eau claire ou eau de mer	Choc électrique	Effets potentiels
<b>Jet diffusé d'attaque (&gt;5 m)</b>	Non	Néant
<b>Jet direct</b>	Oui	Contractions musculaires
<b>Eau de ruissellement</b>	Oui	Fortes contractions musculaires et perturbations cardiaques

#### ACTIONS



- Utiliser une lance à jet diffusé d'attaque à plus de 5 m
- Ne pas utiliser de lance à jet direct
- Prendre garde aux eaux de ruissellement en contact direct avec l'installation PV



### Eclairages artificiels

Des essais ont démontré qu'un éclairage artificiel direct puissant peut générer une tension dangereuse dans l'installation PV.

#### ACTIONS



- Eviter l'éclairage direct des panneaux avec des projecteurs (halogène, diodes, ...)
- L'utilisation d'un ballon au phosphore placé à plus de 5 m des installations photovoltaïques (comme sur la photo ci-dessus) est à privilégier.

### Fusion ou sublimation des composants PV

À haute température, les composants des modules ou structures peuvent fondre et tomber sur les intervenants.

#### ACTIONS



- Prendre en compte le risque de chute de composants ou de matière en fusion dangereux à l'aplomb des structures PV.



### Nacelles et échelles

Tout contact d'une nacelle ou d'une échelle avec les panneaux PV peut conduire d'une part à l'endommagement des panneaux, d'autre part à l'électrisation des sapeurs-pompiers en contact. Le règlement ERP prévoit des distances minimales permettant de placer ces équipements en garantissant la sécurité des intervenants :

	Distance libre de tout contact PV
En toiture (cheminements)	0,9 m
En façade (entre élément PV et baies pompiers)	2 m

#### ACTIONS



- Eviter tout contact (nacelle, échelle, ..) avec les composants PV (panneaux, câbles, ...)
- Poser les échelles à coulisses sur les zones de réserve prévues

● Consigne stricte



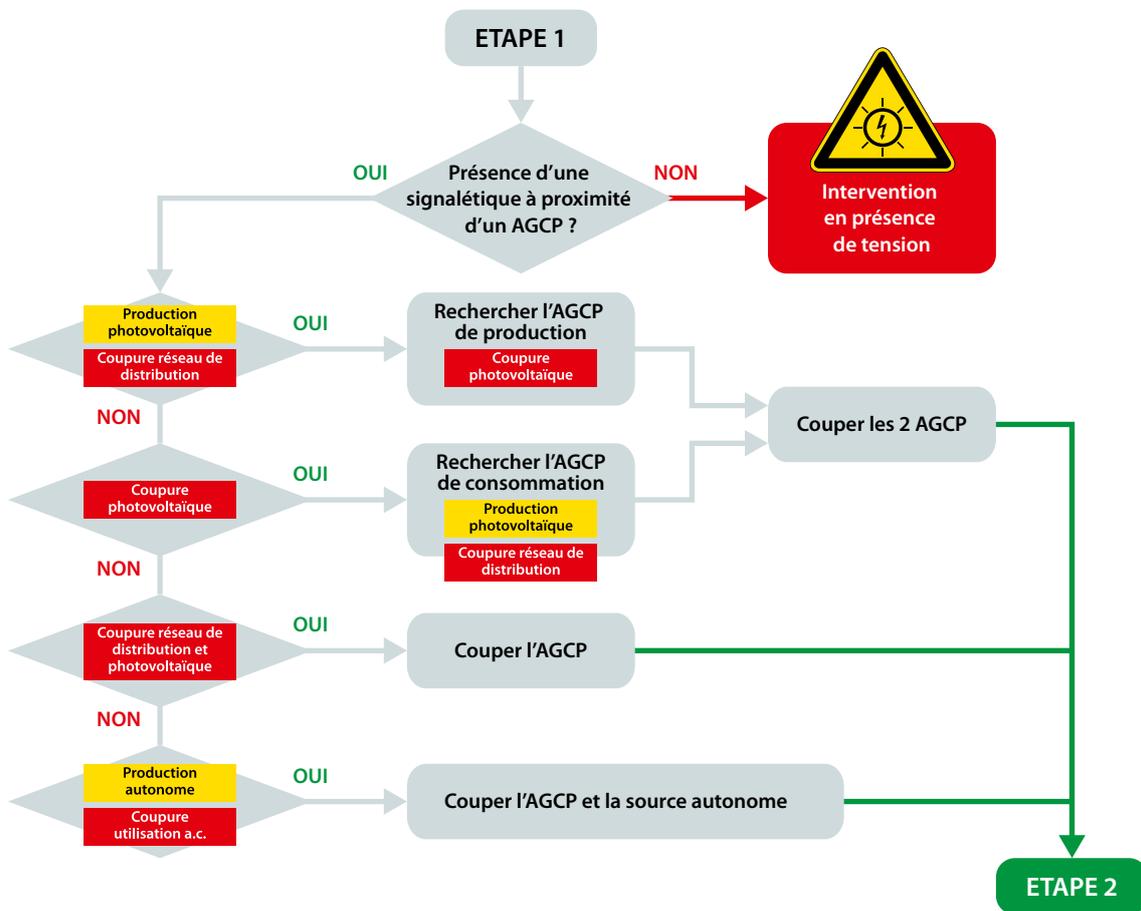
### D3.2. Sécuration de l'installation

Cette sécurisation s'appuie sur la mise en œuvre d'une signalétique associée à des dispositions normalisées décrites soit dans la première édition de la norme UTE 15 712-1 de 2010 et dans celle de 2013. Il est à noter qu'un grand nombre d'installations n'en sont pe ou pas équipées.

Ce principe de sécurisation s'articule dans un premier temps sur la coupure des parties a.c., dans un deuxième temps sur l'identification du principe de sécurisation coté d.c.. Si cette sécurisation n'est pas liée à une disposition constructive, en troisième phase c'est la coupure des parties d.c. qui devra être menée, voire en quatrième temps, la sécurisation complémentaire des parties amont.

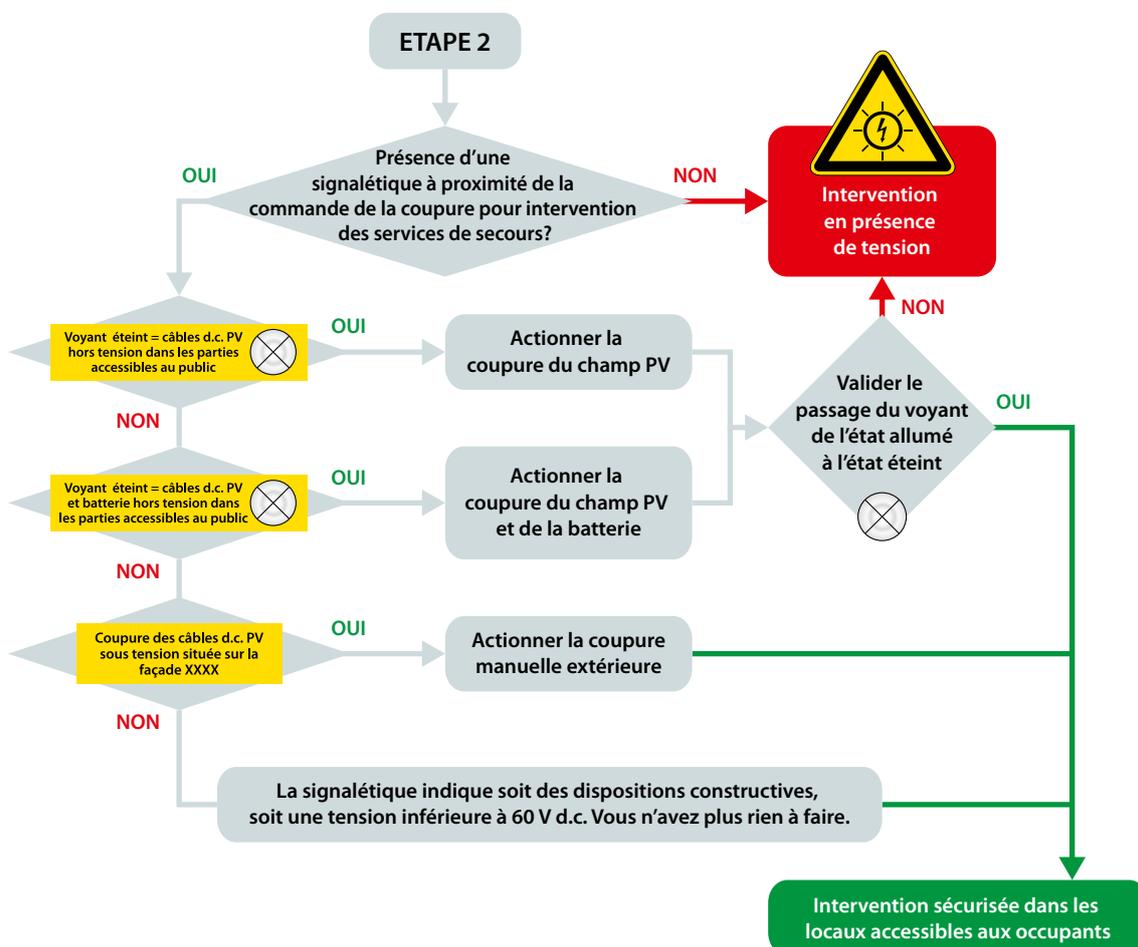
#### 1. Sécuration coté courant alternatif

Ainsi que nous l'avons vu en partie C1, plusieurs types d'installation peuvent être rencontrés. L'organigramme ci-dessous vous donne la marche à suivre pour agir quel que soit le cas de figure.



## 2. Sécurisation coté courant continu

Il s'agit de rechercher les éventuelles dispositions constructives et de protection de l'installation. L'organigramme ci-dessous vous donne la marche à suivre pour agir de façon exhaustive.



## 3. Sécurisation complémentaire au niveau des modules

Voyant éteint = absence de tension dans les câbles d.c. sur toute l'installation



Si l'actionnement de cette disposition entraîne le passage de l'état allumé à l'état éteint du voyant, l'intervention peut être considérée comme sécurisée dans toute l'installation amont.

## 4. Cas particulier des centrales PV au sol

En complément des dispositions ci-dessus, assurant les coupures d'énergie côté poste de transformation (a.c. et d.c.), limiter au domaine et aux actions ci-dessus.

## ACTIONS



- Informer l'exploitant et demander son intervention technique.
- Actionner les coupures accessibles.
- Conduire les actions de protection de personnes et de l'environnement.
- En présence de l'exploitant, d'autres coupures peuvent être menées pour limiter les désordres complémentaires.

### D3.3. Installation non dégradée et non sinistrable

Si l'installation est intacte et hors de portée du sinistre, il est admis que le risque électrique est nul. Néanmoins, l'intervention doit être conduite en tenant compte des points d'attention exposés ci-après.



#### Progression en toiture

Marcher sur les modules PV détériore les cellules et entraînera un dysfonctionnement ou une destruction dans le temps. En outre, les modules dotés d'une couche supérieure en verre sont très glissants.

#### Maintien de l'intégrité de l'installation PV

En tout état de cause, l'intervention des services de secours ne doit pas affecter une installation PV dans la mesure où cette dernière ne présente pas de danger pour les personnes et/ou l'environnement.

#### ACTIONS



- Eviter de progresser sur les modules.
- Utiliser le LSPCC et, si possible, une échelle de toit plate.

● Action nécessitant une attention particulière

#### ACTIONS



- Ne pas démonter les modules
- Ne pas manœuvrer la connectique (déconnexion)

## D4 Déblai et désengagement des services publics de secours

Le déblai est une phase sensible de l'opération durant laquelle l'exposition du personnel aux organes PV dégradés doit être la plus réduite possible.

**Cette phase ne doit être démarrée qu'une fois la sécurisation de l'installation assurée par un électricien spécialisé PV.**

Le déblai doit uniquement permettre de traiter les points chauds de manière à éviter les reprises d'incendie. Les dispositions consistant à bâcher les modules, les couvrir de mousse (ou compter sur une couche de neige) ne constituent pas des moyens de sécurisation effectifs.

**Le désengagement des services publics de secours ne doit être réalisé qu'après l'obtention des garanties suivantes:**

- L'installation PV ne présente plus de risque de blessure pour les personnes ou de risque de choc électrique ; l'utilisation d'un appareil permettant de s'assurer l'absence de tension (VAT) contribue à la maîtrise des risques (en attendant la confirmation par un technicien compétent).
- L'installation PV ne présente plus de risques d'échauffement des conducteurs ou d'arc électrique susceptibles de générer une nouvelle mise à feu.

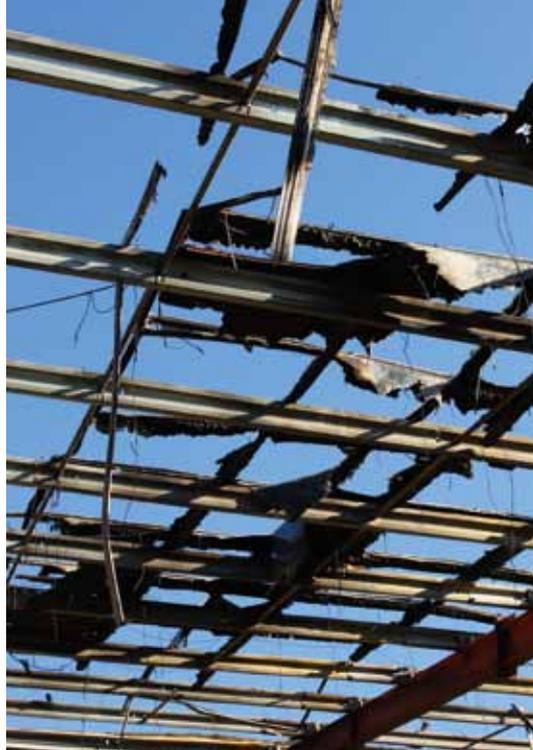
### Contact avec des pièces conductrices

En cas de destruction d'une canalisation *d.c.* PV sous tension, si les isolants se sont consumés, les pièces conductrices mises à nu présentent une tension mortelle.

#### ACTIONS

- Prendre en compte le risque électrique.
- Dans le doute, ne toucher aucune pièce conductrice.
- Prendre garde aux câbles en hauteur qui se seraient décrochés de leurs supports ou fixations.

● Action nécessitant une attention particulière



### Stabilité des modules PV

Fragilisés par un incendie, les supports des modules peuvent mener à un effondrement de la structure.

#### ACTIONS

- Prendre en compte le risque de chute de composants dangereux à l'aplomb des façades.

### Démontage de l'installation PV

Lors de l'ouverture de connecteurs ou de sectionnement de câbles *d.c.* PV, des arcs électriques peuvent survenir et provoquer de graves brûlures voire un choc électrique mortel. En outre, un arc électrique peut causer le redémarrage de l'incendie.

#### ACTIONS

- Privilégier l'intervention d'un électricien spécialisé PV.
- Valider éventuellement avec l'assureur du site la désignation et la prise en charge de cet accompagnement.
- Interdire le démontage des modules et des chaînes en l'absence de personnel compétent
- Ne pas endommager les modules
- Ne pas sectionner les câbles PV

● Consigne stricte



## L'ESSENTIEL DE LA PARTIE D

- La présence d'une installation photovoltaïque dans la zone d'intervention modifie le schéma classique de conduite des opérations de secours, notamment pour ce qui concerne la phase de mise en sécurité de la ZI.
- Malgré la multiplicité des schémas d'installations possibles, la capacité à reconnaître ce type d'installation ainsi que la connaissance des conduites à tenir (coupures électriques, adaptation de l'emploi des lances etc.) sont des éléments concourant à la sécurité des pompiers.
- La coupure de la source électrique ErDF est nécessaire dans tous les cas de figure, mais pas suffisante.
- L'accompagnement de l'intervention des services publics de secours et de lutte contre l'incendie par un électricien ayant des compétences PV doit être recherché.

Crédits photos

pages 10, 12, 13 (1, 3 et 4), 39 (3), 41 (1), 44 (2) et 46 : Transénergie

pages 40, 41 (2), 44 (1) et 45 : CEA - Nicolas Chaintreuil

page 38 (2) : CATU

page 15 (2) : Socomec

pages 3, 4, 13 (2) et 38 (1) : Fotolia

pages 39 (1 et 2) et 42 : Piano Forte

Conception - réalisation : PIANO FORTE [www.pianoforte.fr](http://www.pianoforte.fr)

Illustrations : deledda / [3zigs.com](http://3zigs.com)

Imprimé en juin 2013

# Remerciements

Ce document a pu être réalisé grâce aux contributions :

- du CEA et de l'INES : Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, Département des Technologies Solaires, Institut National de l'Energie Solaire
- du Gimélec (Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés),
- du Syndicat des Energies Renouvelables avec l'aide de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)

Les rédacteurs remercient tout particulièrement les institutions et les personnes qui ont bien voulu prêter leur concours à l'élaboration de ce document :

- La DGSCGC (Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises du Ministère de l'Intérieur)
- M. Adrien ZANOTO stagiaire ingénieur au près de la DGSC qui a initié cette approche.
- Les SDIS (Services Départementaux d'Incendie et de Secours)
- Les Sapeurs Pompiers de Paris
- Les Marins-Pompiers de Marseille

