

Louis-Paul Hayoun & Aurian Arrigoni

# Les installations photovoltaïques

Conception et dimensionnement des installations raccordées au réseau

© Groupe Eyrolles, 2010, ISBN : 978-2-212-12994-6

**EYROLLES**



# Sommaire

INTRODUCTION.....	1
<b>PARTIE I</b>	
CADRE ÉCONOMIQUE ET ADMINISTRATIF.....	3
<b>1  MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....</b>	<b>4</b>
COMPOSANTE ÉLECTRICITÉ.....	4
COMPOSANTE BÂTIMENT.....	10
L'APPELLATION QUALI'PV.....	17
ÉTAPES D'UN CHANTIER PHOTOVOLTAÏQUE.....	17
<b>2  INTÉGRATION ARCHITECTURALE.....</b>	<b>25</b>
GÉNÉRALITÉS.....	25
TOITURE INCLINÉE.....	29
TOITURE À FAIBLE PENTE.....	31
INTÉGRATION SUR FAÇADES.....	34
CENTRALE AU SOL.....	39
<b>PARTIE II</b>	
PERFORMANCES D'UNE INSTALLATION PV RACCORDÉE AU RÉSEAU.....	41
<b>3  PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES.....</b>	<b>42</b>
LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE.....	42
LE MODULE PHOTOVOLTAÏQUE.....	51

<b>4</b>	<b>LES ONDULEURS</b> .....	58
	RÔLE DE L'ONDULEUR.....	58
	PERFORMANCE D'UN ONDULEUR.....	67
	LIRE UNE FICHE TECHNIQUE D'ONDULEUR.....	73
<b>5</b>	<b>L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE</b> .....	87
	GISEMENT SOLAIRE.....	87
	QUALITÉ D'UNE INSTALLATION PVR.....	96
	PRODUCTION D'UNE INSTALLATION.....	104
	OMBRAGES.....	107

### **PARTIE III**

---

	<b>DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PV RACCORDÉE AU RÉSEAU</b> .....	119
<b>6</b>	<b>DIMENSIONNEMENT DE LA PARTIE CC</b> .....	120
	SCHÉMA ÉLECTRIQUE.....	120
	DIMENSIONNEMENT DES ONDULEURS.....	123
	DIMENSIONNEMENT DES CÂBLES CC.....	130
	LES FUSIBLES CC.....	140
	PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS.....	144
	COUPURE ET SECTIONNEMENT.....	151
<b>7</b>	<b>DIMENSIONNEMENT DE LA PARTIE CA</b> .....	153
	SCHÉMA ÉLECTRIQUE.....	153
	CALIBRAGE DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES.....	157
	SECTIONS DES CÂBLES.....	169
<b>8</b>	<b>ÉTUDE DE CAS</b> .....	174
	OPTIMISATION DU CALEPINAGE.....	174
	DIMENSIONNEMENT ÉLECTRIQUE.....	178

ANNEXES.....	201
ANNEXE 1	
LE RELEVÉ DE MASQUE.....	202
LE GRAPHE DE LA COURSE DU SOLEIL.....	202
REPORTER LES OBSTACLES.....	204
INTERPRÉTER LE MASQUE SOLAIRE.....	209
ANNEXE 2	
FACTEUR DE FORME D'UNE CELLULE.....	211
ANALOGIE GÉOMÉTRIQUE.....	211
LE FACTEUR DE FORME.....	213
ANNEXE 3	
EFFET POINT CHAUD.....	215
COMPORTEMENT DE DEUX CELLULES EN SÉRIE.....	215
INVERSION DE POLARITÉ.....	218
ANNEXE 4	
COURANT RETOUR.....	219
GLOSSAIRE.....	222

# 1 | Méthodologie générale

## Composante électricité

Une installation photovoltaïque produit de l'électricité.

Le dimensionnement électrique d'une installation photovoltaïque fait appel à deux concepts :

- la performance de l'installation (traitée en détail dans le chapitre 4) ;
- la sécurité électrique (traitée en détail dans les chapitres 6 et 7).

Le processus du dimensionnement d'une installation photovoltaïque consiste donc à réaliser des choix techniques afin de respecter ces deux critères, en conformité avec les normes en vigueur.



### Différence entre norme et guide

Même si d'une manière générale, un guide est un document normatif à caractère informatif, dans le cas présent, le guide UTE C15-712-1 est un guide d'application des exigences de la norme NF C15-100 pour les installations photovoltaïques, la norme NF C15-100 étant elle-même d'application obligatoire. Par ailleurs, étant donné qu'il s'agit du seul référentiel existant et utilisé par le CONSUEL pour la délivrance de l'attestation du même nom, cela le rend de fait incontournable.

## Conformité électrique

### Normes applicables

Une installation photovoltaïque est, avant tout, une installation électrique. Elle doit, en ce sens, se conformer à l'ensemble des documents à caractère normatif dans le domaine de l'électricité. En France, l'Union technique de l'électricité (UTE) est l'organisme responsable de la normalisation des matériels et des installations électriques. L'UTE élabore, publie et diffuse les normes et les guides dans le domaine de l'électricité.

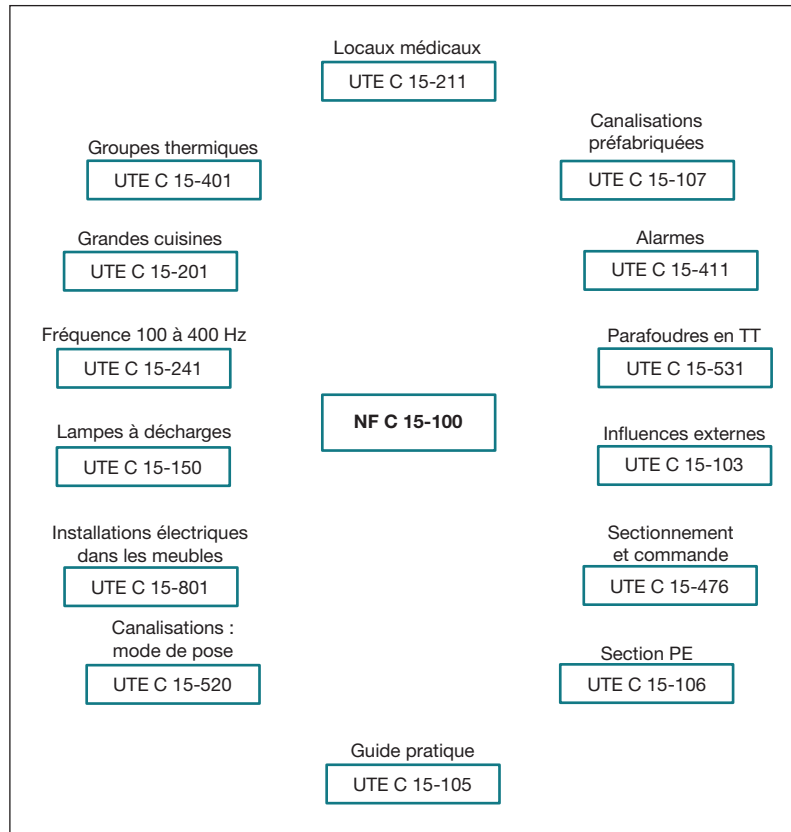
Concernant les installations photovoltaïques raccordées au réseau, deux documents techniques centraux sont à considérer :

- le guide de l'UTE C15-712-1 pour la partie continue (partie CC) ;
- la norme NF C15-100 pour la partie alternative (partie CA).

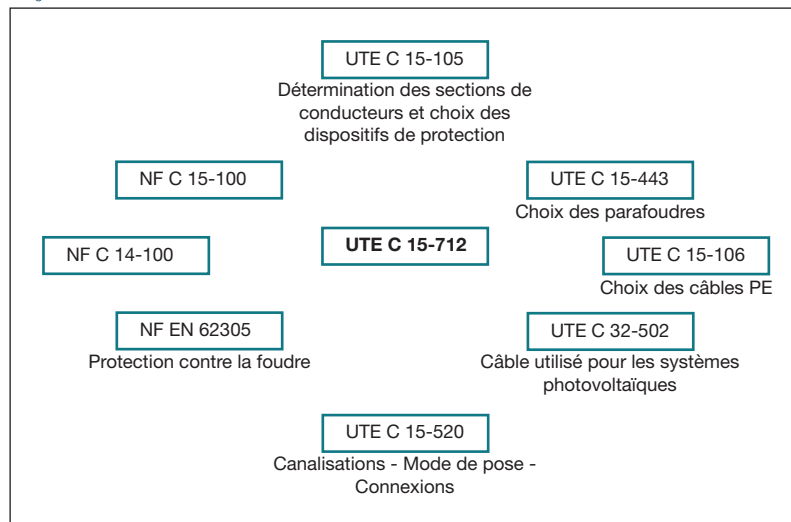
Ces deux documents techniques ne sont cependant pas suffisants pour concevoir et dimensionner une installation photovoltaïque dans les règles de l'art. En effet, chacun d'entre eux fait référence à d'autres normes et guides, ainsi qu'illustré sur les schémas ci-contre.

Le chapitre 6 et le chapitre 7 traitent respectivement du dimensionnement de la partie continue et de la partie alternative d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau. Le lecteur pourra s'y reporter pour toute information concernant ces sujets.

La norme NF C15-100.



Le guide de l'UTE C15-712.



## CONSUEL

Le CONSUEL est le Comité national pour la sécurité des usagers de l'électricité. Il s'agit d'une association, sous la tutelle des pouvoirs publics, dont le rôle est de vérifier la conformité électrique des installations électriques.

Depuis le 22 mars 2010, toute installation photovoltaïque raccordée au réseau doit être attestée conforme par le CONSUEL avant sa mise en service.

L'attestation de conformité du CONSUEL est devenue obligatoire suite à un rapport, produit par le CONSUEL lui-même, mentionnant : « La moitié, 51 % exactement, des installations photovoltaïques que nous avons contrôlées en France métropolitaine présentent des non-conformités. » Il est à noter que, parmi les non-conformités relevées, 53 % correspondaient à l'absence d'étiquetage.

## Sécurité électrique

L'électricité est, rappelons-le, très dangereuse. En France, chaque année, on dénombre plusieurs

milliers d'accidents corporels, dont au moins 200 sont mortels, et plus de 4 000 incendies.

Les modules photovoltaïques produisant de l'électricité dite continue, les électriciens ne sont pas rompus à ce type d'installation. La sécurité électrique d'une installation photovoltaïque est donc un élément à ne pas négliger.

## Les arcs électriques

### Les risques

Un arc électrique est le passage d'un courant dans un milieu isolant tel que l'air. Un arc électrique se produit d'autant plus facilement que deux parties conductrices sont proches.

Les arcs électriques se produisent généralement lors de l'ouverture d'un circuit électrique (ouverture d'un interrupteur).

Dans une installation photovoltaïque, des arcs électriques peuvent se produire dans les cas suivants :

- ouverture d'une chaîne photovoltaïque après mise en court-circuit de la chaîne. La mise en court-circuit de la chaîne se fait :

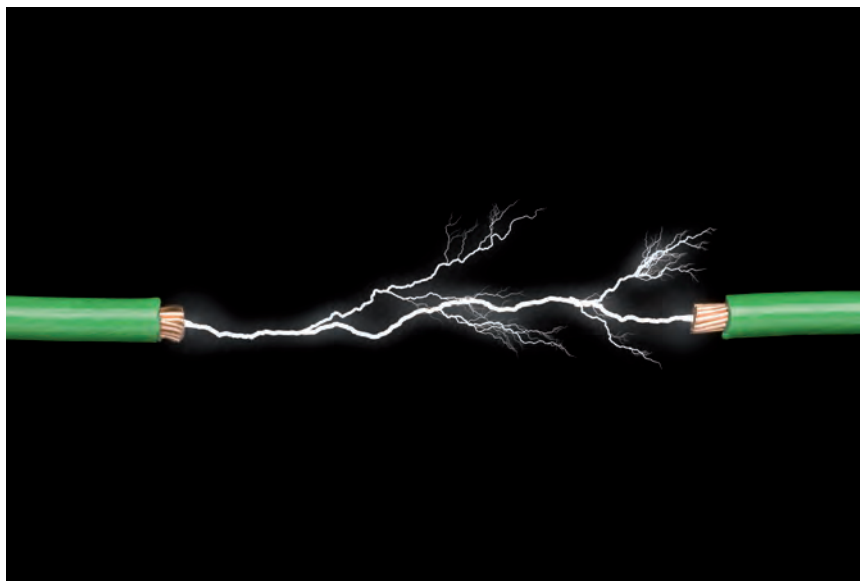


Illustration d'un arc électrique.  
© Kelpfish - Fotolia.com

- soit par imprudence lors du câblage,
- soit par usure des câbles (l'âme des conducteurs entre en contact) ;

- contact électrique défectueux. Par exemple, dans le cas de borniers à vis au niveau des coffrets électriques, si la vis est mal serrée, il peut se produire des arcs électriques.

Ils sont caractérisés par un fort dégagement de chaleur (la température est très élevée au niveau de l'arc), ce qui peut entraîner des accidents plus ou moins graves :

- incendies : les équipements électriques prennent feu ;
- brûlures : lors d'opération de maintenance ou pendant la phase des travaux, les intervenants sont susceptibles, s'ils ne sont pas formés, de créer des arcs électriques. La brûlure peut être directe (au niveau des mains et des avant-bras) ou indirecte (au niveau du visage par évaporation de l'âme du conducteur sous forme de micropoussières brûlantes, suite à la formation de l'arc électrique).

## Mesure de protection

Afin de protéger les biens et les personnes contre les arcs électriques, il est prévu plusieurs mesures de sécurité :

- en cas d'intervention, toujours couper l'installation. Le sens de coupure doit s'effectuer d'abord en coupant l'interrupteur du coffret CA (côté alternatif), puis en arrêtant l'onduleur, et enfin en ouvrant l'interrupteur CC (côté continu). La coupure de l'installation permet de supprimer tout courant, ce qui réduit le risque d'apparition d'arc électrique ;
- les câbles doivent être de type C2, c'est-à-dire non-propagateur de la flamme ;
- chaque couple de connecteurs mâle-femelle à assembler doit être de même type et de même marque. On s'assurera que la connexion est correctement réalisée ;

- les intervenants doivent être munis de gants et d'une protection faciale.

## Les risques d'électrocution

L'électrisation est le passage de courant électrique dans le corps humain. Lorsque cela entraîne le décès, on parle d'électrocution. L'électrisation a pour origine un contact direct ou un contact indirect. Le contact direct est l'action d'entrer en contact avec l'âme d'un conducteur du circuit



Connecteurs mal branchés susceptibles de produire des arcs électriques.



Connecteurs bien branchés.

électrique. Le contact indirect est l'action d'entrer en contact avec un objet qui est lui-même en contact direct avec l'âme d'un conducteur. Le courant et la tension dans un circuit peuvent être soit continus, soit alternatifs. Le corps humain





Gant isolant de protection.



Protection faciale.

est capable de supporter le passage d'un courant ou une mise sous tension (récapitulatif dans le tableau ci-dessous).

Compte tenu de la résistance électrique du corps humain ( $\approx 1\ 000\ \Omega$ ), il existe un seuil de tension potentiellement mortel pour l'homme, à savoir :

- 50 V alternatif (fréquence 50 Hz) ;
- 120 V continu.

Cette limite de tension permet de définir le domaine de la très basse tension et de la basse tension :

	Alternatif	Continu
Très basse tension (TBT)	$U < 50\text{ V}$	$U < 120\text{ V}$
Basse tension (BT)	$50\text{ V} < U < 1\ 000\text{ V}$	$120\text{ V} < U < 1\ 500\text{ V}$

Dans une installation photovoltaïque raccordée au réseau, le domaine de tension sera généralement toujours celui de la basse tension. Par conséquent, toute intervention sur ce type d'installation comporte un risque potentiellement mortel pour l'intervenant.

### Effets du courant électrique sur le corps humain

#### Courant alternatif 50 Hz

#### Effets électriques

0,5 mA	Seuil de perception - Sensation très faible
10 mA	Seuil de non-lâché - Contraction musculaire
30 mA	Seuil de paralysie - Paralysie ventilatoire
75 mA	Seuil de fibrillation cardiaque irréversible
1 A	Arrêt du cœur

#### Courant continu

#### Effets électriques

2 mA	Seuil de perception
130 mA	Seuil de fibrillation cardiaque
300 mA	Seuil d'inconscience

Il est à noter que le fait de couper l'installation photovoltaïque permet de supprimer tout courant dans le circuit. Cependant, les modules photovoltaïques, soumis au rayonnement diurne, fournissent toujours une tension dans le domaine de la basse tension ( $120 \text{ V} < U < 1\,500 \text{ V}$ ). Ainsi, tout contact entre la borne + et la borne - d'une chaîne photovoltaïque peut s'avérer mortel.

Sur l'exemple ci-dessous, la chaîne est constituée de neuf modules en série. Lorsqu'on coupe cette chaîne (ouverture de l'interrupteur), on coupe le courant :  $I = 0 \text{ A}$ . Cependant, les modules continuent à fournir une tension égale à la tension à vide  $U_{CO}$  (dont la valeur vaut typiquement  $30 \text{ V}$ ). Aux bornes de la chaîne, la tension est égale à la somme des tensions de chaque module, soit  $9 \times U_{CO}$ . Cette tension est potentiellement mortelle.

Ainsi, il est essentiel de se munir de gants isolants.

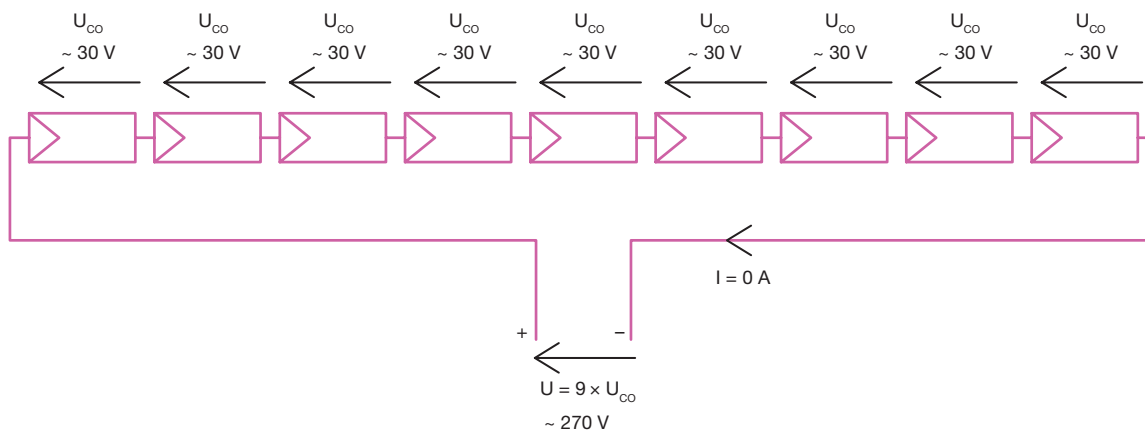
Au préalable, il est impératif de tester l'absence de tension sur les composants CC avant de toucher un quelconque composant du système. Le vérificateur d'absence de tension (VAT) permet de vérifier cette absence. Dans le cas d'une tension existante, les pratiques de travail sous tension doivent être adoptées (utilisation de gants et d'outils isolants, paillasse isolant).



Intervention sur un coffret électrique.

De même, afin d'éviter tout contact indésirable, on s'abstiendra d'effectuer des opérations électriques sur l'installation avec des personnes à proximité.

En outre, il est prévu, pour la réalisation des opérations électriques, que les intervenants présentent des aptitudes dans le domaine de la protection des personnes et des biens. Il est notamment préconisé que l'intervenant dispose de l'habilitation électrique de niveau BR.



Tension en circuit ouvert d'une chaîne photovoltaïque.

## Composante bâtiment

La pose des modules sur la toiture fait appel à des compétences de couvreurs et d'étancheurs.

### Couverture et étanchéité

Les documents techniques unifiés (DTU) contiennent les règles techniques relatives à l'exécution des travaux de bâtiment. Les DTU ont valeur de

normes. Ils sont reconnus et approuvés par les professionnels de la construction et servent de référence aux experts des assurances et des tribunaux. Leur non-respect peut entraîner l'exclusion des garanties offertes.

### Les DTU

Les DTU spécifiques à la couverture définissent les règles de mise en œuvre d'un élément de cou-

#### DTU applicables aux types de couvertures les plus fréquemment rencontrés

Couvertures métalliques	Étanchéité	Couverture de petits éléments
Bac acier nervuré DTU 40.35	Gros œuvre en maçonnerie des toitures destinées à recevoir un revêtement d'étanchéité DTU 20.12	Couverture en ardoises naturelles DTU 40.11
Bac aluminium nervuré DTU 40.36	Fascicule 3502 Étanchéité des toitures par membranes monocouches synthétiques en PVC-P non compatibles avec le bitume	Couverture en ardoises en fibres ciment DTU 40.13
Bac alu grande portée Avis techniques	Étanchéité sur bac acier DTU 43.3	Couverture en tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief DTU 40.21
Feuilles en zinc DTU 40.41	Étanchéité sur panneaux de bois DTU 43.4	Couverture en tuiles de terre cuite à emboîtement à pureau plat DTU 40.211
Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles en acier inoxydable NF DTU 40.44	Étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine DTU 43.1	Couverture en tuiles canal de terre cuite DTU 40.22
Feuilles en cuivre DTU 40.45	Mise en œuvre des toitures en tôles d'acier nervurées avec revêtement d'étanchéité NF DTU 43.3	Couverture en tuiles plates de terre cuite DTU 40.23
Travaux de couverture en plomb sur support continu DTU 40.46		Couverture en tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal DTU 40.24
Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues DTU 40.35		Couverture en tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal DTU 40.241
Couverture en plaques en aluminium prélaqué ou non DTU 40.36		Couverture en tuiles plates en béton DTU 40.25
Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles en zinc DTU 40.41		
Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles en cuivre DTU 40.45		

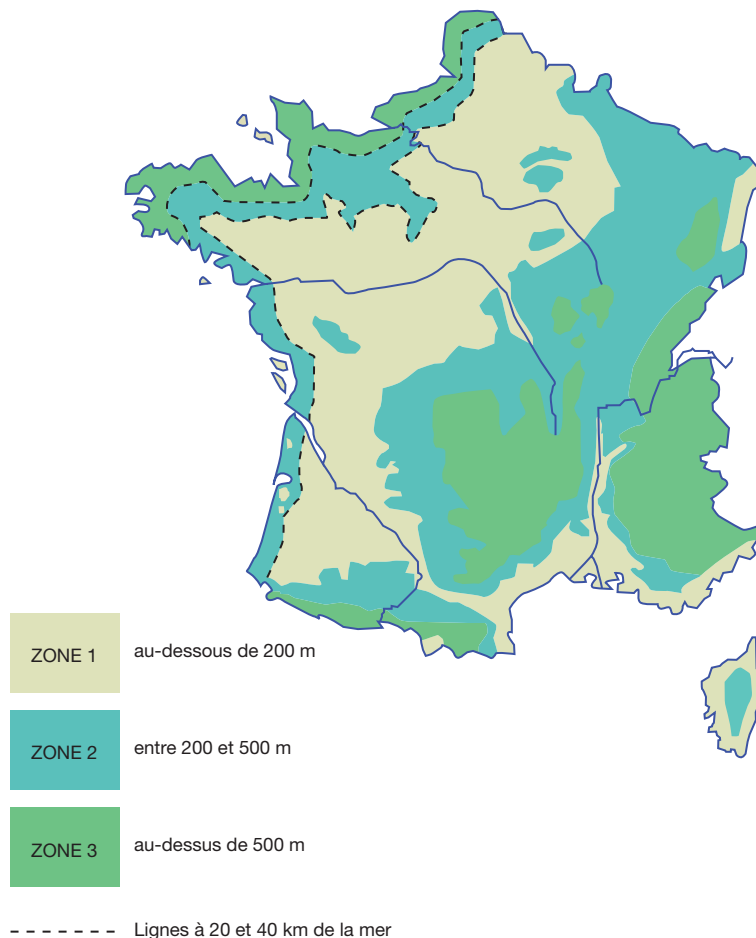
verture. Les DTU sont fournis par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

La mise en œuvre de modules photovoltaïques sur une toiture existante implique, pour l'entreprise qui réalise les travaux, la fourniture d'une garantie décennale qui s'appliquera non seulement sur la partie remplacée, mais plus généralement sur l'ensemble de la toiture existante. Ainsi, l'entreprise, avant de procéder aux travaux de modification de la toiture existante en vue de l'intégration du générateur ou même de sa pose en surimposition, devra s'assurer de la conformité de la toiture existante ainsi que de son bon état d'entretien général.

D'un point de vue général, les DTU définissent les règles de l'art et les conditions de mise en œuvre des matériaux en fonction des caractéristiques du site. Ces caractéristiques sont typiquement :

- les données climatiques de la zone géographique ;
- l'altitude ;
- l'exposition au vent ;
- la présence d'écran sous la toiture.

Ces quatre critères vont définir un certain nombre de propriétés que devra respecter la toiture, notamment sa pente minimale.



Exemple de carte de concomitance vent-pluie.

Les données climatiques sont fournies par des cartes de concomitance vent-pluie qui caractérisent des secteurs géographiques (en fonction de l'altitude). Ces cartes définissent des zones. Elles sont uniques par type d'élément de couverture. Par exemple, pour les tuiles dites « canal », la carte de concomitance vent-pluie est donnée page précédente.

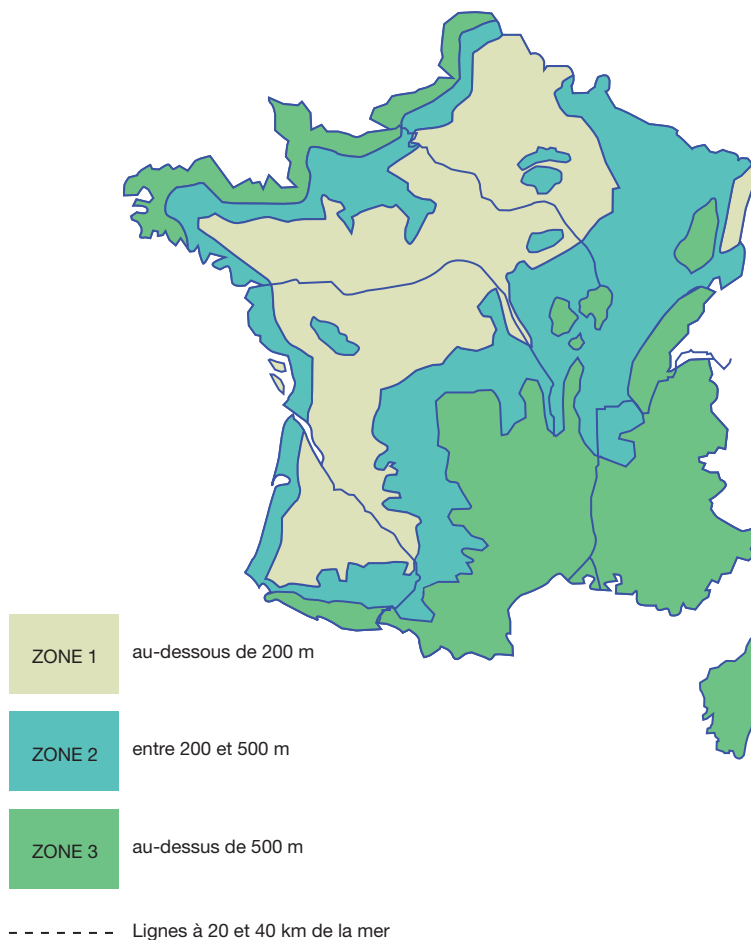
D'après cette carte, une implantation à Marseille située à une altitude supérieure à 500 m est associée à la zone 1.

Mais, si on met en œuvre de la feuille métallique, la carte est différente (et donnée ci-dessous).

Dans ce cas, l'implantation précédente correspond à la zone 3.

Pour chaque zone, l'étape suivante consiste à déterminer le taux d'exposition au vent. Celui-ci prendra en compte les effets du vent dominant sur le projet et permettra de classer le site en trois sous-catégorie :

- situation protégée : fond de cuvette entouré de collines sur tout son pourtour et ainsi protégé pour toutes les directions du vent. Terrain bordé de collines sur une partie de son pourtour correspondant à la direction des vents les plus violents et protégé pour cette direction de vent ;



Autre exemple de carte de concomitance vent-pluie.

- situation normale : plaine ou plateau pouvant présenter des dénivellations peu importantes, étendues ou non (vallonnements, ondulations) ;
- situation exposée :
  - au voisinage de la mer, soit littoral (jusqu'à 5 km), sommet des falaises, îles ou presqu'îles étroites, estuaires ou baies encaissées et profondément découpées dans les terres ;
  - à l'intérieur du pays : vallées étroites où le vent s'engouffre, montagnes isolées et élevées et certains cols.

Un autre des critères prévus par les DTU pour la mise en conformité des divers matériaux est la présence ou l'absence d'écran de sous-toiture.

Les quatre critères présentés permettent ainsi de définir les propriétés de la toiture. Par exemple, la pente minimale de la toiture est déterminée grâce à des tableaux (voir ci-dessous, les chiffres correspondent à des pentes exprimées en pourcentage – à titre d'exemple, 35 % signifie 35 cm d'élévation par mètre de projection horizontale).

Ainsi, à Marseille, zone 1, exposition au vent normal, sans écran, pour des tuiles grand moule



### Écran sous toiture

Un écran de sous-toiture peut être souple ou rigide et constitué soit d'un matériau en rouleau de type pare-pluie (perméable à la vapeur mais étanche à l'eau liquide) soit d'une plaque de bois (à emboîtement ou jointive), tels contreplaqué, OSB ou volige.

Il est posé entre le comble et la face interne des tuiles.

- Il permet l'abaissement des pentes de couverture dans une proportion de 1/7 de la valeur de pente sans écran.
- Il réduit l'aspiration entre les tuiles et donc le siphonage des éléments par l'équilibre des pressions et dépressions qui s'exercent de part et d'autre de la couverture.

Les écrans souples relèvent de l'Avis technique. Celui-ci précise les conditions de mise en œuvre en fonction des performances de l'écran.

L'écran souple est fixé tendu sur les chevrons et le niveau d'appui des liteaux est relevé par une contre-latte d'une épaisseur minimale de 20 mm, clouée sur la face supérieure du chevron. (Cahier du CSTB 3651-2 de janvier 2009).

conformes au DTU 40.21, il faut une pente minimale de 40 %.

Noter qu'en cas d'utilisation de tuiles sous avis technique la pente minimale peut être revue à la baisse.

## Connaître la pente minimale de la toiture

### Tuile catégorie grand moule

Sans écran	Zones d'application			
	Sites	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Protégé		0,35	0,35	0,50
Normal		0,40	0,50	0,60
Exposé		0,60	0,70	0,80

### Tuile catégorie petit moule

Sans écran	Zones d'application			
	Sites	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Protégé		0,40	0,50	0,60
Normal		0,50	0,60	0,70
Exposé		0,70	0,80	0,90

Avec écran	Zones d'application			
	Sites	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Protégé		0,30	0,30	0,45
Normal		0,45	0,45	0,50
Exposé		0,50	0,60	0,70

Avec écran	Zones d'application			
	Sites	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Protégé		0,35	0,45	0,50
Normal		0,45	0,50	0,60
Exposé		0,60	0,70	0,75



### Sous-classifications selon la longueur de projection du rampant

Certains types de couverture (DTU 40.21 par exemple) introduisent une sous-classification supplémentaire qui prend en compte la longueur de projection horizontale du rampant. Il s'agit en particulier de tuiles à emboîtement ou à glissement à relief sanctionné par un avis technique ou un DTA et valable uniquement pour les tuiles grand moule (moins de 15 tuiles par mètre carré).

Types de sous-classification :

- A : rampants jusqu'à 6,50 m de projection horizontale ;
- B : rampants supérieurs à 6,50 m et jusqu'à 9,50 m de projection horizontale ;
- C : rampants supérieurs à 9,50 m et jusqu'à 12 m de projection horizontale.

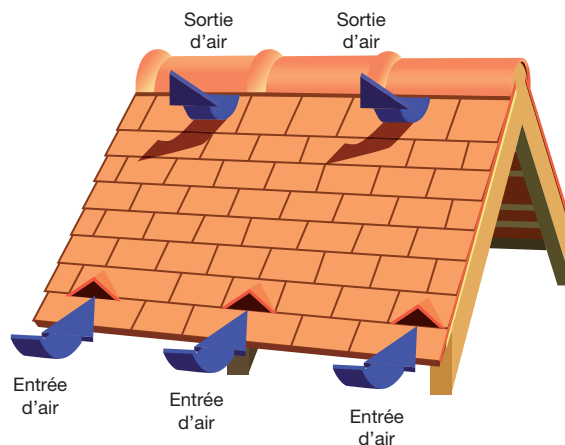
D'un point de vue général, le professionnel doit maîtriser les éléments techniques contenus dans le(s) DTU du toit qu'il s'apprête à modifier. Il est bien souvent possible d'obtenir une copie des DTU applicables dans sa région. En effet, les particularismes régionaux font que chaque région dispose d'un ou de deux types de toitures typiques que le professionnel local doit connaître.

### La ventilation de la toiture

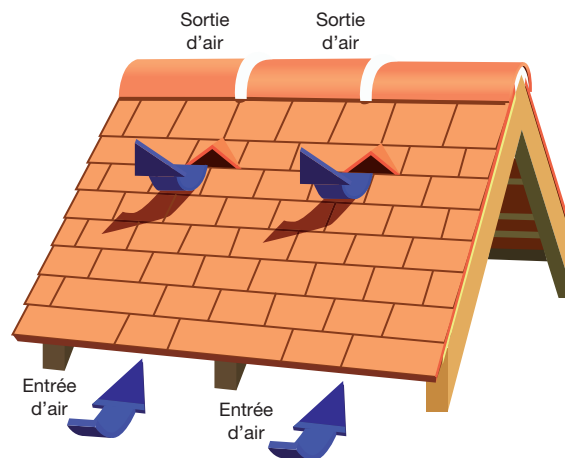
La ventilation est un élément essentiel de la qualité d'une toiture. En effet, il existe très souvent des zones mortes sous la toiture (exemple : les combles). Ces zones sont soumises aux variations de température et d'hygrométrie pouvant entraîner de la condensation (pourrissement, rouille des éléments de structure, dégradation de l'isolant thermique).

Pour lutter contre cela, une bonne ventilation s'impose. Les surfaces d'ouverture et les conditions minimales de cette ventilation sont définies par des règles qui sont opposables aux professionnels.

D'un point de vue général, la ventilation consiste à mettre en œuvre des ouvertures hautes et basses sur chaque côté de la toiture.



Ventilation de la toiture par closoirs ventilés et chatières basses.



Ventilation de la toiture par chatières hautes et chevrons en partie basse.

Dans le plan de la toiture, la ventilation haute peut se faire :

- soit par des closoirs ventilés et des chatières basses ;
- soit par des chatières hautes (en cas de faîtage bâti) et des chevrons en partie basse.

Des combinaisons sont évidemment possibles dès lors que les surfaces totales d'ouverture minimales sont respectées.

## Sécurité du travail en hauteur

Afin de limiter les risques encourus par les poseurs de modules sur la toiture, il est prévu les mesures de sécurité générales suivantes :

Domaine	Mesures de sécurité préconisées
Manutention	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilisation d'équipements de protection individuelle (casque, vêtements, gants, chaussure de sécurité...)</li> <li>– Utilisation de matériel de manutention approprié (palan, grue, nacelle, planche de répartition de charge, échelle élévatrice...)</li> </ul>
Accès	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilisation de matériel temporaire approprié (échelle mobile, échafaudage)</li> <li>– Utilisation de matériel permanent (échelle à crinoline...)</li> </ul>
Travaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilisation de matériel de sécurité collectif en priorité (garde-corps, filets, échafaudage...)</li> <li>– Utilisation d'équipements de protection individuels (harnais de sécurité, longe, casque...) nécessitant la pose de points d'ancrage, de ligne de vie temporaire ou permanente</li> </ul>
Organisation du chantier	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilisation de dispositifs interdisant l'accès aux zones dangereuses</li> <li>– Signalisation de zones de travaux</li> </ul>
Formation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Formation à la sécurité du travail en hauteur</li> <li>– Formation Quali'Pv module BAT</li> </ul>



Ici, la sécurité en hauteur n'est pas assurée.

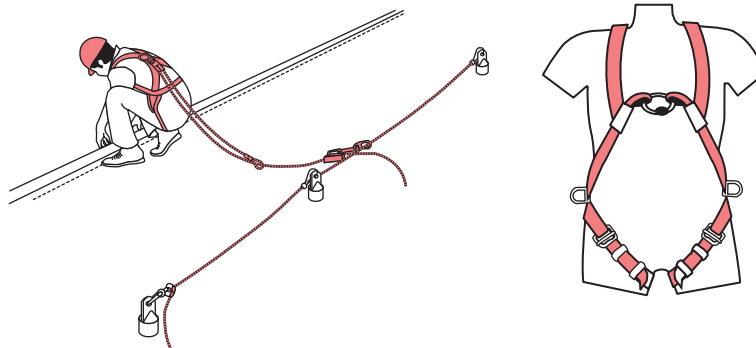


Une échelle n'est pas un poste de travail, mais seulement un moyen d'y accéder.



Toujours privilégier les protections collectives.





Lorsque les protections collectives ne sont pas adaptées à la situation, utiliser les équipements de protection individuels (EPI).



Exemple de chantier avec filets de protection collective et EPI.  
© Française Solaire

## L'appellation Quali'Pv

Quali'Pv est une appellation de qualité à destination des entreprises qui souhaitent mettre en œuvre des installations photovoltaïques. Il s'agit d'une marque gérée par l'association Quali'EnR.

Les entreprises disposant de l'appellation Quali'Pv s'engagent à respecter une charte de qualité dans la mise en œuvre d'installations photovoltaïques. Quali'EnR distingue, à juste titre, deux types de compétence pour la réalisation d'une installation photovoltaïque : une compétence « électricité » et une compétence « bâtiment ». En ce sens, Quali'EnR délivre deux types d'appellation Quali'Pv :

- Quali'Pv module ELEC, pour la compétence en électricité (câblage électrique) ;
- Quali'Pv module BAT, pour la compétence de couvreur (pose des modules sur toiture).

L'appellation est accordée à une entreprise et non à une personne. L'entreprise doit cependant compter dans ses équipes un référent solaire, c'est-à-dire d'une personne compétente en énergie solaire photovoltaïque. Cette compétence peut être justifiée soit par l'expérience, soit par la formation (formation courte Quali'Pv dispensée par des centres de formation agréés).

## Étapes d'un chantier photovoltaïque

La réussite de ce type de projet passe par plusieurs phases importantes.

### Visite technique

La visite technique est une étape de relevé de données qui détermine la justesse et l'exactitude du dimensionnement de l'installation photovoltaïque. Elle doit également permettre de connaître la pertinence technico-économique du projet.

### Site classé

Avant toute chose, il convient de vérifier si le projet d'installation photovoltaïque ne se situe pas sur un site naturel classé. Le « site naturel classé » est un label officiel français qui désigne tout site naturel dont l'intérêt paysager, artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque exceptionnel justifie un suivi qualitatif sous la forme d'une autorisation préalable pour les travaux susceptibles de modifier l'état ou l'apparence du territoire protégé. Une autorisation auprès des Architectes des bâtiments de France (ABF) est nécessaire lorsque le projet se situe sur un site classé ou dans un rayon de 500 m avec covisibilité.

### La toiture

#### Relevé dimensionnel

Lors de la visite technique, il est essentiel de mesurer les dimensions de la toiture ainsi que l'orientation et l'inclinaison. Il est important de relever les marges en bord de toiture et les points singuliers tels que les cheminées ou puits de lumière.

Il faut à ce stade vérifier s'il existe des contraintes sur l'emprise du toit existant et si on peut envisager de faire déborder les modules en rive ou en bas.

Cette vérification va permettre de réaliser le calepinage et de calculer ultérieurement la production électrique de la future installation.



#### Définition du calepinage

En photovoltaïque, le calepinage consiste à déterminer l'implantation des modules sur la toiture. Concrètement, cela signifie :

- choisir entre les configurations dites « en portrait » ou « en paysage » des modules ;
- calculer la quantité de modules à installer.



Exemple de points singuliers : une cheminée.



Attention aux points singuliers qui gênent l'implantation des modules.



Présence d'un arbre pouvant faire de l'ombre à l'installation photovoltaïque.

Il peut, de plus, être intéressant, le cas échéant, de réaliser un relevé de masque du site. En effet, un obstacle pourrait faire de l'ombre à la future installation et nuire à son efficacité. La méthodologie du relevé de masque est expliquée en annexe 1.



L'étude structure est obligatoire pour tous les bâtiments publics.

## État de la charpente

Il est aussi indispensable d'inspecter l'état de la toiture et notamment de la charpente. Rappelons que l'entreprise qui réalisera les travaux met en jeu son assurance décennale, qui la rend responsable des dégâts occasionnés durant les dix années qui suivent la réception du chantier. Poser des modules sur une toiture existante en mauvais état, c'est courir le risque d'être mis en cause si la charpente s'effondre au cours des dix années suivantes. Plus généralement, l'acte de couvrir implique la réception de la charpente.

Il peut être nécessaire de faire appel à un bureau d'études structure qui va engager sa responsabilité sur la tenue de la charpente.



Charpente en bon état.  
© Nicolas Février - Fotolia.com



Charpente en mauvais état.

Généralement, concernant les maisons individuelles, l'œil avisé d'un charpentier permet de s'affranchir du bureau d'études structure. Cependant, pour les autres bâtiments, il est plus judicieux de réaliser une étude pour valider, s'il y a des doutes, l'état de l'existant mais surtout la capacité des ouvrages à recevoir une surcharge permanente. En particulier, il s'agit de s'assurer, sur certains bâtiments, de la conformité réglementaire de la structure aux nouveaux codes de calcul.

### Local technique

La localisation du futur local technique comprenant les onduleurs et les coffrets électriques est aussi à déterminer, conjointement avec le maître d'ouvrage.



Pour ce bâtiment, il est pertinent de faire établir une étude de la charpente par un bureau d'études structure.

Il est important de prévoir le futur point de raccordement au réseau (qui sera déterminé par ERDF par la suite). En effet, afin de limiter la longueur de câble entre le local technique et le point de raccordement, il est préférable de minimiser les distances entre ces deux points.

Le local technique doit idéalement être un lieu frais et bien ventilé. Il doit présenter suffisamment de place pour installer les onduleurs, les coffrets électriques ainsi que les câbles. Un relevé dimensionnel du futur local technique s'avère utile pour implanter ultérieurement les équipements et déterminer le passage des câbles.

La connaissance du chemin suivi par les câbles depuis le champ photovoltaïque jusqu'à l'ondu-



Les onduleurs, les coffrets électriques ainsi que les chemins de câbles occupent de la place dans le local technique.



Le local technique pourra être prévu au plus près du point de raccordement au réseau.



Prévoir le cheminement des câbles.

leur est nécessaire afin de calculer, par la suite, les sections des câbles et les chutes de tension.

## Diagnostic avant-travaux

Dans certains cas, des diagnostics avant-travaux sont à réaliser. Les diagnostics doivent être posés par un diagnostiqueur certifié.

### Diagnostic amiante

Le diagnostic amiante avant-travaux est obligatoire pour tout immeuble bâti (sauf maison individuelle) dont le permis de construire a été délivré avant le 1<sup>er</sup> juillet 1997.

Ce diagnostic doit être transmis aux entreprises chargées des travaux.

L'inspection du travail peut faire stopper les travaux sur un chantier si ce rapport de repérage amiante avant-travaux ne peut lui être présenté.

### Diagnostic plomb

Le maître d'ouvrage ou le propriétaire d'un immeuble, d'une partie d'immeuble ou d'un local construit avant le 1<sup>er</sup> janvier 1949, est tenu de réaliser un diagnostic plomb avant travaux ou démolition.

Le diagnostic plomb doit permettre d'établir un constat de risque d'exposition au plomb. Des travaux préalables pour supprimer l'exposition au plomb seront nécessaires si le diagnostic le demande.



Opération de désamiantage.



Diagnostic plomb.

## Calepinage

À l'issue de la visite technique, l'étude du projet peut commencer. La première phase consiste à savoir combien de modules vont être implantés sur la toiture et comment ils le seront.

Pour réaliser ce calepinage, les données indispensables sont les dimensions des modules et les dimensions de la toiture.

Les dimensions du module sont indiquées sur la fiche technique. Il convient cependant de distinguer les dimensions du module et les dimensions de pose.

En effet, lorsque les modules sont sur la toiture, il existe un espace entre chaque panneau. Cet espace dépend du système d'intégration choisi. Il est de l'ordre de 2 cm.

Par exemple, considérons un module dont les dimensions sont 1 580 mm × 808 mm. En sup-



La dimension de pose du module n'est généralement pas la dimension du module.

© Martin Vorka - Fotolia.com

posant un espace de 2 cm entre chaque module, il découle que les dimensions de pose sont 1 600 mm × 828 mm.

C'est en tenant compte des dimensions de pose que le calepinage pourra être correctement réalisé.

À l'issue de cette étape, la puissance de l'installation photovoltaïque (en kW<sub>c</sub>) est connue.

Le chapitre 8 montre pas à pas la réalisation du calepinage.

## Étude du productible

L'étude du productible consiste à calculer, soit manuellement, soit à l'aide d'un logiciel de simulation, la production électrique annuelle de l'installation photovoltaïque, en kWh/an.

La chapitre 4 traite en détail de la méthode de calcul du productible.

## Le devis

Les étapes précédentes ont permis de connaître la puissance de l'installation ainsi que la complexité du projet (réhabilitation de la toiture, distance de câble, etc.).

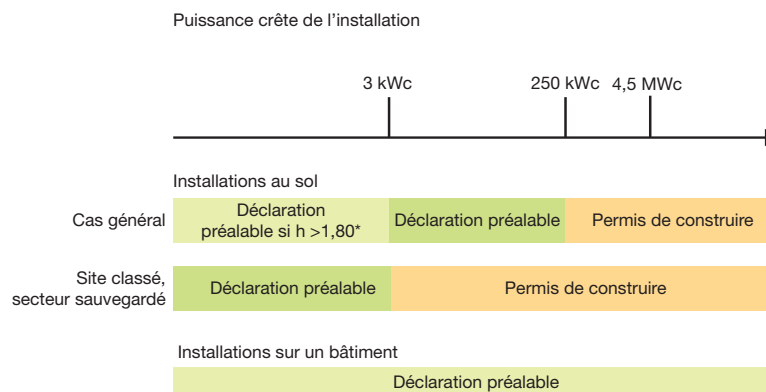
Toutes ces informations permettent à présent de chiffrer le projet et donc de réaliser le devis de l'installation photovoltaïque.

Dans le cas où le client est un particulier, un crédit d'impôt de 25 % sur le coût du matériel est reversé par l'État. Il est donc important de distinguer, dans le devis, le coût de la main-d'œuvre et celui du matériel.

Ce devis peut être complété par une étude de rentabilité économique en cas de vente de l'électricité. En effet, l'étude du productible a permis de calculer la production annuelle de l'installation, en kWh/an. Connaissant le tarif d'achat de l'électricité (en €/kWh), il est facile de calculer les revenus issus de la vente de l'électricité produite par l'installation photovoltaïque. Un temps de retour sur investissement peut être intéressant pour le client et le conforter dans son choix.

## Déclaration à la mairie

Lorsque les modules photovoltaïques sont installés sur la toiture d'un bâtiment existant, cela est considéré comme un modificatif d'aspect : une déclaration de travaux doit être effectuée à la mairie. Le type de demande varie en fonction de la puissance installée.



\* h désigne la hauteur au sol maximale du dispositif photovoltaïque

Exemple de déclaration de travaux à la mairie.

Lorsqu'il s'agit d'une installation photovoltaïque sur un bâtiment neuf, la déclaration doit figurer dans le cadre du permis de construire.

## Demande de raccordement

Pour toute installation photovoltaïque destinée à être raccordée au réseau, une demande de raccordement auprès d'ERDF doit également être effectuée. Il s'agit d'une procédure administrative dans laquelle doivent apparaître les caractéristiques techniques de l'installation (schéma électrique, puissance, onduleurs, certificat de conformité, etc.).

Cette demande de raccordement, si elle est complète, permet de bloquer le tarif d'achat (le cachet de la Poste fait foi) dont bénéficiera l'installation photovoltaïque pendant les vingt années qui suivront la signature du contrat d'achat. Il est donc essentiel de garder une preuve de la date d'envoi de la demande de raccordement (accusé de réception par exemple).

À réception du dossier de demande de raccordement, ERDF analyse la demande. Cela peut prendre entre une semaine et plusieurs mois selon la puissance de l'installation. Après analyse, ERDF adresse au demandeur une proposition technique et financière comprenant notamment le coût du raccordement. Celui-ci peut varier de 500 € pour un particulier jusqu'à quelques milliers d'euros pour les grosses puissances.

Il convient alors d'accepter la proposition d'ERDF.

## Les travaux

Une fois la proposition technique et financière acceptée, les travaux peuvent commencer.

## Planification du chantier

La planification du chantier ainsi que la sécurité des travailleurs sont essentielles.

Les plans de circulation doivent être définis (stockage du matériel, véhicule, voie de passage, cabane réfectoire, sanitaires, etc.).

La rédaction du plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) ou du plan de prévention (si l'entreprise intervient seule) doit être effectuée. Le plan doit notamment contenir les consignes concernant :

- l'organisation du chantier ;
- les installations sanitaires disponibles ;
- le travail à exécuter ;
- les risques possibles pour les ouvriers dans la réalisation de leur travail ;
- les risques possibles que les travaux des autres entreprises peuvent générer sur les ouvriers de son entreprise ;
- les précautions qu'il est possible de prendre pour éviter ces risques ;
- les risques spécifiques du chantier ;
- les risques inhérents à l'activité normale de l'entreprise (document unique).

## Vérification du matériel

Le matériel doit évidemment être en bon état.

Les modules photovoltaïques doivent être testés individuellement afin de détecter la présence d'un module endommagé ou ne présentant pas les mêmes propriétés électriques. Pour cela, la mesure, grâce à un multimètre, de la tension à vide de chaque module doit être effectuée panneau par panneau. Les valeurs mesurées doivent être sensiblement égales.



Contrôle de la tension à vide des modules à l'aide d'un multimètre.



La tension mesurée doit être sensiblement égale à la tension indiquée sur la fiche technique du module.

## Réception des travaux

### Procès-verbal

La réception des travaux correspond à la signature du procès-verbal par le client. Le maître d'ouvrage (client) déclare, en signant le procès-verbal, accepter l'ouvrage avec ou sans réserve. Si un défaut apparent n'est pas signalé, il est réputé accepté : il ne sera plus possible de le contester par la suite. En signant le procès-verbal, le maître d'ouvrage admet que les travaux sont conformes à la demande.

C'est le jour de la signature du procès-verbal que démarrent les garanties (exemple : assurance décennale).

### CONSUEL

L'installateur a l'obligation, depuis le 22 mars 2010, de fournir une attestation de conformité électrique du CONSUEL.

Cette attestation de conformité est, par la suite, à envoyer à ERDF afin de finaliser le raccordement et effectuer la mise en service de l'installation.

#### PROCÈS VERBAL DE RÉCEPTION DES TRAVAUX DE MARCHÉ PRIVÉ

Désignation de l'opération : .....

Maître de l'ouvrage : .....  
représenté par : .....

Je soussigné : ....., Maître de l'ouvrage, assisté de M. : ....., Architecte, après avoir procédé à l'examen des travaux exécutés par les entrepreneurs désignés dans l'annexe du présent procès-verbal (1), dûment convoqués par lettres recommandées avec avis de réception en date du : ..... déclare que :

- La réception est prononcée sans réserve, avec effet à la date du : .....
- La réception est prononcée, avec effet à la date du : ....., assortie des réserves mentionnées dans l'annexe.
- La réception est refusée pour les motifs consignés dans l'annexe précitée.

En application de l'article 1792-6 du Code civil, les entrepreneurs demeurent tenus de la garantie de parfait achèvement pendant l'année qui suit la présente réception.

Celle-ci constitue également le point de départ de la garantie de bon fonctionnement prévue par l'article 1792-3 du Code civil et de la responsabilité décennale des constructeurs définie aux articles 1792, 1792-2 et 2270 du Code civil.

Fait à : ....., le : .....

en : .....exemplaires



## Maintenance

La maintenance d'une installation photovoltaïque est une étape qui ne doit être ni négligée ni surévaluée. On estime :

- qu'un changement de l'onduleur est nécessaire tous les dix ans ;

- que le nettoyage des modules est à faire éventuellement tous les trois ans ;

- qu'une vérification périodique simple du matériel est à effectuer ;

- qu'une assistance technique rapide en cas de problème majeur doit être prévue.



Situation remarquable où le champ photovoltaïque se trouve à proximité d'un incinérateur. Les fumées dégagées par cet incinérateur viennent se déposer sur les modules. Il convient, dans ce cas, de nettoyer régulièrement les panneaux.