



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

GUIDE

**SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES
PAR MODULES RIGIDES
EN TOITURES INCLINEES**

**GUIDE DE CONCEPTION, DE MISE EN ŒUVRE
ET DE MAINTENANCE**

MARS 2013

NEUF - RENOVATION

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

1 - Préambule	7
2 - Domaine d'application	8
3 - Documents de référence	11
4 - Définitions utiles	15
5 - Principe d'une installation photovoltaïque	19
6 - Conditions préalables à l'étude du projet (reconnaissance des lieux et évaluation de la faisabilité)	20
6.1. • <i>Analyse du site</i>	21
6.1.1. • Localisation géographique	21
6.1.2. • Destination du bâtiment (ambiance intérieure)	25
6.2. • <i>Évaluation de la production</i>	26
6.3. • <i>Analyse du bâtiment</i>	26
6.3.1. • Caractérisation de la toiture d'implantation	27
6.3.2. • Stabilité du bâtiment	29
6.3.3. • Planéité de la toiture	31
7 - Dimensionnement (conception)	32
7.1. • <i>Electrique</i>	32
7.2. • <i>Bâtiment</i>	33
7.3. • <i>Choix du système</i>	35
7.3.1. • Compatibilité système photovoltaïque / toiture d'implantation	35
7.3.2. • Notice de montage, formation et assistance technique	36
8 - Les démarches administratives	37
8.1. • <i>Généralités</i>	37
8.2. • <i>Urbanisme</i>	38
8.2.1. • Installation sur bâtiment existant	39
8.2.2. • Installation sur bâtiment neuf	39
8.2.3. • Zones soumises à l'avis des Architectes des Bâtiments de France (ABF)	39
8.3. • <i>Attestation sur l'honneur et tarifs d'achat</i>	39
9 - Aspects assuranciers	41
9.1. • <i>Transport et stockage</i>	41
9.2. • <i>Mise en œuvre</i>	41



10 - Sécurité	42
10.1. • Sécurité des personnes	42
10.1.1. • Sécurité des intervenants (entreprise du bâtiment)	42
10.1.2. • Sécurité des usagers (utilisateurs du bâtiment)	43
10.2. • Sécurité électrique	44
10.3. • Sécurité incendie	44
11 - Mise en œuvre	46
11.1. • Généralités	46
11.2. • Conditions préalable à la pose	47
11.3. • Compétences des installateurs	47
11.4. • Contrôles à réception	48
11.5. • Préparation de la toiture	49
11.5.1. • Écran de sous toiture	49
11.5.2. • Calepinage	55
11.5.3. • Liteaunage/voligeage	56
11.6. • Installations électriques	56
11.7. • Mise en œuvre du système en partie courante	60
11.8. • Mise en œuvre du système aux points singuliers	60
11.8.1. • Généralités	60
11.8.2. • Matériaux	61
11.8.3. • Étanchéité basse dans le cas d'une toiture partielle	63
11.8.4. • Étanchéité basse dans le cas d'une liaison à l'égout du bâtiment	66
11.8.5. • Abergements latéraux dans le cas d'une toiture partielle	67
11.8.6. • Abergements latéraux dans le cas d'une liaison aux rives du bâtiment	71
11.8.7. • Abergements hauts dans le cas d'une toiture partielle	72
11.8.8. • Abergements hauts dans le cas d'une liaison au faîtage du bâtiment	76
11.9. • Pose des éléments de couverture	78
11.10. • Autocontrôles	78
11.11. • Attestation de conformité électrique	78
12 - Entretien et maintenance	79
12.1. • Entretien	79
12.2. • Maintenance préventive	80
12.3. • Maintenance curative	81
ANNEXES	82



Préambule

1



Ce document a été élaboré dans le cadre du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Il constitue un guide destiné à accompagner les acteurs, notamment les entreprises du bâtiment, dans la réalisation d'une installation photovoltaïque en toiture inclinée, ce dès la phase de définition de faisabilité.

Toutefois, ce document ne saurait être exhaustif ou se substituer à une évaluation technique de la satisfaction aux exigences réglementaires ainsi que de l'aptitude à l'emploi et de la durabilité des divers systèmes (procédés) photovoltaïques proposés par le marché. Cette évaluation est par conséquent à réaliser au cas par cas pour chaque système dans le cadre d'Avis Techniques (abréviation couramment utilisée : ATec) ou d'autres évaluations techniques par tierce partie, documents qui prévalent sur ce guide pour ce à quoi ils s'appliquent.



A la date de publication de ce document, divers travaux sont en cours dans ce domaine en pleine évolution. Nous attirons par conséquent l'attention des lecteurs sur l'importance de suivre par ailleurs les modifications du corpus documentaire existant (par exemple les guides/normes « électriques ») ou l'introduction de nouvelles prescriptions (par exemple sur le thème de l'incendie).

Ce document n'a pas vocation à se substituer aux notices de montage qui doivent par ailleurs spécifier les consignes générales et spécifiques de mise en œuvre de chaque système (procédé) photovoltaïque.

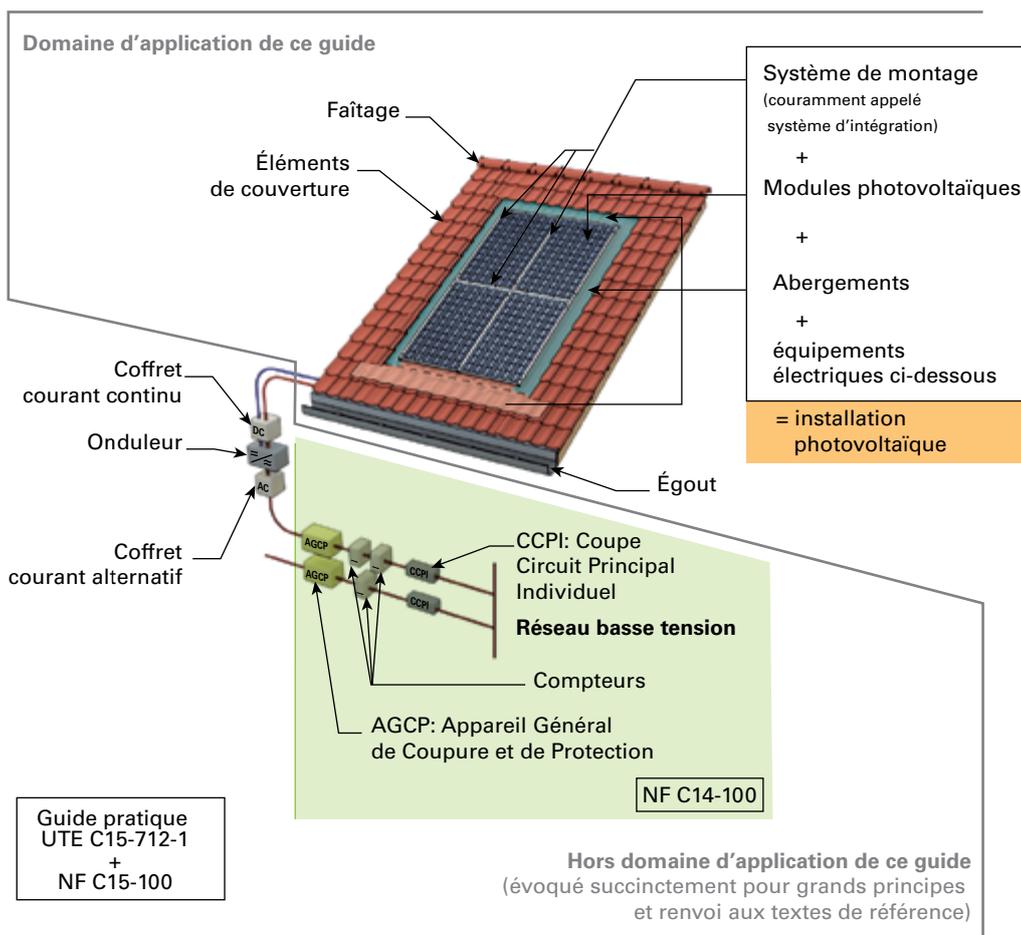


Domaine d'application

2



Le présent document ne vise que les installations photovoltaïques destinées à être mises en œuvre, en bâtiment neufs ou existants, en toiture inclinée sur une partie d'un rampant (bordés sur un ou plusieurs côtés par une couverture en petits ou grands éléments) ou sur la totalité d'un rampant, hors climat de montagne et DROM-COM (Départements et Régions d'Outre-mer – Collectivités d'Outre-mer).



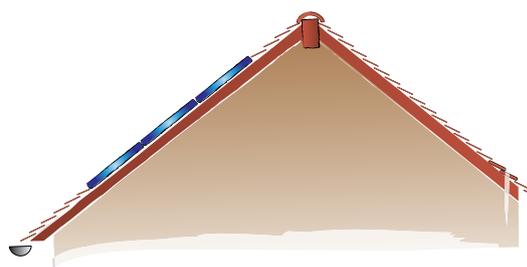
 } Courant continu (DC)
 Courant alternatif (AC)

▲ Figure 1 – Principe

Pour les définitions, (cf. 4).

Il vise les systèmes (procédés) photovoltaïques constitués de modules rigides et conçus pour remplacer les éléments de couverture, le plan d'étanchéité étant constitué :

- soit par le couple « système de montage (couramment appelé système d'intégration)/ modules photovoltaïques », systèmes désignés dans la suite du texte « *sans bacs en sous-face* »),
- soit par des bacs disposés, en couche continue, en sous face du plan des modules, systèmes désignés dans la suite du texte « *avec bacs en sous-face* »)



▲ Figure 2 – Systèmes photovoltaïques mis en œuvre en remplacement d'éléments de couverture
Source : AQC



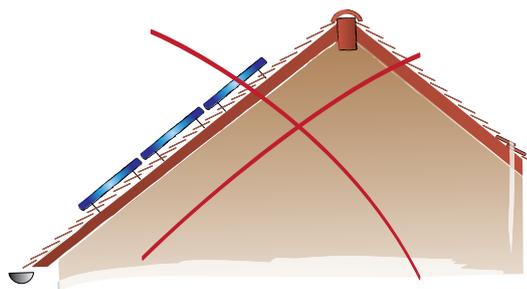
Il ne vise pas les systèmes (procédés) photovoltaïques mis en œuvre au-dessus d'éléments de couvertures (mise en apposition ou en surimposition).

Ce guide est destiné à définir, de manière non exhaustive (du fait de la grande diversité de systèmes (procédés) photovoltaïques), les différentes étapes de réalisation d'une installation photovoltaïque : reconnaissance des lieux, du bâti-

ment et de la toiture d'implantation, choix du système photovoltaïque et de ses conditions d'implantation, principes généraux de mise en œuvre sous et en périphérie de l'installation photovoltaïque (notamment gestion des risques de condensation et réalisation des jonctions avec les éléments environnants tels que éléments de couverture, rives de bâtiment, faîtage et égout), précautions relatives aux connexions électriques, entretien, maintenance préventive et curative.

Il n'a pas pour objectif :

- de détailler les dispositions de conception et de mise en œuvre pour la partie électrique de l'installation ;
- de décrire la mise en œuvre du système (procédé) photovoltaïque en partie courante, celle-ci étant propre à chaque système. **Il présuppose par conséquent (cf. 1) que le système (procédé) photovoltaïque satisfait aux exigences réglementaires, est apte à l'emploi et est durable.**



▲ Figure 3 – Systèmes photovoltaïques mis en œuvre en apposition

Source : AQC



Documents de référence

3



Ce document comporte des dispositions d'autres publications. Ces dernières sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après.

Seules les versions en cours de validité à la date de rédaction s'appliquent au présent document.

Aspects électriques

- Norme NF EN 61 215 : Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation
- Norme NF EN 61 646 : Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation
- Norme NF EN 61 730-1 et 61 730-2 : Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 1 : Exigences pour la construction et Partie 2 : Exigences pour les essais
- Norme NF EN 61 140 : Protection contre les chocs électriques – Aspects communs aux installations et aux matériels
- Norme NF EN 50 380 (C 57-201) : Spécifications particulières et informations sur les plaques de constructeur pour les modules photovoltaïques
- Norme NF C 14-100 : Installation de branchement à basse tension
- Norme NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension
- Guide pratique UTE C 15-712-1 : Installations électriques à basse tension – Guide pratique – Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution



- NF EN C 18-510 : Opérations sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique – Prévention du risque électrique
- NF 61-727 : Systèmes photovoltaïques (PV) – Caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau
- Guide UTE C 35-502 : guide pour les câbles utilisés dans les systèmes photovoltaïques
- Norme CEI 60364-7-712 : Installations électriques dans le bâtiment – Systèmes photovoltaïques
- Décret n° 2010-301 du 22 mars 2010 modifiant le décret n° 72-1120 du 14 décembre 1972 relatif au contrôle et à l'attestation de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes de sécurité en vigueur (NOR : DEVE0927916D) (texte accessible sur www.legifrance.gouv.fr)
- Guide pratique à l'usage des installateurs, des bureaux d'études et des porteurs de projets édité par l'ADEME et le SER : « Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau BT ou HTA » (« Guide ADEME-SER ») de janvier 2012 (texte accessible sur <http://www.photovoltaique.info/Systemes-et-composants.html>)
- Guide « Installations solaires photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution et inférieures ou égales à 250kVA » – 2^{ème} édition (juillet 2011) édité dans les cahiers pratiques de l'association Promotelec (« Guide Promotelec »)

Aspects bâtiment

- NF EN 1991-1-3/NA : Annexe nationale à l'Eurocode 1 : Actions sur les structures – Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige
- NF EN 1991-1-4/NA : Annexe nationale à l'Eurocode 1 : Actions sur les structures – Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent
- NF EN 1993-1-1/NA : Annexe nationale à l'Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
- NF EN 1995-1-1/NA : Annexe nationale à l'Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments
- NF P 78-116 – « Verre dans la construction/Modules photovoltaïque incorporés au bâti/Dimensionnement en toiture »

- NF EN 1998-1 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.
- Décret n° 2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique (NOR : *DEVP0910497D*) (texte accessible sur www.legifrance.gouv.fr)
- Décret n° 2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français (NOR : *DEVP0823374D*) (texte accessible sur www.legifrance.gouv.fr)
- Arrêtés du 22 octobre 2010 et du 19 juillet 2011 relatifs à la classification et aux règles de construction parasismiques applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » (NOR : *DEVL1115254A*) (Texte accessible sur www.legifrance.gouv.fr)
- Arrêté du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation
- DTU 40.11 (P32-201) : Couverture en ardoises
- DTU 40.13 (P32-202) : Couverture en ardoises en fibres-ciment
- DTU 40.21 (P31-202) : Couverture en tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief
- DTU 40.211 (P31-203) : Couverture en tuiles de terre cuite à emboîtement à pureau plat
- DTU 40.22 (P31-201) : Couverture en tuiles canal de terre cuite
- DTU 40.23 (P31-204) : Couverture en tuiles plates de terre cuite
- DTU 40.24 (P31-207) : Couverture en tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal
- DTU 40.241 (P31-205) : Couverture en tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal
- DTU 40.25 (P31-206) : Couverture en tuiles plates en béton
- DTU 40.35 (P34-205) : Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues
- DTU 40.36 (P34-206) : Couverture en plaques nervurées d'aluminium prélaqué ou non
- DTU 40.37 (P34-203) : Couverture en plaques ondulées en fibres-ciment
- XP P 34 301 : Tôles et bandes en aciers prélaquées ou revêtues d'un film organique contrecollé ou colaminé destinées au bâtiment
- NF B 52-001 : Règles d'utilisation du bois dans la construction – Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus



- Cahier du CSTB n°3651-V2-P2 : Écrans souples de sous-toiture homologués – Partie 2 : Règles de mise en œuvre (texte accessible sur <http://www.cstb.fr/evaluations/autres-evaluations/ecrans-de-sous-toiture.html>)
- Fascicule de documentation FD P 20-651 : Durabilité des éléments et ouvrages en bois
- Fiche pathologie de l'Agence Qualité Construction « Toitures et charpentes – Condensation en sous-face des couvertures métalliques, accessible sur <http://www.qualiteconstruction.com/outils/fiches-pathologie/condensation-en-sous-face-des-couvertures-metalliques.html>

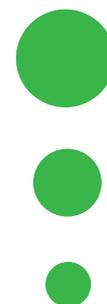
Autres

- Arrêté du 4 mars 2011 modifié fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000 (NOR : DEVR1106450A) (texte accessible sur www.legifrance.gouv.fr)
- Fiche pratique de sécurité ED 137 édité par l'INRS, l'OPPBTB et l'Assurance Maladie (texte accessible sur <http://www.inrs.fr/accueil/produits/mediatheque/doc/publications.html?refINRS=ED%20137>)
- Recommandations R467 de la Caisse Nationale d'Assurance Maladie : « Pose, maintenance et dépose des panneaux solaires et photovoltaïques en sécurité » (texte accessible sur www.ameli.fr/employeur/prevention/recherche-de-recommandations)
- « La nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments dont le permis de construire est déposé à partir du 1^{er} mai 2011 », de janvier 2011, élaborée par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement accessible sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr/document119945>



Définitions utiles

4



Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivantes s'appliquent.

Maître d'ouvrage

C'est le « client », personne physique ou morale, pour qui des travaux sont exécutés. Il choisit le maître d'œuvre (parfois sur concours), s'entend avec lui sur un avant projet puis sur un projet et sur les solutions techniques proposées et confie au maître d'œuvre la coordination et le suivi des travaux dont il assure le paiement sur situation et mémoire en suivant un échéancier convenu.

Maître d'œuvre

Celui qui est chargé de la conception et des études, puis du suivi des travaux et de la coordination pour le compte de son client (maître d'ouvrage).

Cellule photovoltaïque

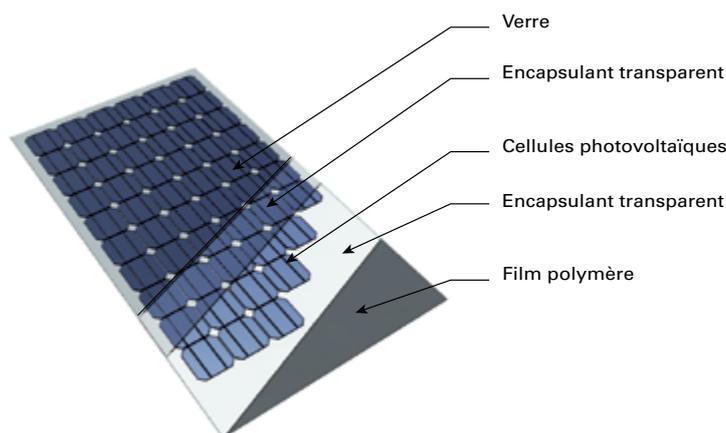
Dispositif photovoltaïque de base pouvant générer de l'électricité en courant continu lorsqu'il est soumis au rayonnement solaire.

Module photovoltaïque (communément et à tort appelé « panneau » photovoltaïque)

Terme générique désignant un assemblage (**cadré ou non**) de cellules photovoltaïques interconnectées, complètement protégées de l'environnement.

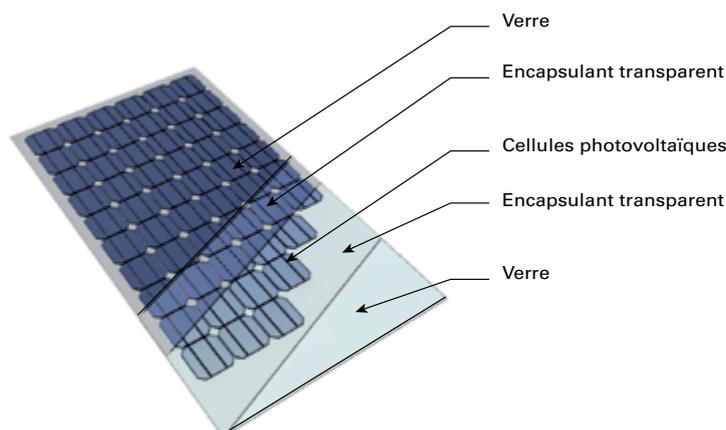
Parmi les modules **non cadrés**, on distingue :

Le laminé photovoltaïque : il résulte le plus souvent de l'assemblage d'un composant verrier en face avant et d'une couche polymère en face arrière (couramment désigné « backsheet »)



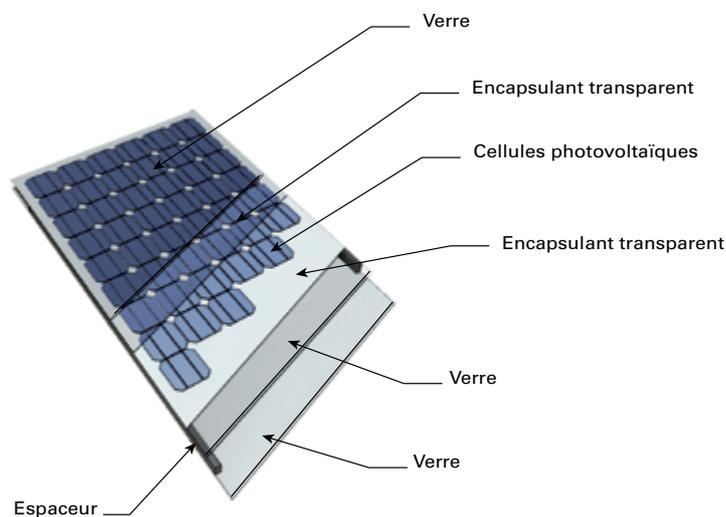
▲ Figure 4 – Laminé photovoltaïque

Vitrage feuilleté photovoltaïque : il résulte le plus souvent de l'assemblage d'une feuille de verre en face avant avec une ou plusieurs feuilles de verre en face arrière (communément appelé « bi-verre »).



▲ Figure 5 – Vitrage feuilleté photovoltaïque

Le vitrage isolant photovoltaïque peut également être rencontré : il résulte de l'assemblage d'un vitrage feuilleté photovoltaïque avec un composant verrier, séparés par un ou plusieurs espaceurs, scellés de manière étanche le long de la périphérie.



▲ Figure 6 – Vitrage isolant photovoltaïque

Puissance crête

Donnée conventionnelle normative correspondant à la puissance (exprimée en Wc) que peut délivrer le module, sous des conditions standards optimales d'ensoleillement (1000 W/m²) et de température (25°C) (= conditions STC – Standard test conditions) avec la répartition spectrale solaire de référence.

Cadre du module

Élément périphérique, généralement métallique, non systématique, améliorant la tenue mécanique et/ou l'étanchéité du module par rapport à son environnement.

Encapsulant

Couche translucide ayant pour fonction de coller et de séparer les composants verriers et/ou film polymère tout en encapsulant des cellules photovoltaïques.

Chaîne (ou branche) photovoltaïque

Circuit constitué par des modules photovoltaïques connectés en série (généralement désigné par le terme « string »).

Système de montage (couramment appelé « système d'intégration »)

Ensemble d'éléments mécaniques permettant le supportage et la mise en œuvre des modules photovoltaïques en association avec le bâtiment (fixations, bacs de sous-face éventuels lorsque ceux-ci constituent le plan d'étanchéité, ...).

Système (procédé) photovoltaïque

Ensemble composé d'un ou de plusieurs modules photovoltaïques et de leur système de montage (« système d'intégration »). Cet ensemble est désigné par le terme procédé photovoltaïque dans les Avis Techniques.

Installation photovoltaïque

Ensemble constitué du système photovoltaïque ainsi que de tous les équipements mécaniques et électriques nécessaires au bon fonctionnement et à la sécurité de l'unité de production d'énergie électrique.

Abergements

Ensemble d'éléments généralement métalliques façonnés, ou de bandes souples, destinés à réaliser la liaison étanche entre les éléments de couverture et l'installation photovoltaïque.

Leurs formes varient en fonction du système photovoltaïque et des éléments de couverture auxquels ils sont associés.

Ils doivent être parfaitement étanches, durables et intégrer les phénomènes de dilatation entre matériaux (en termes d'ordre de grandeur, l'aluminium se dilate environ 2 fois plus que l'acier).



Ces éléments peuvent être en différents matériaux : généralement en aluminium (brut, anodisé, ...), en acier (galvanisé, laqué, ...), en plomb, voire, plus traditionnellement, en zinc. Leur matière constitutive doit impérativement être compatible avec les matériaux avec lesquels ils sont en contact (éviter les couples électrolytique/galvaniques source de corrosion).

Ils peuvent (idéalement) ou non être fournis par le fabricant avec le système de montage (d'intégration).



Un soin particulier doit être apporté à la mise en œuvre de ces éléments (cf. § [11.8]).

Toitures froides

Toitures caractérisées par la présence, d'une lame d'air ventilée avec l'air extérieur en sous-face de couverture (ou de bacs de sous-face du procédé photovoltaïque lorsqu'ils existent).

Toitures chaudes

Toitures isolées en sous-face des tôles métalliques et caractérisées très généralement par l'absence d'une lame d'air entre la sous-face de la couverture et l'isolation. Lorsqu'une lame d'air existe, elle n'est pas ventilée avec l'air extérieur.

Liaison équipotentielle

Liaison électrique mettant au même potentiel des masses et éléments conducteurs

Mise à la terre

Réalisation d'une liaison électrique entre un point donné d'un réseau, d'une installation ou d'un matériel et une partie de la Terre en contact électrique avec une prise de terre (partie conductrice, pouvant être incorporée dans le sol ou dans un milieu conducteur particulier, par exemple, béton ou coke, en contact électrique avec la Terre), et dont le potentiel électrique n'est pas nécessairement égal à zéro.



Principe d'une installation photovoltaïque

5



En captant le rayonnement solaire, les cellules constitutives des modules photovoltaïques génèrent un courant électrique continu (DC) (cf. « Note » ci-dessous). Un onduleur permet ensuite de transformer ce courant en courant alternatif (AC) à destination d'une installation autonome (autoconsommation de l'électricité) ou du réseau public de distribution (injection de l'électricité).

Note

L'effet photovoltaïque est un effet photoélectrique interne qui s'opère au cœur des cellules constitutives du module photovoltaïque. Il s'agit d'un phénomène propre aux matériaux dits « semi conducteurs », dont le plus connu est le silicium. En frappant ces matériaux, les « grains de lumière » (photons) du rayonnement solaire sont absorbés et transfèrent leur énergie aux électrons du matériau. Ainsi excités, ces derniers se mettent en mouvement et peuvent être collectés par des fils électriques créant ainsi un courant électrique continu.

Photovoltaïque= « Photo » (dérivé du mot grec désignant la lumière) + « volt » (relatif à l'unité de tension électrique)



Ainsi, tant que les modules restent exposés à la lumière, ils continuent de produire et doivent par conséquent toujours être considérés sous tension, même en cas de déconnexion de la partie courant alternatif.



Conditions préalables à l'étude du projet (reconnaissance des lieux et évaluation de la faisabilité)

6



Le choix de l'acheteur d'implanter une installation photovoltaïque sur son bâtiment repose avant tout sur le souhait de produire de l'électricité. Ainsi, il est impératif que le choix du pan de toiture destiné à accueillir le système photovoltaïque soit a minima dans la fourchette Est/Sud/Ouest, que la durée d'exposition de l'ensemble de l'installation au rayonnement solaire soit optimisée et que le dimensionnement électrique prenne en considération les éventuelles ombres portées (cf. guide pratique UTE C 15-712-1).

Par ailleurs, en tant que produit de construction, le rampant de toiture équipé de l'installation photovoltaïque doit être apte à l'emploi (étanchéité, résistance aux contraintes climatiques, sécurité des personnes, ...) et durable.



Par conséquent, au titre du devoir de conseil que l'entreprise doit à son client, si l'entreprise constate que le pan de toiture ne se situe pas dans la fourchette Ouest / Sud / Est, qu'elle sera amenée à subir des ombrages conséquents grevant fortement la production, que le rampant de toiture ne vérifie pas les conditions d'aptitude à l'emploi et de durabilité, ... il est fondamental d'identifier clairement ce qui est acceptable ou rédhibitoire, d'en d'informer précisément le client afin de trouver d'éventuelles solutions ou d'envisager de ne pas implanter de système photovoltaïque.

Les paragraphes suivants sont destinés à décrire les différentes démarches techniques préalables à toute implantation en vue d'apprécier les contraintes de réalisation et de fait la faisabilité ou non du projet.

En cas de projet envisageable, ces différentes démarches peuvent guider le choix du système photovoltaïque ou permettre d'évaluer la production électrique prévisible.

6.1. • *Analyse du site*

6.1.1. • Localisation géographique

Environnement

Dans un premier temps, la localisation géographique approximative du lieu où l'acheteur souhaite implanter un système photovoltaïque s'impose. Elle consiste en un repérage des environnements du site d'implantation.

Une attention est en effet à apporter à tout facteur susceptible de provoquer un danger particulier, un surcoût de l'installation, une efficacité réduite du système ou des complications dans l'obtention de l'autorisation d'installer le système; en particulier :

- la présence, à proximité, d'activités émettrices de poussières ou autres résidus susceptibles de se déposer sur le système photovoltaïque, qui imposerait un entretien fréquent (donc contraignant et coûteux) pour éviter une perte d'efficacité,
- l'éloignement éventuel du bâtiment vis-à-vis du point de raccordement au réseau de distribution, rendant le projet impossible ou induisant des surcoûts importants (si le système n'est pas entièrement destiné à l'autoconsommation),
- la localisation du bâtiment par rapport à un secteur sauvegardé, un site inscrit, une aire de mise en valeur de l'architecture et du patrimoine ou dans un périmètre de protection d'un monument classé ou inscrit

Ensoleillement

L'étude du gisement solaire du site d'implantation est un des paramètres nécessaires pour l'évaluation de la production électrique attendue.

Le site <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eur.htm#FR> fournit les cartes de productions électriques moyennes attendues pays par pays, avec pour chacune d'entre elles, une carte d'ensoleillement sur un plan horizontal et une autre pour une inclinaison optimale.

Masques

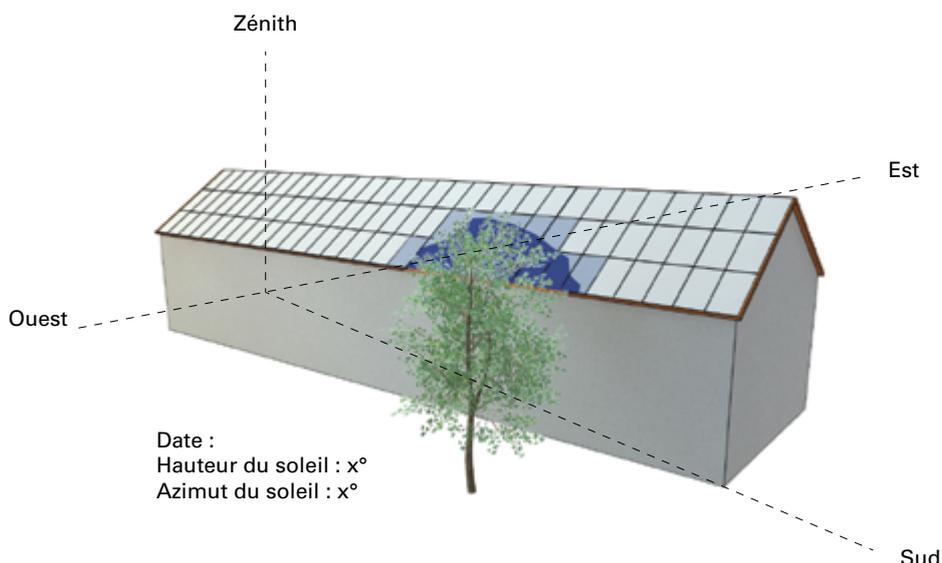
Pour des questions d'efficience de fonctionnement et de production, il est nécessaire d'évaluer les masques (ombrages portés risquant de réduire l'éclairement ponctuel et/ou total de l'installation) que l'environnement peut ou pourrait ultérieurement occasionner sur l'installation photovoltaïque.



▲ Figure 7 – Exemples de masques proches

Les ombrages (proches, tels que cheminées, arbres, autre(s) bâtiment(s) mais également lointains tels que montagne, ...) sur une partie de l'installation photovoltaïque, même petits et/ou éphémères, sont préjudiciables à la production d'électricité et doivent à ce titre être évités ou connus pour une prise en compte efficace.

Il est par conséquent impératif de réaliser un relevé de masques afin de déterminer les données utiles aux logiciels de calculs de la production électrique (par exemple angles d'azimut, hauteurs des obstacles, courbe du soleil). Cette opération nécessite un équipement adapté (par exemple boussole et clinomètre).



▲ Figure 8 – Relevé de masques



Vis-à-vis des ombrages par la végétation : anticiper la pousse des plantations existantes.

Vis-à-vis des ombrages par des bâtiments : se renseigner sur les possibilités de construction environnantes (d'ores et déjà programmées / POS et PLU).

Zones climatiques

La neige et le vent induisent des efforts mécaniques, respectivement de pression et de dépression, auxquels les systèmes photovoltaïques doivent résister pour éviter toute rupture ou chute.



Les régions de vent sont définies dans l'annexe nationale à la norme européenne EN1991-1-4/NA modifiée (Eurocode 1– Partie 4) (carte de France des régions de vent : cf. [Annexe 1] du présent document).

Les zones de neige sont définies dans l'annexe nationale à la norme européenne EN1991-1-3/NA modifiée (Eurocode 1– Partie 3) (carte de France des zones de neige : cf. [Annexe 2] du présent document)

Zone de sismicité

Dans les zones soumises à risque sismique, il est fondamental, tel que stipulé dans l'Eurocode 8 (NF EN 1998), que le système photovoltaïque n'expose pas les personnes à des risques.

La nouvelle réglementation sismique, entrée en vigueur le 1^{er} mai 2011, s'appuie sur les documents de référence suivants :

- Le décret n° 2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique.
- Le décret n° 2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.
- Les arrêtés du 22 octobre 2010 et du 19 juillet 2011 relatifs à la classification et aux règles de construction parasismiques applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».



Pour les systèmes ne possédant pas d'évaluation sismique, les seules mises en œuvre possibles sont :

- en zone de sismicité 1 : sur les bâtiments de catégories d'importance I à IV ;
- en zone de sismicité 2 : sur les bâtiments de catégories d'importance I et II ;
- en zones de sismicité 3 et 4 : sur les bâtiments de catégories d'importance I.

Les zones de sismicité ainsi que les catégories d'importance des bâtiments sont précisés en [Annexe 4] du présent document.

Les « Règles de construction parasismique / Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés – Règles PS-MI 89 révisées 92 (NP P 06-014) » peuvent permettre des utilisations plus larges mais nécessite une étude particulière.

Zone de plaine ou de montagne

Les zones de montagne (conventionnellement caractérisé par une altitude supérieure à 900 m), de par leurs sollicitations spécifiques dues notamment à un enneigement durable et important, nécessite des conceptions de toiture spécifiques pour répondre aux contraintes telles que les charges localisées de neige et de glace, l'érosion et les arrachements provoqués par des déplacements de neige ou de glace, les effets de siphonage,...

*Note :*

Le « guide des couvertures en climat de montagne » (Cahier du CSTB 2267-1 de 2011) précise des prescriptions de conception et de mise en œuvre spécifiques aux couvertures par éléments discontinus non équipées de système photovoltaïque, établi sur la base des conditions climatiques spécifique du massif alpin et de l'expérience acquise sur le comportement des toitures en ces lieux.

Il est rappelé que ce guide ne vise pas les implantations en zones de montagne.

Atmosphère extérieure (rurale non polluée, industrielle, urbaine, marine)

Les conditions atmosphériques environnant le site d'implantation peuvent être source de salissures récurrentes nécessitant des entretiens plus fréquents ou source de détérioration prématurée (corrosion, ...) des composants si ceux-ci ne sont pas adaptés ou protégés des agressions locales. Une attention particulière doit par conséquent être apportée au choix des composants (cf. également le § [11.8.2]).

L'annexe B de la norme NF P 34-310 (informative), reprise en annexe D du DTU 40.35 (informative), fournit, pour des altitudes inférieures à 900 m, les descriptions suivantes des différentes atmosphères extérieures :

- **Atmosphère rurale non polluée**
Milieu correspondant à l'extérieur des constructions situées à la campagne en l'absence de pollution particulière, par exemple : retombées de fumée contenant des vapeurs sulfureuses (chauffage au mazout).
- **Atmosphère urbaine ou industrielle normale**
Milieu correspondant à l'extérieur des constructions situées dans des agglomérations et/ou dans un environnement industriel comportant une ou plusieurs usines produisant des gaz et des fumées créant un accroissement sensible de la pollution atmosphérique sans être source de corrosion due à la forte teneur en composés chimiques.
- **Atmosphère urbaine ou industrielle sévère**
Milieu correspondant à l'extérieur des constructions situées dans des agglomérations ou dans un environnement industriel avec une forte teneur en composés chimiques, source de corrosion (par exemple : raffineries, usines d'incinération, distilleries, engrais, cimenteries, papeteries, etc.), d'une façon continue ou intermittente.
- **Atmosphères marines**
 - Atmosphère des constructions situées entre 10 km et 20 km du littoral
 - Atmosphère des constructions situées entre 3 km et 10 km du littoral

- Bord de mer
Moins de 3 km du littoral, à l'exclusion des conditions d'attaque directe par l'eau de mer (front de mer).
- Atmosphère mixte
Milieu correspondant à la concomitance des atmosphères marines de bord de mer et des atmosphères urbaines ou industrielles normales et urbaines ou industrielles sévères.

6.1.2. • Destination du bâtiment (ambiance intérieure)

L'usage du bâtiment peut être à l'origine d'émissions importantes d'humidité et/ou de gaz spécifiques (par exemple des bâtiments agricoles accueillant des animaux) auxquelles le système photovoltaïque peut être soumis, aussi bien au-dessous qu'au-dessus de l'installation photovoltaïque dans le cas de bâtiment ouvert. Tout comme l'atmosphère extérieure, cette ambiance intérieure (humidité, pollution spécifique) peut conduire à des détériorations prématurées des composants si ceux-ci ne sont pas adaptés ou protégés.

L'annexe B de la norme NF P 34-310 (informative) et l'annexe D du DTU 40.35 (informative) fournissent les descriptions suivantes des différentes ambiances et locaux en fonction du taux d'humidité :

- Ambiance saine : milieu ne présentant aucune agressivité due à des composés chimiques corrosifs.
- Ambiance agressive : milieu présentant une agressivité (corrosion chimique, aspersion corrosives,...) même de façon intermittente, par exemple piscines à fort dégagement de composés chlorés, bâtiments d'élevage agricole, manèges de chevaux.
- Hygrométries intérieures :

A partir des deux caractéristiques W et n définies ci-après :

- W : la quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur du local par heure, exprimée en grammes par heure (g/h) ;
- n : le taux horaire de renouvellement d'air, exprimé en mètres cubes par heure (m^3/h) ;

quatre types de locaux en fonction de leur hygrométrie en régime moyen pendant la saison froide sont définis :

- local à faible hygrométrie $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$
- local à hygrométrie moyenne $2,5 < W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$
- local à forte hygrométrie $5 < W/n \leq 7,5 \text{ g/m}^3$
- local à très forte hygrométrie $W/n > 7,5 \text{ g/m}^3$.

Pour les bâtiments concernés, les documents particuliers du marché (DPM) définissent l'ambiance intérieure et l'hygrométrie du local sous-jacent au système photovoltaïque.



Les ambiances intérieures et les hygrométries admises pour le système photovoltaïque sont indiquées dans l'Avis Technique ou évaluation par tierce partie du système.

6.2. • *Évaluation de la production*

L'évaluation de la production moyenne prévisible est un point clé quant à la décision d'implantation ou non de l'installation photovoltaïque. Afin de satisfaire le maître d'ouvrage, il convient par conséquent de ne pas la surestimer.



Sur site, la puissance émise par un module photovoltaïque dépend du jour, de l'heure, de la météo, de la localisation, de l'orientation et de l'inclinaison des modules, du mode de mise en œuvre (impact de la ventilation en sous face des modules), de l'état de propreté de la surface des modules,...
=> Ainsi, la puissance crête d'un module photovoltaïque n'est que rarement atteinte puisque conditionnée par de nombreux facteurs

=> Énergie électrique produite ≠ Nombres d'heures d'exposition x Puissance crête

Afin d'apprécier la production envisageable, deux approches **estimatives**, sont possibles :

- par un calcul réalisé par un logiciel dédié à l'évaluation du productible des installations photovoltaïques. Ces calculs intègrent généralement l'impact des masques.
- par un calcul « manuel », mais très approximatif, qui vise à établir une estimation de la production électrique de l'installation (cf. [Annexe 5]).

6.3. • *Analyse du bâtiment*

La connaissance de la typologie du bâtiment, de la charpente et de la couverture destinés à accueillir l'installation photovoltaïque est un point fondamental pour apprécier la faisabilité de l'installation, choisir un système photovoltaïque adapté et identifier les éventuelles dispositions à prendre avant la mise en œuvre du système photovoltaïque. Ces vérifications visent notamment la stabilité du bâtiment, l'état de la charpente, la typologie de la toiture et sa planéité, l'état des éléments de couverture,

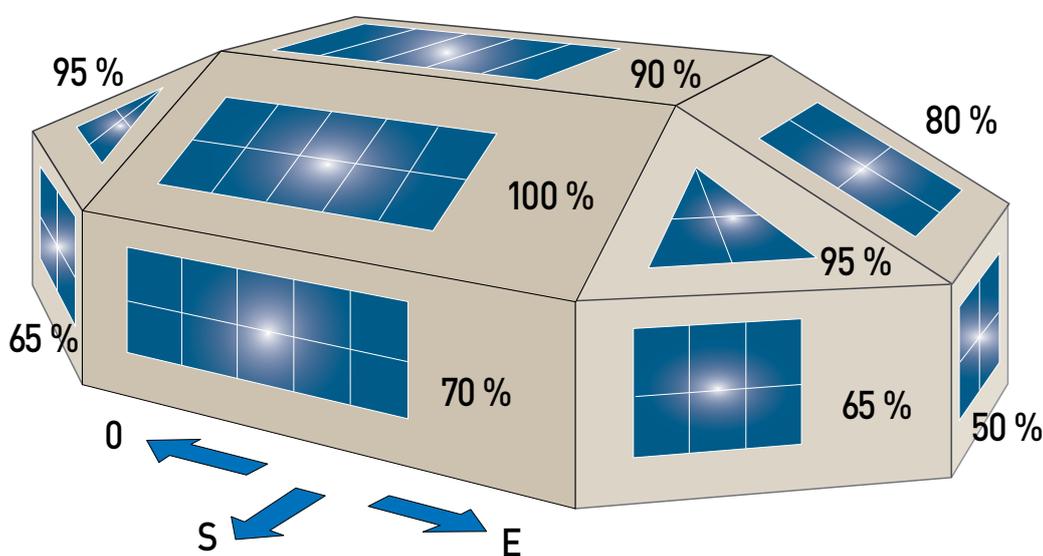
La présence ou non d'amiante doit également être examinée et les dispositions spécifiques réglementaires correspondantes prises (par exemple, plaques ondulées en amiante-ciment).

6.3.1. • Caractérisation de la toiture d'implantation

En France métropolitaine, les conditions optimales d'implantation d'une installation photovoltaïque sont une orientation plein sud et une inclinaison d'environ 35 degrés par rapport à l'horizontale.

Une implantation de sud-est à sud-ouest (écart de plus ou moins 45° par rapport au sud) et une inclinaison de 20 à 60° par rapport à l'horizontale n'occasionnent cependant pas de baisse de production trop importante.

Le schéma ci-dessous précise le pourcentage estimé de production comparé aux conditions d'exposition optimales rappelées ci-dessus (100% correspond à plein sud et 35% d'inclinaison).



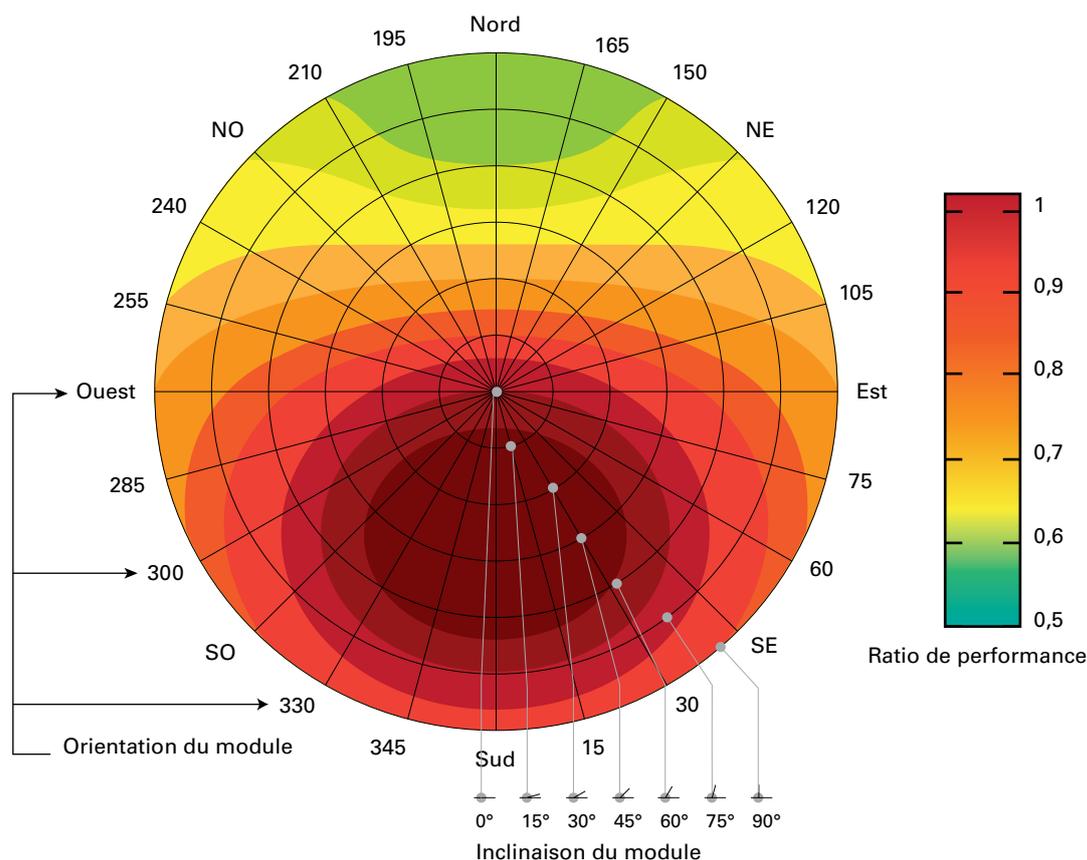
▲ Figure 9 – Production électrique comparées aux conditions d'expositions optimales

Source : AQC

Le disque solaire est une autre façon d'estimer la production en fonction des conditions d'exposition (latitude, inclinaison du module et orientation cardinale). Il en existe de nombreux en fonction de la localisation géographique (latitude). Il est cependant estimé qu'en France, le différentiel de productible selon les angles d'orientation/inclinaison de la toiture dépend très peu de la latitude.

Le disque solaire permet de quantifier l'effet combiné de l'orientation et de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur le rendement en France et de déterminer un ratio trigonométrique compris entre 0 et 1 (ou entre 0 et 100%) :

- Lorsque le ratio est égal à 100%, cela signifie que le module est orienté plein sud et que son inclinaison est optimale (zone très rouge sur le disque solaire ci-dessous).
- Lorsque le ratio est inférieur à 75%, l'installation est estimée insuffisamment efficace (zones jaune et verte sur le disque solaire ci-dessous).



▲ Figure 10 – Exemple de disque solaire

La détermination de l'orientation et de l'inclinaison (pente) de la toiture sont par conséquent nécessaires pour apprécier la production électrique qui peut être attendue.

Toutes les caractéristiques suivantes sont également requises afin de déterminer le choix du système de photovoltaïque en tant que produit de construction :

- Présence de pénétrations (cheminées, fenêtres de toit, ...)
- Type de charpente (charpentes traditionnelles de bâtiment d'habitation, fermettes, charpentes industrielles en acier, ...)
- Entraxe entre les différents éléments de charpente primaires (chevrons, pannes) et secondaires (liteaux, ...)
- Dimensions des liteaux (en particulier leur épaisseur)
- Géométrie de la surface disponible (longueur de rampant et largeur)
- Hauteur au faîtage
- Types des éléments de couverture environnants l'installation photovoltaïque et état (pour apprécier s'ils doivent être remplacés ou non)
- Présence ou non d'un écran de sous toiture pour les couvertures en petits éléments (tuiles ou ardoises) dans le cas d'une toiture existante. En cas d'écran de sous-toiture existant, diagnostic de la qualité (non percé, ...),



- Principe de ventilation de la toiture existante
- Type d'isolation existante ou à venir (en rampant ou sur plancher en combles perdus)
- Présence ou non d'éléments en sous-face de la future installation, susceptibles d'assurer la sécurité des usagers (cf. § [10.1.2]).
- Présence ou non d'amiante afin de faire intervenir des entreprises disposant des compétences nécessaires au retrait des composants concernés.

6.3.2. • Stabilité du bâtiment

Le système photovoltaïque ne participe pas à la stabilité du bâtiment, laquelle incombe à la structure de celui-ci.

L'incorporation d'un système photovoltaïque à un bâtiment existant peut avoir un impact sur la structure de celui-ci.

Dès lors :

- soit le maître de l'ouvrage a préalablement fait vérifier la capacité de son bâtiment à accueillir l'installation prévue, auquel cas il doit communiquer à l'entreprise les conclusions de cette évaluation ;
- soit une telle étude n'a pas été réalisée, et il est alors conseillé à l'entreprise d'informer le maître de l'ouvrage sur la nécessité d'en faire réaliser une et de n'effectuer les travaux qu'au vu de ces résultats.

La vérification de la capacité du bâtiment à accueillir l'installation se traduit par le contrôle des points suivants.

Cette mission peut être confiée à l'entreprise de bâtiment si elle en a les compétences ou à un bureau d'études structure.



Cette reconnaissance requière des compétences « structure ».

Ne pas hésiter à confier cette mission à des experts (bureau d'études structure).

- Stabilité sous charges descendantes
Le système photovoltaïque incorporé à un bâtiment peut avoir un impact sur cette stabilité notamment en modifiant la charge par le remplacement d'une couverture existante par un système photovoltaïque.
Même si la charge due au poids propre du système est inférieure à celle de la couverture qu'il remplace, cette charge peut être différemment répartie. Par exemple, si la charge des tuiles est quasiment uniformément répartie sur les liteaux de couverture, la charge transmise par les modules peut être concentrée



(ponctuelle par exemple via les vis de fixations de rails sur les liteaux) sur un nombre limité de liteaux qui, en conséquence, peuvent subir des contraintes bien supérieures à celles qu'ils recevaient jusque-là.

De nombreux bâtiments anciens, notamment agricoles, d'élevage ou de stockage de matériel, de foin ou de paille, n'ont pas été calculés. De plus, le vieillissement, l'oxydation des aciers ou la détérioration des bois de charpente, ont pu amoindrir la résistance de la structure.

Il convient donc de vérifier si le bâtiment est apte à recevoir un système photovoltaïque compte tenu notamment du coût de l'installation et des conséquences qu'entraînerait une ruine du bâtiment.



Une mauvaise prise en compte de ce point peut par exemple amener à des affaissements de toiture.

- Continuités d'appui

Certains systèmes peuvent générer des continuités d'appuis sur les pannes. Il convient de s'informer auprès du fabricant du système photovoltaïque des descentes de charge et vérifier que le dimensionnement de la charpente permet de s'y opposer, notamment vis-à-vis des risques de déversement des pannes.

- Stabilité sous charges ascendantes

Tout comme pour les charges descendantes, les charges imposées par le système photovoltaïque ne sont pas nécessairement uniformément réparties. Il convient par conséquent de vérifier que l'ossature est dimensionnée pour résister aux sollicitations ponctuelles ou linéaires.

Par ailleurs, il convient de vérifier que l'ossature primaire (chevrons, pannes, ...), destinée à recevoir le système de montage du système photovoltaïque directement ou via l'interposition d'une structure secondaire (par exemple contrelatte et liteaux) permet un bon ancrage des éléments de fixation (tenue à l'arrachement des fixations).

Concernant l'ossature secondaire, il est préféré un remplacement systématique des éléments d'ossature dans lesquels le système photovoltaïque est fixé.

- Stabilité sous charges horizontales

Le contreventement de la structure situé, soit dans le plan horizontal supérieur de la charpente, soit dans le plan de la couverture, est destiné à rendre compatible la déformation en parallélogramme de ce plan avec le produit de couverture associé.

Or, il est constaté que dans de nombreux bâtiments anciens, ce point a été négligé et la stabilité du bâtiment repose sur les éléments de couverture, bacs acier ou plaques de fibres-ciment, qui jouent le rôle de diaphragme même si ces composants ne sont pas prévus pour jouer ce rôle.

Il convient donc de vérifier la structure des bâtiments existants vis-à-vis de leur capacité à s'opposer à ces charges horizontales et de réaliser les travaux nécessaires.

- Panne supportant les points fixes

La conception de certains systèmes photovoltaïques repose sur une mise en œuvre nécessitant la fixation d'éléments du système de montage fixés par un point fixe et des point(s) dilatant(s).

Dans ce cas, la panne destinée à recevoir ce point fixe doit être vérifiée quant à sa capacité à jouer ce rôle.

6.3.3. • Planéité de la toiture

La planéité de la toiture accueillant le système photovoltaïque est primordiale pour une mise en œuvre étanche et durable d'un système photovoltaïque.

Pour les flèches admissibles, il convient de se référer aux documents suivants :

- Les dispositions du fabricant du système photovoltaïque quant aux spécificités de pose,
- Les Eurocodes :
 - Structures en acier : dans ce cas, les valeurs limites maximales à prendre en compte pour les flèches verticales sont celles de la ligne « Toiture en général » Tableau 1 de la clause 7.2.1(1)B de la norme NF EN 1993-1-1/NA
 - Structure en bois : dans ce cas, les valeurs limites à prendre en compte pour les flèches sont celles figurant à l'intersection de la colonne « Bâtiments courants » et de la ligne « Éléments structuraux » du Tableau 7.2 de la clause 7.2(2) de la norme NF EN 1995-1-1/NA



Dimensionnement (conception)

7



7.1. • *Electrique*

Ce guide n'a pas vocation à détailler le dimensionnement électrique qui doit être réalisé selon les dispositions du guide pratique UTE C 15-712-1.

Une attention particulière doit notamment être apportée aux points suivants :

- Choix des composants électriques :
Ils doivent être conformes aux dispositions du guide pratique UTE C 15-712-1
- Choix des modules (puissance, conformité normative, ...),
Les modules doivent bénéficier d'une attestation de conformité en cours de validité aux normes NF EN 61215 ou 61646 et 61730.
Un plus serait que les modules soient certifiés (au sens de la loi française n° 94-442 du 03 juin 1994/articles L. 115-27 à L. 115-33), c'est-à-dire ayant fait l'objet d'une évaluation initiale et d'un suivi de la fabrication lors d'audits périodiques ultérieurs.
Cette évaluation doit être effectuée sur les modules identiques à ceux effectivement mis en œuvre sur la toiture.
- Disposition et configuration des modules en toiture en fonction des possibilités techniques et des exigences esthétiques,
- Détermination des chaînes (strings) notamment par rapport aux ombrages. En effet, en cas d'ombrage sur un module, c'est la production de l'ensemble de la chaîne constituée de modules reliés en série (string) qui est impactée. Il est donc important de prévoir un calepinage qui optimise la géométrie des chaînes en fonction des ombres portées,
- Choix des caractéristiques techniques des onduleurs et de leur nombre



Un mauvais dimensionnement des onduleurs peut grever le productible. Les caractéristiques techniques (telles que la plage de tension d'entrée) et leur cohérence avec les caractéristiques du champ photovoltaïque peuvent influencer sur le rendement de l'onduleur et sur l'électricité produite,

- Choix de l'emplacement de l'onduleur,
- Détermination et prévision des types et des longueurs de câbles à prévoir, en fonction de l'emplacement de l'installation photovoltaïque, de l'onduleur, du tableau électrique, du point de raccordement au réseau,
- Prise en compte des pertes dans les circuits DC et AC.

7.2. • Bâtiment

Dans le cas de bâtiment neuf, il conviendra de concevoir le bâtiment et la toiture pour répondre aux différents points spécifiés au § 6.3 et ci-dessous.

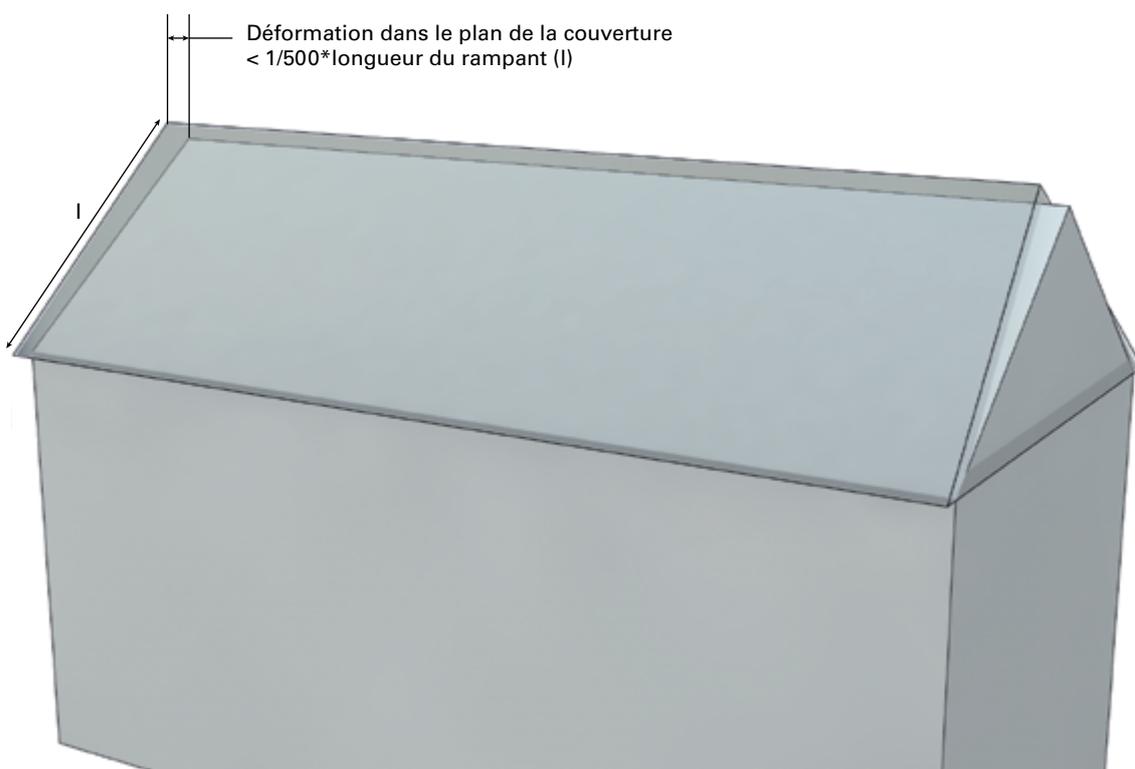
Dans le cas d'un bâtiment existant, suite à la reconnaissance décrite au § [6.3], il conviendra d'apporter les modifications précisées ci-après avant toute implantation d'installation photovoltaïque en faisant appel à une entreprise disposant en propre de compétences dans la réalisation de ces travaux structurels (pouvant de fait être distincte de(des) l'entreprise(s) de mise en œuvre de l'installation photovoltaïque) :

- Stabilité sous charges descendantes
Il s'agit ici de renforcer éventuellement la structure du bâtiment, voire de la remplacer si l'état de la charpente est fortement dégradé.
- Stabilité sous charges ascendantes
Il s'agit ici de renforcer éventuellement la structure du bâtiment, voire de la remplacer si l'état de la charpente est fortement dégradé.
Les éléments d'ossature secondaires (tels que liteaux) doivent quant à eux systématiquement être remplacés lorsqu'ils accueillent les points de fixation du système photovoltaïque.
- Continuités d'appui
Au regard de la répartition des charges induites (continuité d'appuis) par le système photovoltaïque, il peut s'avérer nécessaire de remplacer et/ou de renforcer la charpente.
- Stabilité sous charges horizontales
Dans les cas où :
 - la toiture n'était pas contreventée (possibilité de déformation en parallélogramme)

- les éléments de couverture, bacs acier ou plaques de fibres-ciment, contribuaient au contreventement (même si ces composants ne sont pas prévus à l'origine pour jouer ce rôle),

il convient de contreventer la toiture avant la mise en œuvre de l'installation photovoltaïque.

Compte tenu de la rigidité des modules et des conséquences qu'auraient les sollicitations dans leur plan sur la durabilité de leur fonction de production, la déformation du plan de la couverture doit être limitée à 1/500 telle que schématisé sur la figure suivante :



▲ Figure 11 – Déformation dans le plan de la couverture

- Panne supportant les points fixes
 Lorsque la conception du système repose sur un point fixe et des points dilatants, la panne existante destinée à recevoir ce point fixe doit impérativement être remplacée si elle ne présente pas les caractéristiques requises à cette fonction.
- Planéité de la toiture
 En cas d'écart de planéité important comparativement aux valeurs habituellement admises, des ajustements doivent être réalisés, sauf si le système photovoltaïque comprend des dispositifs spécifiquement dédiés à rattraper les écarts mesurés.



7.3. • Choix du système

7.3.1. • Compatibilité système photovoltaïque / toiture d'implantation

De par ses caractéristiques intrinsèques, chaque système photovoltaïque doit être choisi de manière à **être compatible avec la toiture concernée** et être **utilisé dans son domaine d'emploi**.

Il est du ressort du fabricant de définir explicitement son domaine d'emploi. Ce dernier doit être exhaustif. L'encadré ci-dessous donne un exemple de domaine d'emploi à l'image de ceux définis dans les Avis Techniques, au § 1.2 « Domaine d'emploi » de la rubrique « Dossier Technique établi par le demandeur » (2^{ème} partie de l'Avis Technique). Dans les Avis Techniques, ce paragraphe est systématiquement complété par le § 2.1 « Domaine d'emploi accepté » de « l'Avis » (1^{ère} partie de l'Avis Technique), notamment vis-à-vis des zones de sismicité.

Exemple d'un domaine d'emploi pour un système (procédé) sous Avis Technique destiné à remplacer de petits éléments de couverture :

- Utilisation en France européenne :
 - sauf en climat de montagne caractérisé par une altitude supérieure à 900 m,
 - uniquement au-dessus de locaux à faible ou moyenne hygrométrie.
- Mise en œuvre :
 - sur toitures inclinées de bâtiment neuf ou existant, ne présentant aucune pénétration (cheminées, sorties de toiture, fenêtres de toit...) sur la surface d'implantation des modules photovoltaïques,
 - sur toitures isolées ou au-dessus de combles perdus,
 - exclusivement sur charpente bois (chevrons bois et liteaux) en remplacement de petits éléments de couverture (tuiles, à l'exception de tuiles à pureau plats, et ardoises),

Les couvertures doivent être conformes aux prescriptions des DTU de la série 40.1 et 40.2 concerné(s) (notamment pour la pente, la longueur de rampant et la présence ou non d'un écran de sous toiture).

 - au-dessus d'un écran de sous toiture
- La toiture d'implantation doit présenter les caractéristiques suivantes :
 - un entraxe entre chevrons maximum de xxx mm,
 - une épaisseur minimale des liteaux de xxx mm,
 - un entraxe entre liteaux (ou le pureau des éléments de couverture) maximum de xxx mm,
 - des versants de pente, imposée par la toiture, compris entre xx % et yy % (aa ° et bb °) dans le cas d'une pose jusqu'à l'égout et entre xx % et yy % (aa ° et bb °) dans le cas d'une pose en partie courante,
- Les modules photovoltaïques doivent obligatoirement être installés :
 - en mode "portrait" (et/ou paysage),
 - en partie courante de toiture et ce, sans jamais aller jusqu'aux rives latérales de la toiture (sur la base d'un vent normal aux génératrices : long des bords de toiture à partir de la rive, sur une profondeur égale au 1/10^{ème} de la hauteur du bâtiment (h) sans toutefois dépasser le 1/10^{ème} de la largeur de ce même bâtiment (b/10)). Il est toutefois possible de descendre le champ photovoltaïque jusqu'à l'égout. En revanche, xxx rang(s) d'éléments de couverture doi(ven)t toujours être conservé(s) au niveau du faîtage pour permettre un recouvrement sur les abergements hauts,
 - sur des longueurs de rampants de toiture de xx m maximum équivalent à une longueur projetée de yy m et de toutes façons inférieures aux longueurs de rampant maximum définies dans les DTU et les documents de références concernés lorsque des éléments de couvertures sont associées aux modules photovoltaïques,
 - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous vent normal n'excédant pas xxx Pa*,
 - sur des toitures soumises à des charges climatiques sous neige normale n'excédant pas yy Pa*.

*Pour information, la norme NF P 78-116 – « Verre dans la construction/Modules photovoltaïque incorpo-



rés au bâti/Dimensionnement en toiture » définit une méthode de calcul, en fonction du type de système photovoltaïque (modules jointifs ou non – présence d'une sous-couche – importance de la lame d'air entre sous-couche et modules, ...) pour déterminer les pressions de neige et de vent avec les EURO-CODES (aux états limites) afin de vérifier **le dimensionnement des feuilles de verre des modules photovoltaïques**. Des tableaux en annexe de cette norme fournissent des valeurs "enveloppe" (sécuritaires) de vent pour les combinaisons ELS (État Limite de Service) qui permettent ainsi de relier la limite d'emploi du système vis-à-vis du vent et de la neige avec les lieux possibles d'implantation (cf. extrait en [Annexe 3]).

7.3.2. • Notice de montage, formation et assistance technique

Compte tenu de la spécificité de mise en œuvre des différents systèmes proposés sur le marché et parfois la complexité de montage de certains, il est fortement recommandé :

- d'opter pour des systèmes bénéficiant de notices de montage claires et complètes.

Pour rappel, le fabricant est tenu de rédiger impérativement les documents accompagnant son système photovoltaïque (notice de pose, documentation technique, recommandations d'entretien,...) en français, comme stipulé dans l'article 2 de la loi n°94-665 du 4 août 1994.

- De s'informer auprès des fabricants des possibilités de formation aux prescriptions de mise en œuvre de leur propre système.
Certains fabricants imposent d'ailleurs parfois cette formation pour la pose de leur système (entreprise « agréée » – attestation de formation nominative)
- de s'assurer que le fabricant dispose d'une assistance technique située en France avec possibilité de déplacement d'un technicien.

Les démarches administratives



A l'exception des démarches décrites au paragraphe [8.3], les autres démarches administratives précisées dans ce paragraphe 8 concernent le producteur (généralement le maître d'ouvrage). Cependant, celui-ci peut mandater un tiers pour la réalisation de ces démarches qui nécessitent un proche suivi administratif.

8.1. • Généralités

Le présent document n'a pas vocation à détailler l'ensemble des démarches administratives associées aux projets d'installations photovoltaïques – qui ne concernent pas toutes les entreprises de bâtiment et diffèrent parfois d'un projet à un autre ou d'un gestionnaire de réseau à l'autre. Néanmoins, celles-ci sont décrites ci-après dans leurs grandes lignes. Une bonne connaissance et un bon suivi des démarches administratives par les différentes parties prenantes peuvent avoir une importance cruciale dans le cadre d'un projet d'installation photovoltaïque.

Au cours de l'élaboration du projet, plusieurs types de démarches sont à distinguer :

- Les démarches d'urbanisme (mairie, ABF...)

Il s'agit d'obtenir les autorisations d'implantation de la part des différentes autorités administratives.
- Les démarches de financement (banques...)

Une installation peut nécessiter une attestation de fonds propres ou une offre de prêt bancaire, que le maître d'ouvrage peut négocier avec son banquier.



- Les démarches de raccordement (ERDF ou régies locales...)
Le premier document à envoyer est la demande de raccordement. Le gestionnaire de réseau établit ensuite un devis de raccordement (ou PTF : proposition technique et financière), qui est suivi, après acceptation, d'un contrat de raccordement, d'un contrat d'accès et d'un contrat d'exploitation. Des acomptes sont demandés au cours de ces démarches. Une attestation de conformité d'un organisme visé à l'article 4 du décret n° 72-1120 du 14 décembre 1972 relatif au contrôle et à l'attestation de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes de sécurité en vigueur (CONSUEL, ...) et une attestation d'assurance responsabilité civile du maître d'ouvrage sont également exigées pour que le raccordement soit effectué.

- Les démarches liées au contrat d'achat (EDF AOA ou autre acheteur)

Il s'agit principalement de signer le contrat d'achat émis par l'acheteur après la mise en service de l'installation. Puis, tout au long du contrat d'achat, le producteur établira des factures qui lui seront réglées par l'acheteur, et dont le montant correspondra à l'énergie produite par l'installation durant un intervalle de temps défini dans le contrat.

Les démarches les plus longues sont généralement celles liées au raccordement de l'installation au réseau. En règle générale, il faut prévoir plusieurs mois de démarches administratives entre le début d'un projet et la signature du contrat d'achat correspondant.

Quelques points d'attention concernant les démarches d'urbanisme et l'attestation de l'entreprise du bâtiment sont décrits aux paragraphes suivants.

Le site internet « <http://www.photovoltaique.info> » propose par ailleurs des guides complets des démarches administratives, comprenant des tableaux de synthèse des démarches successives à effectuer.

8.2. • *Urbanisme*

L'installation d'un système photovoltaïque en toiture requiert systématiquement une démarche auprès de la mairie de la commune où sera installé le système.

Il convient notamment à cette occasion de se renseigner sur la réglementation locale concernant l'aspect de l'habitation (matériaux utilisés, pentes des toits, couleur...)

Une attention doit également être apportée à la localisation du bâtiment vis-à-vis :



- des sites et monuments historiques inscrits ou classés au patrimoine,
- des lignes aériennes et aéroports (risque d'éblouissement).

8.2.1. • Installation sur bâtiment existant

Dans le cas d'une installation d'un système photovoltaïque sur une construction existante (modification d'aspect extérieur exclusivement), une demande de déclaration préalable de travaux doit être faite.

Dans le cas où l'installation occasionne d'autres modifications (tels que la création de nouvelle surface de plancher, le changement de destination de bâtiment), il convient de déposer une demande de permis de construire devant explicitement faire mention de cette installation photovoltaïque.

8.2.2. • Installation sur bâtiment neuf

Dans le cas d'une installation d'un système photovoltaïque sur une construction neuve, une demande de permis de construire mentionnant la mise en œuvre du système photovoltaïque doit être faite.

8.2.3. • Zones soumises à l'avis des Architectes des Bâtiments de France (ABF)

Si la zone d'implantation du projet d'installation photovoltaïque est située dans un secteur sauvegardé, un site inscrit, une aire de mise en valeur de l'architecture et du patrimoine ou dans un périmètre de protection d'un monument classé ou inscrit (500 mètres) avec co-visibilité de l'installation et du monument, la mairie devra consulter l'ABF et rendre sa décision en fonction de son avis.

8.3. • Attestation sur l'honneur et tarifs d'achat

En publiant au Journal Officiel, dès juillet 2006, des arrêtés successifs « fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n° 2000-1196 du 6 décembre 2000 » (arrêté en application à la date de rédaction du présent document en date du 4 mars 2011), la France a fait le choix d'accompagner le développement de systèmes photovoltaïques respectant des critères dits « d'intégration au bâti » ou « d'intégration simplifiée au bâti » grâce notamment à des mesures incitatives en termes de tarif d'achat.

L'annexe 2 de l'Arrêté du 4 mars 2011 modifié, décrit ces critères qui sont de deux natures :



- des **critères techniques** liés au système photovoltaïque
- des **critères non techniques** liés au bâtiment sur lequel est installé le système

Ces critères (âge, usage, bâtiment clos et couvert, puissance nominale installée), sont variables d'un chantier à un autre. Il appartient au porteur de projet et aux entreprises de bâtiment de les respecter.

L'annexe 2 de l'Arrêté du 4 mars 2011 modifié définit par ailleurs à l'article 6 que :

- « le producteur fournit à l'acheteur **une attestation sur l'honneur de l'installateur** du système photovoltaïque certifiant que :
 - l'intégration au bâti ou l'intégration simplifiée au bâti a été réalisée dans le respect des règles d'éligibilité citées dans l'annexe 2 de l'arrêté tarifaire ;
 - les ouvrages exécutés pour incorporer l'installation photovoltaïque dans le bâtiment ont été conçus et réalisés de manière à satisfaire l'ensemble des exigences auxquelles ils sont soumis, notamment les règles de conception et de réalisation visées par les normes NF DTU, des règles professionnelles ou des évaluations techniques (avis technique, document technique d'application, Agrément Technique Européen, Appréciation Technique expérimentale, Pass'Innovation, Enquête de Technique Nouvelle), ou toutes autres règles équivalentes d'autres pays membres de l'Espace économique européen.
 - Le producteur tient ces attestations ainsi que les justificatifs correspondants à la disposition du préfet ».



Parmi les règles d'éligibilité au tarif d'intégration au bâti, l'entreprise du bâtiment doit notamment vérifier, au cas par cas, que le système photovoltaïque ne dépasse pas de plus de xx mm (20 mm à la date de publication du présent document) de la couverture existante si la prime visée l'exige.



Aspects assuranciers

9



Ce paragraphe n'est pas destiné à décrire tous les aspects assuranciers relatifs à une installation photovoltaïque.

Il est uniquement dédié à rappeler les grands principes qu'une entreprise du bâtiment doit avoir en tête en termes d'assurance lors des différentes étapes d'une installation photovoltaïque, c'est-à-dire de l'achat à la réception de chantier.

9.1. • *Transport et stockage*

Au regard du coût important d'un système photovoltaïque, notamment lié aux modules photovoltaïques, il est fondamental d'examiner attentivement les clauses d'assurance en termes de valeurs assurées, tout particulièrement lors du transport (vis-à-vis des risques de détérioration) et du stockage (vis-à-vis des risques de détérioration mais également de vol).

9.2. • *Mise en œuvre*

L'expérience qui a pu être acquise en France dans le domaine du photovoltaïque reste encore récente.

Par conséquent, la mise en œuvre d'une installation photovoltaïque nécessite de saisir le plus en amont possible son assureur pour étudier la mise en place de couvertures d'assurances adéquates en vue de disposer de l'attestation d'assurance correspondante.



Une évaluation par tierce partie n'est pas synonyme de « technique courante » au sens des termes utilisés par les assureurs.

10

Sécurité



10.1. • Sécurité des personnes

10.1.1. • Sécurité des intervenants (entreprise du bâtiment)

La fiche pratique de sécurité ED 137 éditée par l'INRS, l'OPPBTP et l'Assurance Maladie ainsi que les recommandations R467 de la Caisse d'Assurance Maladie : « Pose, maintenance et dépose de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques en sécurité » décrivent les dispositions principales correspondantes.



Ces fiches pratiques sont destinées à illustrer les dispositions en matière de prévention des accidents mais ne saurait se substituer aux dispositions réglementaires.

Risques de chute

L'emploi de dispositifs de sécurité (protections collectives, harnais, ceintures, équipements, dispositifs d'arrêt...) est obligatoire afin de répondre aux exigences en matière de prévention des accidents, notamment pour le travail en hauteur, la priorité étant à apporter, dans la mesure du possible, aux dispositions collectives.

Lors de la pose, de l'entretien, de la maintenance préventive ou curative, il est notamment nécessaire de mettre en place des dispositifs pour empêcher les chutes depuis la toiture selon la réglementation en vigueur (par exemple, un harnais de sécurité relié à une ligne de vie fixée à la charpente et un filet en sous face) ainsi que des dispositifs permettant la circulation des personnes sans appui direct sur les modules (nacelle, échelle de couvreur, ...).



Les points d'ancrage des lignes de vie ne peuvent en aucun cas être positionnés sur le système photovoltaïque.



Un résultat d'essais concluant de résistance aux chocs de 1200 joules conformément au Cahier du CSTB n°3228 des modules photovoltaïques n'est pas suffisant pour pouvoir s'affranchir des dispositifs de sécurité.

Cet essai, réalisé à l'état initial, ne préjuge en effet pas du maintien de ces caractéristiques dans le temps.



Dans le cas de systèmes avec bacs de sous-face, une attention particulière doit être apportée aux caractéristiques des bacs quant à leur capacité à supporter les charges de montage.

Lorsque ceux-ci ne sont pas qualifiés (conformité DTU 40.35, 40.36, ...), il est impératif de réaliser la pose à l'avancement afin de ne pas circuler sur les bacs ou de recourir à des moyens de pose spécifiques.

Risques électriques

D'un point de vue électrique, au voisinage des pièces nues sous tension, l'installateur doit impérativement être habilité (selon la NF C 18-510 qui prévoit notamment des habilitations spécifiques au photovoltaïque telles que BP ou BR) et porter les équipements de protection individuelle : gants isolants, écran facial anti-UV et vérificateur d'absence de tension (en cas de contact, le courant continu conduit à la contraction des muscles de façon fixe à la différence d'un courant continu où il est contracté puis décontracté). Il convient également de garder à l'esprit que les modules photovoltaïques sont sous tension dès qu'ils sont exposés au rayonnement lumineux et ceci sans possibilité d'arrêt. La tension en sortie d'une chaîne de modules reliés en série peut rapidement devenir dangereuse (risque d'arc électrique et de brûlures graves, électrisation voire électrocution). Il est donc important de prendre en compte cette spécificité et de porter une attention particulière à la mise en sécurité électrique de toute intervention menée sur de tels systèmes.

10.1.2. • Sécurité des usagers (utilisateurs du bâtiment)

Risque de choc électrique (voire d'électrocution)

La mise à la terre du système photovoltaïque protège les usagers du risque de choc électrique (voire d'électrocution).



Risque de blessure par chute d'éléments du système photovoltaïque

Les personnes circulant sous le système photovoltaïque ne doivent pas risquer d'être blessées par la chute d'outils lors de l'installation ou d'éléments consécutifs à un bris accidentel du module : fragments de laminés, voire laminé complet qui, fragmenté, resterait en un seul morceau mais s'échapperait du cadre ou des pattes de maintien.

Ceci ne concerne que les cas où il n'y a pas d'ouvrage en sous face du système (modules photovoltaïques directement situés au-dessus des utilisateurs du bâtiment) capable d'assurer la protection vis-à-vis de ce risque ou pour une installation sur des établissements recevant du public (ERP).

Dans ce cas, il est impératif :

- Soit d'avoir des dispositions constructives placées sous les modules afin d'empêcher la chute des fragments ou du laminé : par exemple une grille ou un filet à mailles fines (par exemple filet ou grillage conforme à la norme NF EN 1263),
- Soit d'utiliser des modules caractérisés en tant que produit de sécurité.

10.2. • Sécurité électrique

La sécurité électrique repose sur un bon dimensionnement de l'installation (cf. § [7.1]) et sur une installation électrique réalisée conformément aux documents en vigueur suivants : NF C 15-100, NF C 14-100 et guide pratique UTE C 15-712-1, exclusivement par des électriciens habilités (cf. § [11.6]).

10.3. • Sécurité incendie



Divers travaux sont en cours sur cette thématique. Les dispositions de sécurité incendie devraient par conséquent largement être amenées à évoluer dans les mois à venir. Il convient de se rapprocher régulièrement des services compétents (Commission Centrale de Sécurité (CCS), Sécurité Département Incendie Secours (SDIS), ...).

Au-delà de 12 mètres de distance entre l'installation et tout bâtiment voisin, toute couverture peut être utilisée sans restriction vis-à-vis d'un feu extérieur, en habitation ou en établissement recevant du public (ERP) (Art 15 de l'arrêté du 31 janvier 1986 et article CO17§1 de l'arrêté du 25 juin 1980).

Si les revêtements de couverture sont classés M1 à M3, ils peuvent être utilisés sur des supports continus en matériau incombustible ou en panneaux de bois.

Si les supports ne sont pas continus en matériau incombustible ou en panneaux de bois, le revêtement doit être classé au moins M1 et doit avoir une classe « T » et un indice « i » fonction du type de bâtiment et de la distance au bâtiment tiers (voir Art 15 de l'arrêté du 31 janvier 1986 et article CO17§1 de l'arrêté du 25 juin 1980). La classe T30 indice 1 répond à toutes les exigences ainsi que la classe Broof(t 3).

En complément, afin d'éviter la transmission du feu par la couverture, il est important d'éviter un départ de feu dû au système photovoltaïque lui-même.

Pour cela, on se reportera au chapitre « sécurité électrique ».

Pour la mise en œuvre dans les établissements recevant du public (ERP), il est nécessaire de prendre en compte les exigences de l'Avis de la CCS du 5 novembre 2009 consultable sur :

http://www.interieur.gouv.fr/sections/a_l_interieur/defense_et_securite_civiles/dossiers/ccs/relevés-ccs-novembre-2009



11

Mise en œuvre



Il est important de rappeler ici que ce document n'a pas pour objectif de décrire la mise en œuvre du système photovoltaïque en partie courante, celle-ci étant intrinsèque à chaque système.

Ainsi, les paragraphes suivants ne mentionnent que des **principes non exhaustifs** de réalisation des jonctions de l'installation photovoltaïque avec les éléments environnants (éléments de couverture, rives de bâtiment, faîtage et égout), ceux-ci devant cependant être décrits dans les notices de montage des fabricants.

11.1. • Généralités

Lors des différentes étapes, il est impératif de **ne pas marcher sur les modules (même en bordure de ceux-ci)**, ce pour des questions avant tout de sécurité mais également pour les dommages, non nécessairement visibles à l'œil, que cela occasionnerait, telles que des microfissures des cellules photovoltaïques, préjudiciables à la production électrique.

Pour des raisons de sécurité ainsi que d'assurance, il convient par ailleurs de ne jamais percer un cadre de module photovoltaïque. Les conformités de ce dernier aux normes NF EN 61215 ou NF EN 61646 et NF EN 61730 ne seraient en effet plus valables. Les modules doivent avoir été conçus avec les perçages nécessaires aux connexions de mise à la terre. Dans le cas contraire, il convient de recourir à des dispositions de mise à la terre spécifiques ne nécessitant pas de perçage.

11.2. • Conditions préalable à la pose

La mise en œuvre doit uniquement être réalisée si le système photovoltaïque est compatible avec la toiture destinée à l'accueillir (cf. domaine d'emploi au § [7.3.1]).

Ceci nécessite par conséquent une reconnaissance préalable du bâtiment et de sa toiture (cf. 6) ainsi que les modifications éventuellement nécessaires telles que rattrapage de planéité, renforcement de la charpente, mise en œuvre d'éléments de contreventement, remplacement des éléments de toiture endommagés,... (cf. 7).



Le système photovoltaïque doit être mis en œuvre sur une toiture plane, condition sine qua non d'une mise en œuvre étanche et durable (cf. § [6.3.3]). En complément, il convient également de se référer aux prescriptions du fabricant :

- pour s'assurer que le système photovoltaïque ne nécessite pas une planéité de la toiture plus contraignante que celle habituellement admise,
- pour connaître les dispositions à mettre en œuvre pour caler éventuellement le système photovoltaïque en fonction de la planéité de la toiture.

11.3. • Compétences des installateurs

La mise en œuvre, tout comme la maintenance et l'entretien des systèmes photovoltaïques, requiert les compétences suivantes :

- Compétences en couverture,
- Compétences électriques avec habilitation correspondante obligatoire (selon NF C 18-510 qui prévoit notamment des habilitations spécifique au photovoltaïque telles que BP ou BR) selon le type d'intervention (connexion des modules entre eux sur une même chaîne ou interventions au voisinage de pièces nues sous tension).

Au-delà de ces compétences couverture et/ou électrique, il convient que les entreprises soient qualifiées et/ou certifiées pour la mise en œuvre de systèmes photovoltaïques.

En complément, les fabricants proposent, voire imposent, une formation photovoltaïque théorique et pratique destinée aux entreprises du bâtiment afin de mieux appréhender les systèmes photovoltaïques en général ainsi que les prescriptions de mise en œuvre de leur propre système.



11.4. • Contrôles à réception

A la livraison du système, il est impératif de procéder à un contrôle minutieux des composants réceptionnés, tant en termes de quantité que de qualité (contrôle visuel d'éventuelles dégradations).

Il s'avère notamment important de vérifier la mise à disposition par le fabricant, en français, d'une notice de montage et de câblage du système.

Concernant les composants du système, il est important de vérifier que les modules photovoltaïques :

- bénéficient d'une conformité électrique aux normes NF EN 61215 ou NF EN 61646 et NF EN 61730. Cette conformité doit porter sur les modules identiques à ceux effectivement mis en œuvre sur la toiture,
- comportent bien le marquage exigé par la norme NF EN 50380 dont un extrait (§ 4 Information des plaques constructeurs) est reporté ci-après :
 - Nom et signe d'origine du constructeur ou du fournisseur,
 - Désignation de type,
 - Classification de protection,
 - Tension du système maximale autorisée
 - $P_{\max} \pm$ tolérances de production, I_{sc} , V_{oc} , V_{mpp} (toutes les valeurs aux STC)
- ne présentent pas de dégradations visibles à l'œil sur les deux faces,
- sont accompagnés des flash tests réalisés en usine,
- fonctionnent via une mesure de tension et d'intensité aux bornes du module.

Il est par ailleurs recommandé de trier les différents modules suivants leurs caractéristiques électriques (puissance ou intensité) fournies par le fabricant, via le flash test, afin d'associer sur une même chaîne des modules de caractéristiques ne variant pas de plus de 3 à 5%.

Ce tri est destiné à optimiser la disposition des modules les uns par rapport aux autres sur la toiture afin d'optimiser le rendement.

Cette disposition doit faire l'objet d'un repérage précis (quel n° de série à quel emplacement sur la toiture) qui doit être archivé par l'entreprise du bâtiment avec remise d'une copie au maître d'ouvrage. Ceci permettra, en cas de besoin, d'identifier rapidement d'éventuels modules qu'il y aurait lieu de remplacer en cas d'identification de dysfonctionnement.



11.5. • Préparation de la toiture

11.5.1. • Écran de sous toiture

Lorsqu'ils produisent, les modules photovoltaïques s'échauffent et conduisent ainsi généralement à des phénomènes de condensation lors notamment des changements de température (jour/nuit par exemple). Ces condensations se produisent en sous-face des modules risquant de goutter sur le plafond du logement ou sur l'isolant, entraînant des désordres.

Les condensations sur l'ouvrage peuvent provenir de deux sources :

- L'air ambiant se trouve au contact d'une paroi froide dont la température est inférieure au point de rosée. C'est par exemple le cas de la buée que l'on constate sur les simples vitrages ou de la rosée matinale qui se produit sur des parois dont le rayonnement nocturne a abaissé la température à une valeur inférieure à celle de l'air ambiant. Ce phénomène peut se rencontrer aussi bien en été qu'en hiver.
- Il y a migration de vapeur au travers des couches successives constituant la paroi séparant deux ambiances à humidité différente. En France métropolitaine, ce flux s'effectue de l'intérieur, généralement à une température supérieure à celle de l'extérieur, vers l'extérieur. Il se peut alors que ce flux de vapeur rencontre une paroi dont la température est inférieure à son point de rosée et qu'il se produise de la condensation.

Même en cas d'installation en toiture de combles ventilés, le risque de condensations passagères dues non seulement au rayonnement nocturne mais aussi à la migration de vapeur depuis l'intérieur du logement et à l'émission de vapeur d'eau due à la présence de matériaux hygroscopiques, bois de charpente notamment, ne peut être exclu.

Ainsi, lorsque la fonction étanchéité est attendue, des dispositifs de récupération des condensats doivent être installés tout en veillant à respecter les conditions de ventilation de la toiture.



Les dispositifs de récupération de condensats ne doivent en aucun cas être considérés comme des plans d'étanchéité à l'eau au sens strict du terme.

Charpentes bois revêtues de petits éléments de couverture

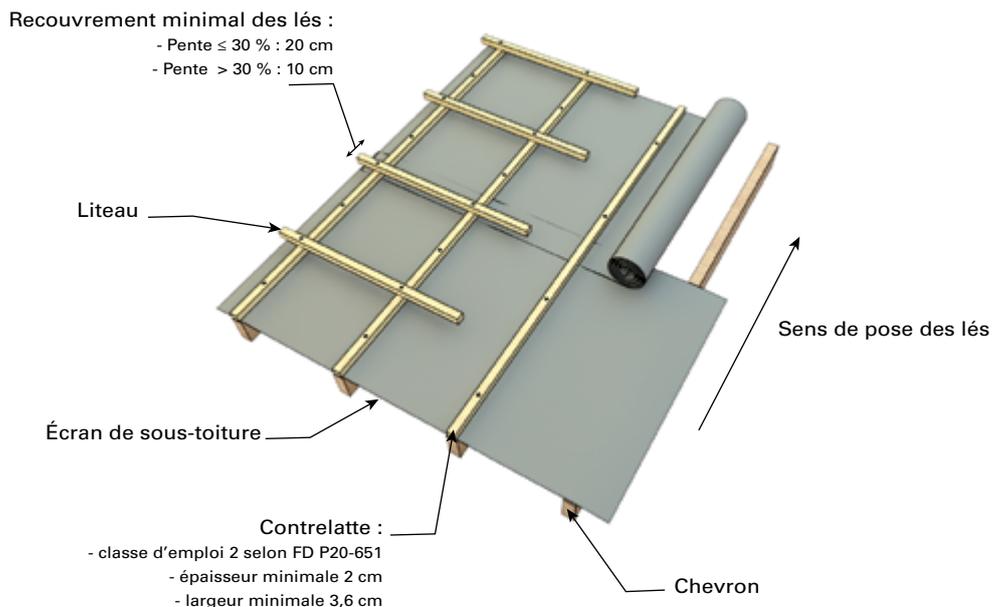
Dans le cas de charpente bois revêtues de petits éléments de couverture (tuiles et ardoises), il s'agit de l'écran souple de sous-toiture (encore appelé EST ou plus communément mais abusivement « pare-pluie ») :



• Bâtiments neufs

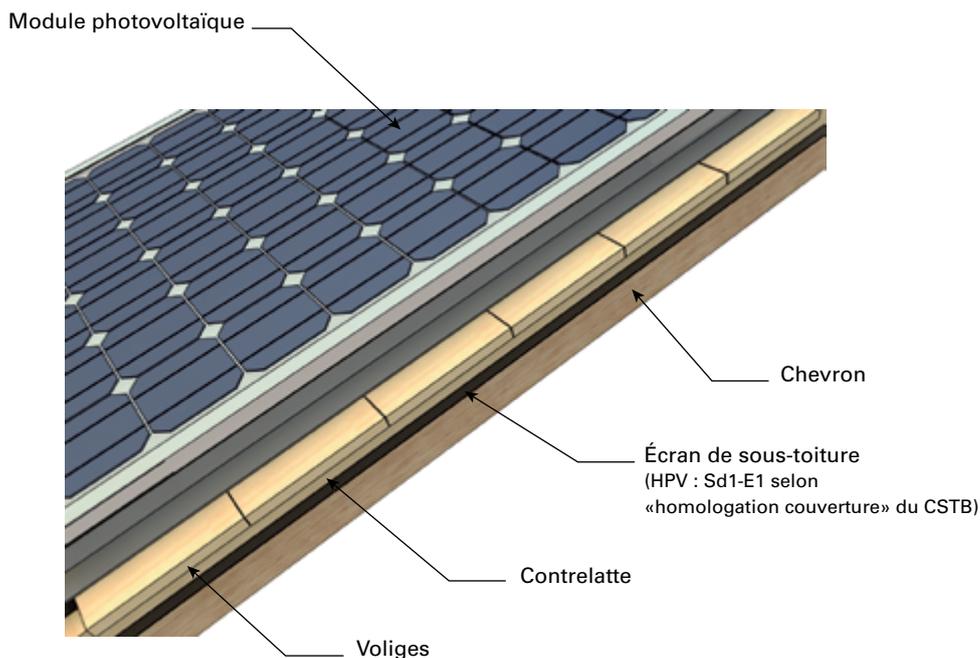
L'écran souple de sous-toiture doit être installé sur toute la toiture (conformité aux DTU concernés) et mis en œuvre conformément aux préconisations du cahier du CSTB n°3651-V2-P2 ou aux dispositions définies dans l'Avis Technique relatif à l'écran de sous-toiture utilisé, à savoir :

- Entre chevrons et contrelattes supportant elles-mêmes les liteaux



▲ Figure 12 – Mise en œuvre de l'écran de sous-toiture

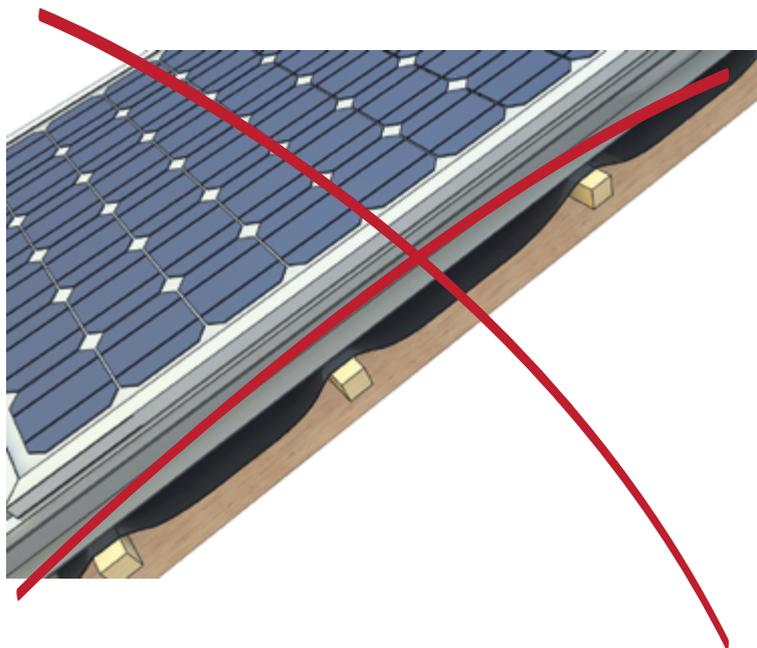
- Sur un voligeage complet



▲ Figure 13 – Mise en œuvre de l'écran de sous-toiture sur voligeage complet



La mise en place sur liteaux, dite pose en augets, n'est pas autorisée, la formation de poche de rétention d'eau compromettrait le rôle de l'écran de sous-toiture.



▲ Figure 14 – Mauvaise mise en œuvre de l'écran de sous-toiture

Remarque :

l'écran de sous toiture joue aussi un rôle par rapport au risque de pénétration de neige sous le système, pénétration plus importante que sur une couverture classique en raison de la ventilation nécessaire au fonctionnement des modules.

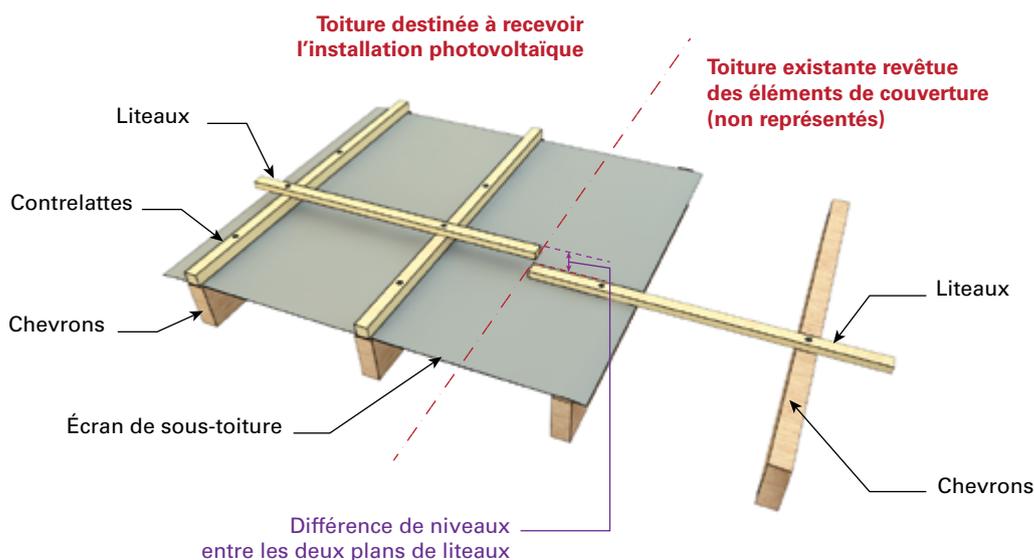
- Bâtiments existants ne disposant pas d'écran de sous-toiture
Nombre de bâtiments existants ne disposent pas d'écran de sous-toiture. Dans ce cas, il convient d'en ajouter un. Cet écran doit être perméable à la vapeur et faire l'objet d'une « Homologation couverture » du CSTB avec un classement E1 ou d'un Avis Technique avec un classement W1 selon la norme EN 13859-1, ou bénéficier d'une autre évaluation équivalente par tierce partie. En cas d'absence de ventilation en sous face de l'écran de sous-toiture (exemple : pose sur voligeage), celui-ci doit de plus être HPV (Hautement Perméable à la Vapeur), ou S_{d1} selon « l'Homologation couverture » du CSTB.

Dans ce cas de toitures existantes ne disposant pas d'écran de sous-toiture, la difficulté principale réside dans la mise en œuvre de cet écran. En effet, pour éviter de déposer et reposer toute la toiture et pour des raisons économiques, le choix est généralement fait de mettre cet écran uniquement sous l'installation photovoltaïque.

Lorsque les éléments de couverture existants sont conservés, ceux-ci reposent sur liteaux posés directement sur les chevrons. En revanche, l'installation photovoltaïque repose sur de nouveaux liteaux posés sur contrelattes.



Par conséquent, l'ajout de l'écran de sous-toiture uniquement sous l'installation photovoltaïque conduit à un décalage, vers le haut, du plan des liteaux supportant le système photovoltaïque comparativement aux liteaux situés sous les éléments de couverture environnants. Ceci crée notamment des plans d'étanchéité à des hauteurs différentes, qu'il peut être difficile de gérer avec les abergements périphériques d'où des risques plus importants de fuites.



▲ Figure 15 – Ecart de planéité dans le cas de l'ajout d'un écran de sous-toiture uniquement sous l'installation photovoltaïque

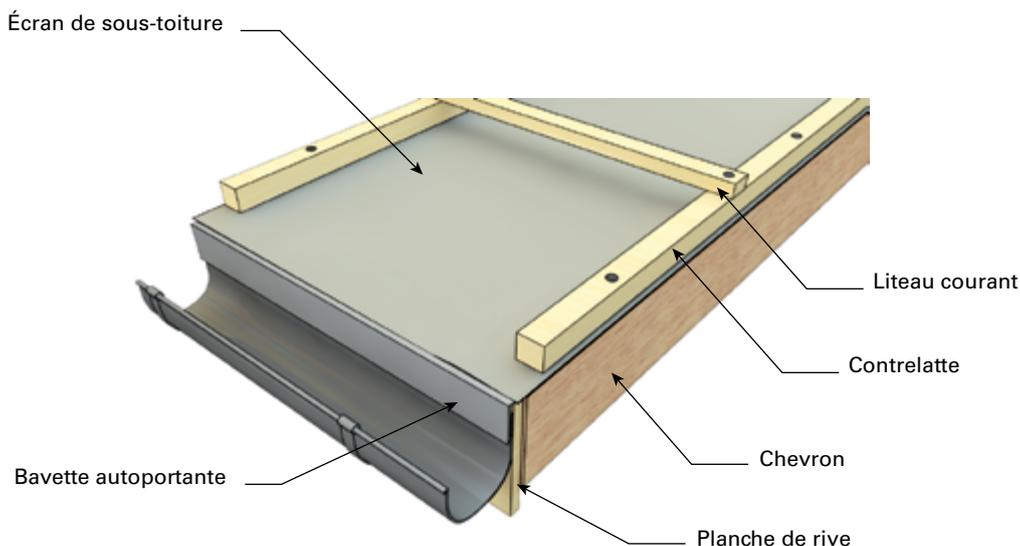
Aussi, dès que les conditions le permettent (par exemple installation photovoltaïque couvrant la majeure partie du pan de toiture), **il convient idéalement d'opter pour la pose de cet écran de sous-toiture sur tout le pan de toiture accueillant l'installation photovoltaïque.**

Dans le cas contraire :

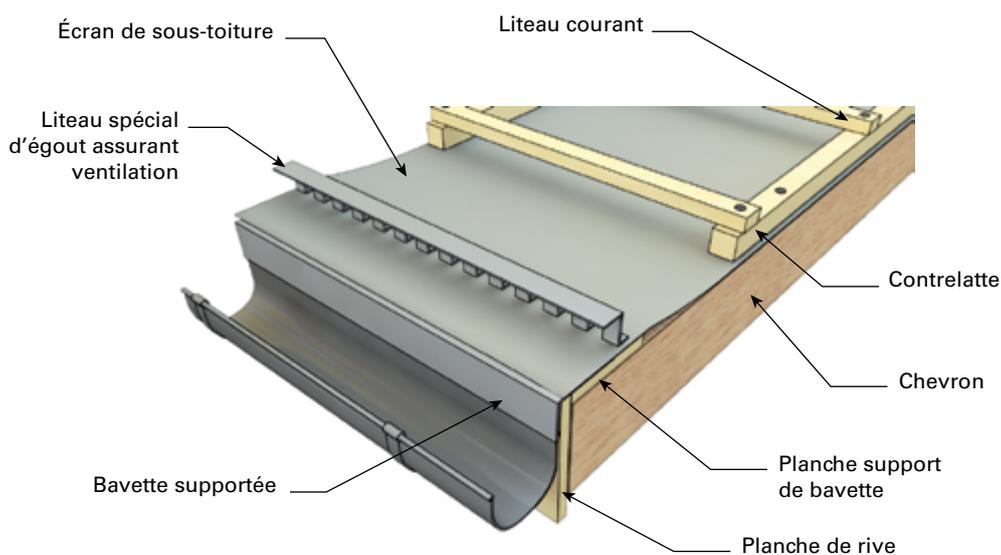
- En partie basse de l'installation photovoltaïque, pour s'affranchir des difficultés de pose et des risques de fuites, **il est impératif de descendre cet écran de sous-toiture jusqu'à l'égout** en veillant à respecter les préconisations du cahier du CSTB n°3651-V2-P2 (recouvrement minimal entre lés de 20 cm (pente > 30%) ou 10 cm (pentes ≤ 30 %), jonction des abouts de lés impérativement au droit d'un support avec un recouvrement de 10 cm, écran non apparent dans la gouttière pour ne pas être exposé de façon prolongée aux UV, raccordement en égout par une bande rigide formant larmier et écran en recouvrement d'au moins 10 cm, ventilation de la face supérieure de l'écran de sous-toiture selon les DTU des séries 40.1 et 40.2, ventilation de la face inférieure si écran de sous-toiture non classé S_{d1} , ...). Les figures ci-dessous, extraites du document



précité, illustrent le traitement à l'égout avec bavette autoportante ou avec liteau spécial assurant ventilation :



▲ Figure 16 – Raccordement à l'égout avec bavette autoportante



▲ Figure 17 – Raccordement à l'égout avec liteau spécial assurant ventilation

- En parties hautes et latérales, l'écran de sous toiture doit être installé au-delà de la stricte surface des modules (possibilité de passage de neige poudreuse) et être présent sous les abersgements (souvent métalliques et par conséquent pouvant condenser en sous face).

Pour les systèmes photovoltaïques avec bacs en sous-face des modules, les bacs permettent l'évacuation des condensats qui se forment sous les modules. Cependant, ces bacs peuvent, notamment s'ils sont métalliques, eux-mêmes condenser en sous face. A noter que la présence d'un régulateur de condensation traditionnel non drainant



en sous-face des bacs (bacs livrés équipés) ne permet pas de supprimer de façon certaine le risque puisque ce régulateur peut se retrouver dans certaines conditions, à saturation, notamment à mi-saison (cf. la fiche pathologie de l'Agence Qualité Construction « Toitures et charpentes – Condensation en sous-face des couvertures métalliques, accessible sur <http://www.qualiteconstruction.com/outils/fiches-pathologie/condensation-en-sous-face-des-couvertures-metalliques.html>). La mise en œuvre d'un écran souple de sous-toiture reste par conséquent la mise en œuvre à privilégier.

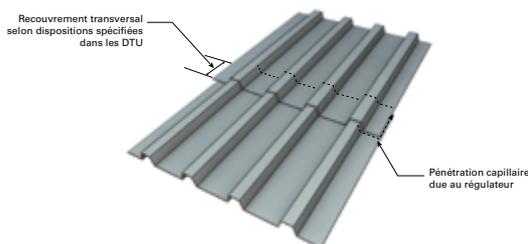
- Bâtiments existants disposant d'un écran de sous-toiture

Dans ce cas de toitures existantes disposant d'ores et déjà d'un écran de sous-toiture, il convient de vérifier la qualité de ce dernier et, au titre du devoir de conseil que l'entreprise doit à son client, si l'entreprise constate une mauvaise qualité (trous, ...), il est fondamental d'identifier clairement ce qui est acceptable ou réhibitoire et d'en informer précisément le client.

Charpentes revêtues de grands éléments de couverture

Dans le cas de charpentes (métalliques, bois ou béton munies d'inserts) revêtues de grands éléments de couverture (plaques profilées ou plaques nervurées), la récupération des condensats est généralement réalisée grâce aux bacs constitutifs du système ou grâce à des tôles de sous-face dédiées à cela. Ces éléments étant généralement métalliques, ils peuvent eux-mêmes condenser en sous face et doivent par conséquent, dans le cas des toitures froides ventilées (cf. 4) être équipées d'un régulateur de condensation traditionnel non drainant en sous face (livrés équipés).

Ce régulateur ne doit pas être appliqué sur la zone de recouvrement pour éviter les pénétrations d'eau de pluie par capillarité.



▲ Figure 18 – Recouvrement de bacs équipés de régulateur de condensation

La présence d'un régulateur de condensation ne permet cependant pas de supprimer de façon certaine le risque puisque ce régulateur peut se retrouver dans certaines conditions, à saturation, notamment à mi-saison (cf. la fiche pathologie de l'Agence Qualité Construction « Toitures et charpentes – Condensation en sous-face des couvertures métalliques, accessible sur <http://www.qualiteconstruction.com/outils/fiches-pathologie/condensation-en-sous-face-des-couvertures-metalliques.html>).

Dans le cas des couvertures en grands éléments, il conviendrait préférentiellement de réserver les bacs équipés de régulateur de condensation aux toitures froides non isolées. Pour les toitures froides isolées, le mieux est de poser, sur les pannes et écrasé par les grands éléments, un feutre tendu avec pare-vapeur intégré, bénéficiant d'un Avis Technique pour cette utilisation.



Dans le cas de toitures chaudes (cf. 4), il convient de ne pas poser de régulateur de condensation : en l'absence de ventilation, le régulateur ne s'assècherait pas ce qui serait néfaste. Il convient de mettre en œuvre, sous les bacs, des closoirs sur toute la longueur de l'installation photovoltaïque afin de fermer l'entrée d'air en égout et la sortie d'air au faîtage.

11.5.2. • Calepinage

La phase de définition de la surface sur laquelle l'installation est à implanter est primordiale, tout particulièrement dans le cas d'une implantation partielle sur bâtiment existant. A noter que dans ce cas, lors du « détuilage », si des éléments de couvertures destinées à assurer la ventilation de la couverture (ex : tuiles chatières) sont présents, ceux-ci doivent être conservés avec précaution afin d'être réinstallés au pourtour de l'installation photovoltaïque. Dans le cas d'une implantation du système photovoltaïque ne le permettant pas, il convient d'assurer la ventilation en sous face du système photovoltaïque.

Au-delà des dimensions hors tout du système, auxquelles il faut ajouter au moins une colonne et une rangée d'éléments de couverture existants en périphérie, **il convient d'éviter au maximum les coupes des éléments de couverture.**

Il faut par conséquent procéder à une étude préalable du plan de couverture et établir un calepinage en fonction du modèle d'éléments de couverture utilisé.

D'une manière générale :

- Calepinage longitudinal (recouvrement suivant la ligne de plus grande pente):
 - pour la disposition des abergements hauts et bas, il convient de positionner le bas de l'installation photovoltaïque de telle sorte que les éléments de couverture situés juste en dessous ne soient pas découpés,
 - le bas des modules photovoltaïque ne doit pas être positionné au contact des éléments de couverture situés juste en dessous (cf. § [11.8.3]),
 - la dimension de l'abergement haut doit être adaptée (abergement façonné à façon selon les règles de l'art) à la toiture afin d'éviter au maximum de découper les éléments de couverture. Pour les systèmes photovoltaïques fournis en kit, ceci nécessite la mise à disposition, par le fabricant, de différentes dimensions ou de dispositifs spécifiques permettant un réglage.
- Calepinage transversal (recouvrement dans le sens parallèle à l'égout)

Pour la disposition des abergements latéraux, il convient de veiller à ce que les éléments de couverture recouvrent bien chaque



abergement (attention à la dissymétrie de certains éléments de couverture). Il convient d'utiliser une des solutions suivantes :

- optimiser le positionnement du système photovoltaïque afin que le côté galbé de la tuile se situe toujours au-dessus du couloir latéral (cf. § [11.8.5]),
- recourir à des tuiles spéciales (demi-tuiles ou doubles tuiles par exemple),
- tout comme les abergements hauts, utiliser des abergements de dimension adaptée (façonnés à façon selon les règles de l'art). Pour les systèmes photovoltaïques fournis en kit, ceci nécessite la mise à disposition par le fabricant, de différentes dimensions ou de dispositifs spécifiques permettant un réglage.

11.5.3. • Liteaunage/voligeage

Dans le cas d'installation sur un bâtiment existant, il est impératif de remplacer systématiquement tous les liteaux et/ou voliges destinés à recevoir les fixations du système photovoltaïque et de les fixer par vis (et non par clou) dans la mesure où la stabilité repose sur leur qualité intrinsèque et leur bonne fixation sur la toiture.

Compte tenu du coût de l'installation et des conséquences qu'aurait une dégradation des éléments en bois, il convient également d'utiliser des bois résineux de classe minimale d'emploi 2 suivant le fascicule de documentation FD P20-651 et classement visuel ST II suivant NF B 52-001, présentant une humidité <20%.

11.6. • Installations électriques

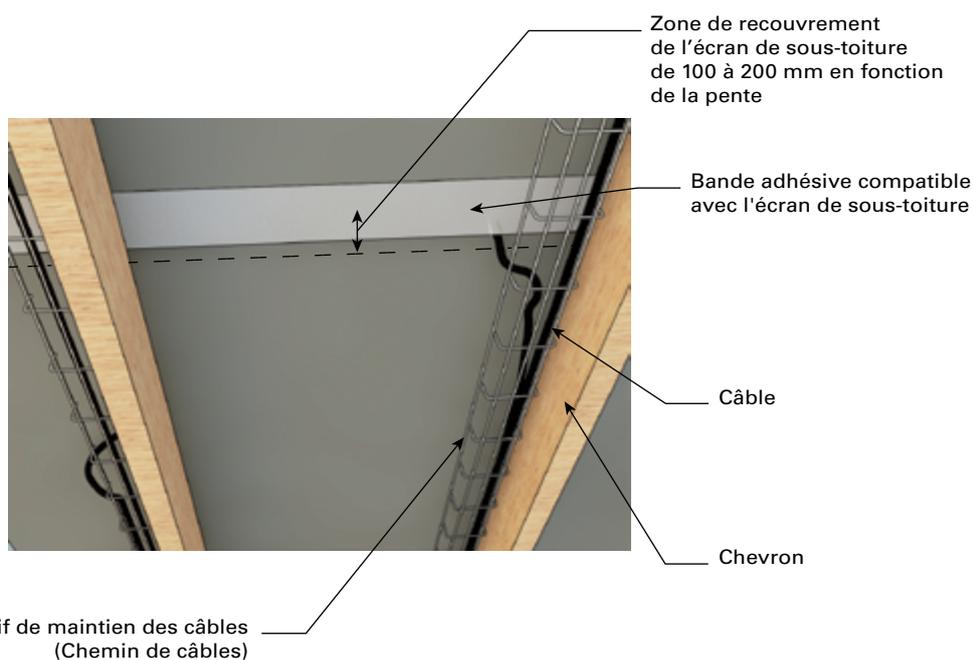
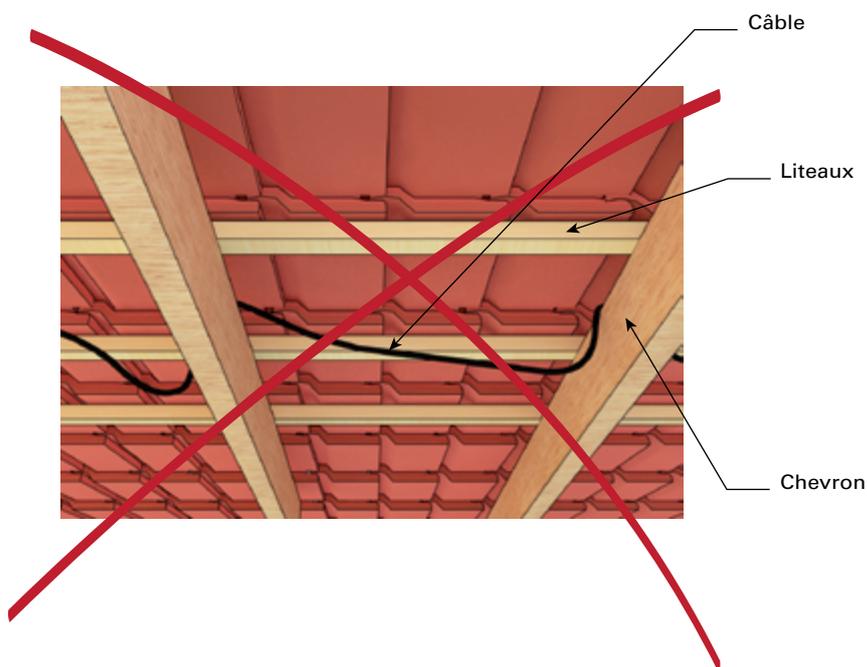
L'installation électrique doit ensuite être réalisée conformément aux documents en vigueur suivants : NF C 15-100, NF C 14-100 et guide pratique UTE C 15-712-1, exclusivement par des électriciens habilités.

Le cahier pratique « Installations solaires photovoltaïques 2^{ème} édition » édité par PROMOTELEC ainsi que le « guide pratique ADEME SER » illustrent les points spécifiques à la partie électrique des installations photovoltaïques.

Il convient notamment d'apporter les attentions particulières suivantes :

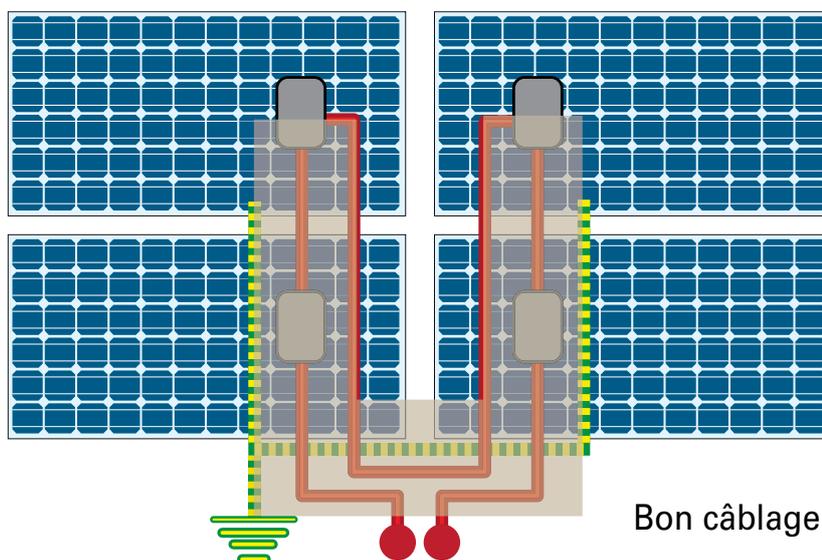
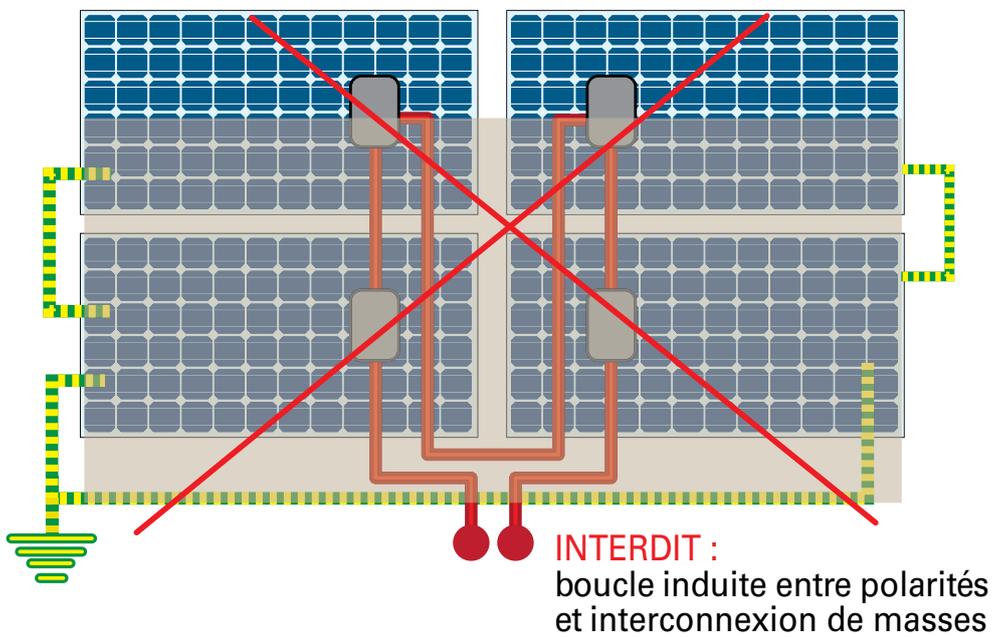
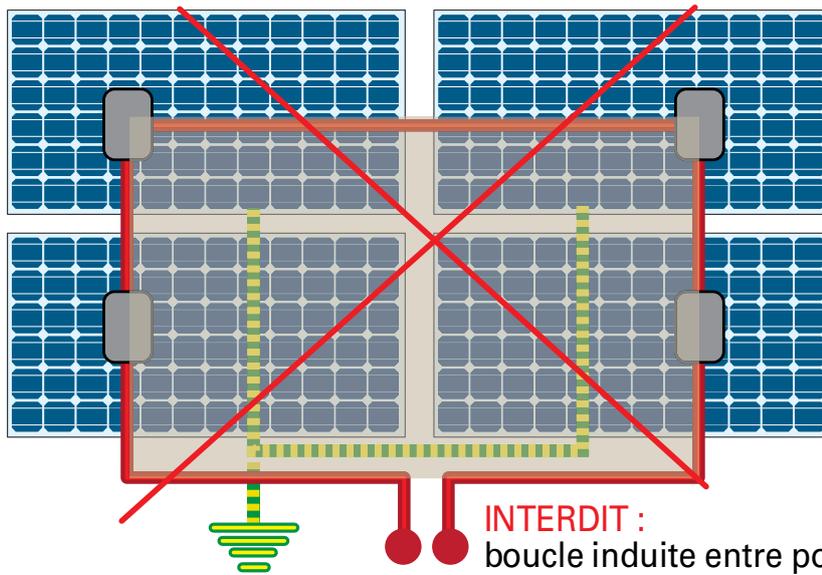
- La liaison équipotentielle des masses doit être continue et maintenue en cas de maintenance préventive ou curative (par exemple en cas de dépose de modules photovoltaïques) ;
- Les câbles et connecteurs doivent être maintenus de telle façon à ce qu'aucune traction ne soit exercée au niveau des connecteurs, ce qui induirait des contraintes (sous l'effet du poids notamment) non prévues dans les câbles et/ou les soumettrait à des effets d'oscillation. Le contact électrique pourrait ainsi ne pas être

maintenu au cours du temps. Il en résulterait des possibilités d'arcs électriques sources d'incendie.



▲ Figure 19 – Exemple de circulation des câbles

- Les câbles et les connecteurs doivent rester situés en dehors des zones d'écoulement des eaux
- Pour éviter de générer un champ magnétique pouvant perturber l'environnement, le cheminement des câbles ne doit pas générer de boucles d'induction. Pour ce faire, la surface des boucles doit être aussi faible que possible. Les câbles DC (+) et (–) et la liaison equipotentielle doivent être jointifs.



▲ Figure 20 – Boucles d'induction



- Les connecteurs ne doivent pas être débrochables sans outils. Ils sont à différencier d'un simple enfichage pouvant être source d'arc électrique. Dans le cas contraire, les vibrations, mise en tension des câbles notamment pourraient les déconnecter et par la suite provoquer un arc électrique occasionnant un départ de feu. Ils doivent par ailleurs présenter un indice de protection minimal IP 65,
- Le raccordement entre connecteurs ne doit être réalisé qu'entre connecteurs de même fabricant, même type et même marque,



Ne pas tenir compte des éventuelles conformités de compatibilité car celles-ci ne peuvent pas tenir compte des évolutions apportées aux connecteurs au cours du temps. Seul le fabricant est à même de maîtriser les évolutions de ses produits.

- Ne pas changer les connecteurs livrés sur les modules,
- Pour les câbles supplémentaires, privilégier l'utilisation de connecteurs déjà installés sur les câbles (limiter les sertissages sur chantier),



Lorsque des sertissages doivent être réalisés sur chantier, il est impératif d'utiliser le matériel de sertissage adapté.

- Les rayons de courbures des câbles, préconisés par les fabricants, doivent être respectés
- La mise à la terre ne peut se faire par contact entre cadre des modules, rails métalliques ou bacs métalliques. Les parties métalliques doivent être reliées électriquement par des câbles de mise à la terre,
- Les cadres ne doivent subir aucune transformation telle que perçage (la conformité des modules aux normes électriques serait perdue). Les cadres doivent disposer des préperçages nécessaires.

Les connexions électriques sont à réaliser au fur et à mesure de la mise en œuvre.

S'il y a passage des câbles à l'intérieur du bâtiment, les étanchéités tant à l'eau qu'à l'air doivent impérativement être conservées :

- Dans le cas de toiture revêtue de petits éléments de couverture au-dessus d'un écran de sous-toiture, le passage des câbles est à réaliser préférentiellement entre deux lés d'écran de sous-toiture de façon à ne pas le percer. Dans ce cas, un recouvrement minimal de 100 mm à 200 mm doit être respecté en fonction de



la pente de la toiture. Dans le cas où le passage entre deux lés est impossible, des entailles doivent être réalisées dans l'écran de manière à créer des passages de diamètre inférieur à celui des câbles. Après le passage des câbles, une bande adhésive (*compatible avec l'écran de sous-toiture considéré*) doit être posée autour des entailles. Dans tous les cas, il est nécessaire de se reporter à l'"Homologation Couverture" du CSTB, à l'Avis Technique ou à une évaluation par tierce partie relatifs à l'écran de sous-toiture considéré.

- Dans le cas de toiture revêtue de grands éléments de couverture, le passage des câbles est à réaliser préférentiellement au niveau du faîtage. De fait, le closoir mousse "contre-profil", s'il est présent (*cas des toitures chaudes*), devra être légèrement creusé pour permettre ce passage. Enfin, afin d'éviter que l'eau ne remonte par capillarité le long de ces câbles, il sera nécessaire de faire un effet "goutte d'eau" avec les câbles au-dessus du closoir "contre-profil" situé en partie supérieure de l'installation.

Au fur et à mesure de la pose, il convient également d'étiqueter l'ensemble de l'installation photovoltaïque rigoureusement et conformément au guide pratique UTE C 15-712-1.

11.7. • Mise en œuvre du système en partie courante

Tel que rappelé en introduction de ce paragraphe 11, ce document n'a pas pour objectif de décrire la mise en œuvre de cette partie de l'installation. Il convient de respecter les préconisations des notices de montage des fabricants et/ou des évaluations techniques par tierces parties (Avis Technique, ...) relatives au système photovoltaïque.

11.8. • Mise en œuvre du système aux points singuliers

11.8.1. • Généralités

La réussite d'une installation photovoltaïque de qualité et durable repose en très grande partie sur la qualité de la mise en œuvre et tout particulièrement aux points singuliers.

Il convient en premier lieu de respecter les prescriptions de mise en œuvre (pente, longueur de rampant,...) précisées dans les DTU relatifs aux éléments de couverture (séries 40.1, 40.2 et 40.3) pour leur mise en œuvre au pourtour de l'installation photovoltaïque.

Aux jonctions entre l'installation photovoltaïque et les éléments de couverture (ou le bâtiment en rive, égout et faîtage), certains systèmes photovoltaïques mis à disposition par les industriels ne comprennent pas nécessairement tous les constituants nécessaires à la mise en œuvre (ex : bois de couverture, abergements,...). Les évaluations par tierce partie préconisent généralement des composants. Lorsque ce n'est pas le cas, le choix des matériaux complémentaires au kit fourni par le fabricant doit être réalisé consciencieusement en fonction notamment de l'exposition de l'installation à l'atmosphère extérieure (cf. § [6.1.1]) et l'ambiance intérieure (cf. § [6.1.2]) (choix des matériaux) et du type de jonction à réaliser.

Devant les diverses spécificités de chaque type de couverture et de chaque région, il est fortement recommandé d'utiliser des systèmes photovoltaïques livrés avec les abergements adaptés à la toiture d'implantation (pente, type d'éléments de couverture, contraintes de calepinage selon § [11.5.2], ...).

11.8.2. • Matériaux

Nature des matériaux

L'exposition de la toiture d'implantation du système photovoltaïque vis-à-vis de l'ambiance intérieure (ex : forte humidité, émanation de gaz) et de l'atmosphère extérieure (ex : rurale, pollution industrielle ou urbaine, marine) doit impérativement guider l'entreprise du bâtiment à choisir, pour les éléments de fixation et les abergements de l'installation photovoltaïque, des matériaux et revêtement de protection associés appropriés, sans quoi la durabilité ne pourrait être au rendez-vous (corrosion, vieillissement prématuré).

Concernant les caractéristiques et protection de l'aluminium et l'acier couramment utilisés, la norme NF P 24-351 « Fenêtres, façades rideaux, semi-rideaux, panneaux à ossature métallique » définit différentes préparations et protections contre la corrosion (pour les métaux susceptibles de s'oxyder) ainsi que contre la dégradation des aspects de surface finies.

Les paragraphes suivants fournissent, à titre d'exemple, quelques indications pour l'acier et l'aluminium.

Matériaux en acier

La norme XP P 34 301 « Tôles et bandes en aciers prélaquées ou revêtues d'un film organique contrecollé ou colaminé destinées au bâtiment » spécifie les prescriptions destinées à la fabrication d'éléments pour le bâtiment, et en particulier, les prescriptions relatives aux différentes catégories de système de revêtement de ces produits.

Elle fournit notamment en annexe A, à titre informatif, des recommandations pour le choix de la catégorie minimale de système de revêtement des tôles et bandes prélaquées à employer en fonction de l'ambiance intérieure ou l'atmosphère extérieure pour les applications respectivement intérieures et extérieures dans le bâtiment.



Elle fournit également en annexe C, à titre informatif, des indications sur les catégories auxquelles sont susceptibles d'appartenir les principaux systèmes de revêtement couramment utilisés. Ces catégories sont fondées sur l'expérience acquise et pourront être complétées en fonction des résultats obtenus lors des essais.

Pour les fixations du système, compte tenu du coût d'une installation et des conséquences qu'auraient une altération de la visserie, il ne peut qu'être recommandé l'utilisation de visserie en acier inoxydable.

Matériaux en aluminium

L'alliage d'aluminium utilisé, tout particulièrement pour les composants principaux tels que les profilés, doit être défini selon la norme EN 573-2 « Aluminium et alliages d'aluminium – Composition chimique et forme des produits corroyés – Partie 2 : système de désignation fondé sur les symboles chimiques ».

Le type de revêtement à adopter est précisé dans le DTU 40.36 – Couvertures en plaques nervurées d'aluminium prélaqué ou non.

Compatibilité des matériaux entre eux

Au-delà des caractéristiques et de la durabilité propre de chaque matériau, il est également impératif que certains matériaux ne se trouvent jamais en contact direct. Ceci conduirait à la création d'un couple électrolytique qui, à moyen ou long terme, amènerait à une destruction progressive de l'un des matériaux. Les DTU 40.35 et 40.36 précisent notamment les contacts interdits suivants :

- acier avec revêtement métallique et cuivre ;
- acier avec revêtement métallique et acier nu ;
- aluminium et cuivre ;
- aluminium et plomb ;
- aluminium et acier non protégé ou couvert d'une peinture contenant des pigments dangereux pour l'aluminium tels ceux à base de composés de plomb comme le minium ;
- aluminium et eau ayant ruisselé sur les métaux ci-dessus ;
- ...

Pour les systèmes photovoltaïques, il s'agit principalement du contact aluminium – acier (ex : bac acier et profilé aluminium ou bacs acier et rivets aluminium).

Un isolant électrique doit impérativement être placé entre les deux matériaux ; le laquage de l'un ou l'autre ou des deux n'étant pas suffisant en raison de l'abrasion pouvant se produire suite aux mouvements et vibration.

L'utilisation de rivets aluminium dans le bac acier est quant à elle interdite.

Le contact entre l'aluminium et le plomb est également préjudiciable : une attention est par conséquent à apporter dans les cas de mise en



œuvre du système photovoltaïque en partie courante de couverture avec l'utilisation d'une étanchéité basse en plomb.

11.8.3. • Étanchéité basse dans le cas d'une toiture partielle

En l'absence de liaison de l'installation photovoltaïque à l'égout, ce point singulier nécessite la réalisation de la jonction de l'installation photovoltaïque avec les éléments de couverture situés immédiatement en dessous.



Les constituants destinés à l'évacuation des condensats (écran souple de sous-toiture, tôles, ...) doivent quant à eux impérativement descendre jusqu'à l'égout

Toitures revêtues de petits éléments de couverture (tuiles ou ardoises)

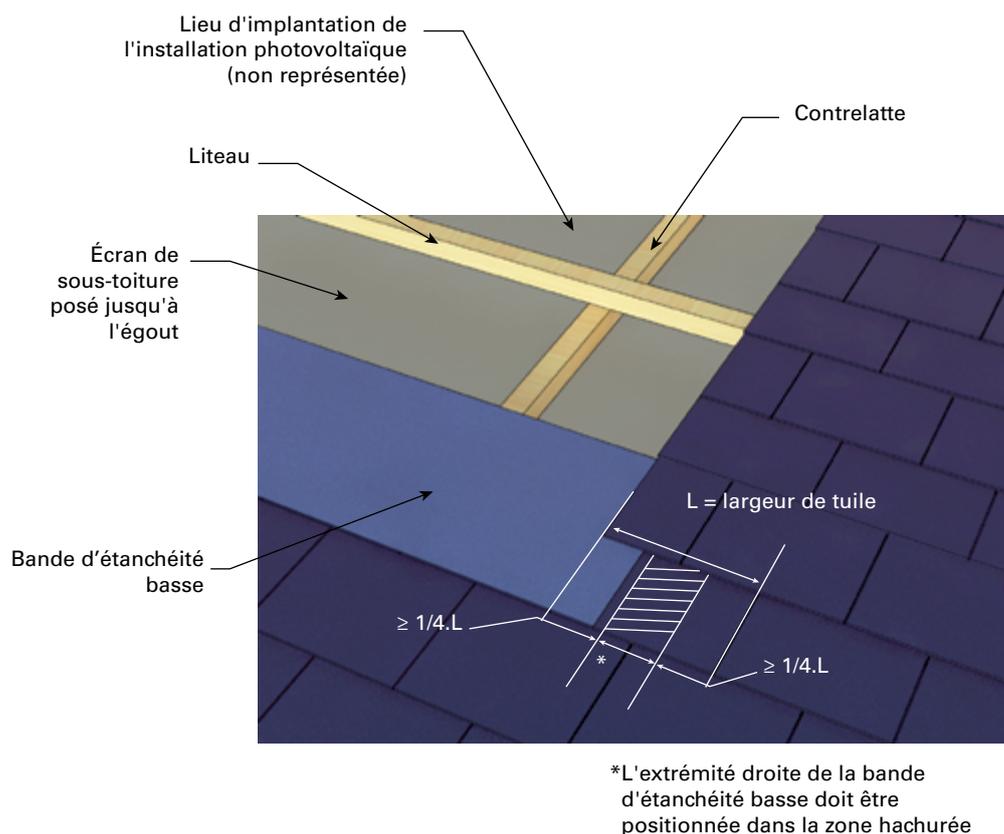
Cette jonction peut être réalisée à l'aide d'une bavette d'étanchéité, telle qu'une bande de zinc, ... ou des éléments manufacturés (dès lors que ceux-ci bénéficient d'une évaluation par tierce partie [Avis Technique, ...] pour cet usage).

La largeur (dimension dans le sens du rampant) de cette bavette doit permettre :

- de recouvrir les éléments de couverture situés sous l'installation photovoltaïque sur 100 mm minimum (à augmenter en fonction des éléments de couverture, de la pente de la toiture, des régions en se reportant aux DTU ad'hoc).
- d'être recouverte par le système photovoltaïque sur un minimum de 200 mm,
- l'absence de toute contrepente (cf. d sur les figures ci-dessous) : un écart d'au moins 3% (2°) entre la pente de la toiture et celle de l'abergement doit être respecté afin de prendre en compte les aléas de chantier.

La longueur (en un ou plusieurs éléments) doit être égale à la largeur hors tout du système photovoltaïque à laquelle il convient d'ajouter :

- la largeur des abergements latéraux ;
- et une largeur fonction des éléments de couvertures environnants :



▲ Figure 21 – Mise en place des extrémités de la bavette d'étanchéité basse

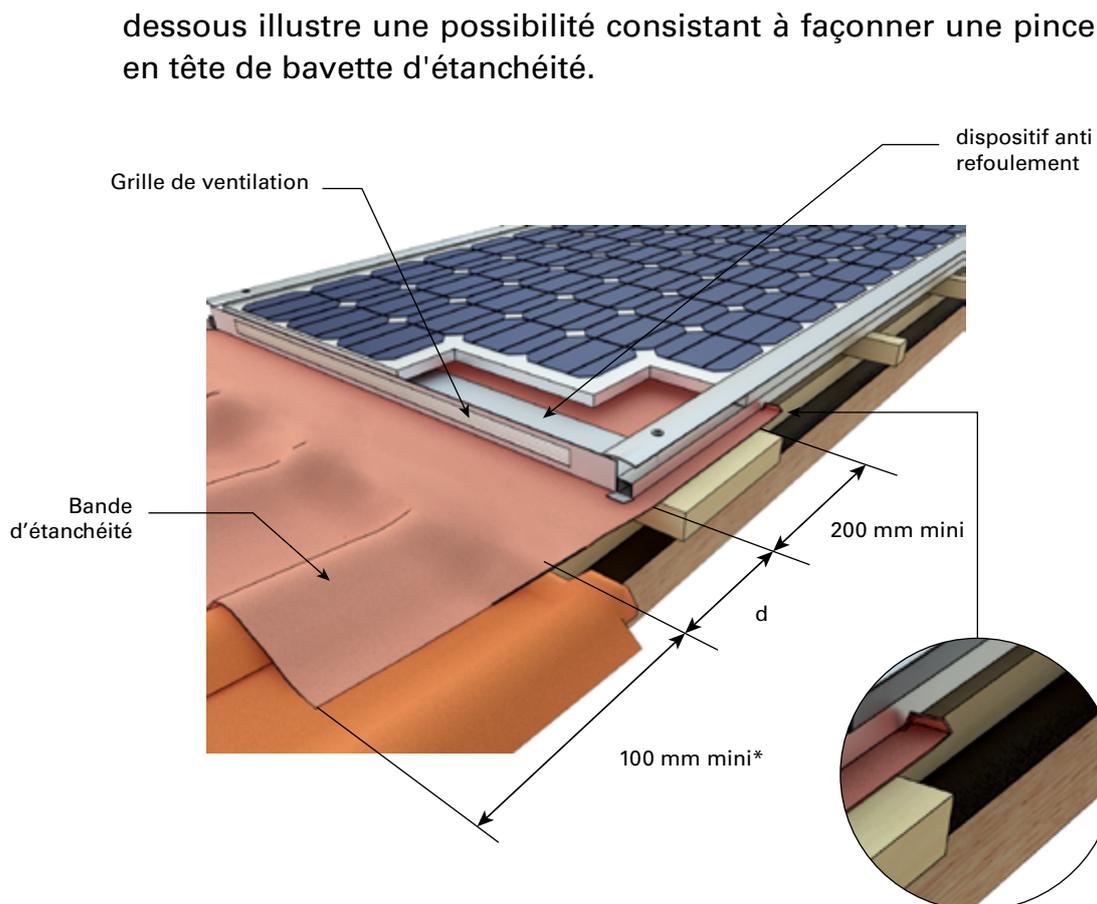
La pose de cette bavette d'étanchéité nécessite généralement la mise en œuvre préalable de planches support de cette bavette afin d'éviter son affaissement et ainsi la formation de poches d'eau. Pour les tuiles à fort galbe, le recours à des planches délardées peut s'avérer utile afin d'adoucir la pente.

Le marouflage de la bavette d'étanchéité sur les éléments de couverture doit être réalisé avec précaution, de sorte qu'il n'y ait aucun passage d'eau possible sous cette bavette. Pour des tuiles à fort galbe, un biseautage de la partie haute des éléments de couverture est à réaliser afin d'atténuer la pente et empêcher la création de rétention d'eau.

En cas de recouvrement longitudinal de deux bavettes d'étanchéité, un recouvrement minimum de 100 mm doit être respecté.

Par ailleurs, dans la mesure où il est important d'avoir une ventilation sous l'installation photovoltaïque, les conceptions des systèmes prévoient des dispositifs en bas d'installation photovoltaïque destinés à empêcher les intrusions de salissures et/ou d'animaux mais autorisant de fait une remontée d'eau venant du rampant inférieur en cas de concomitance vent-pluie propice à faire remonter l'eau sur le rampant. Il est par conséquent impératif :

- Que les matériaux utilisés à cet effet ou destinés à soutenir le dispositif ne soient pas sensibles à l'humidité,
- Que la bavette d'étanchéité ne soit pas percée dans cette zone,
- qu'une disposition empêche l'eau d'aller au-delà de la bavette d'étanchéité située sous le système photovoltaïque. La figure ci-



*(cf. recouvrements minimaux précisés par les différents DTU en fonction des éléments de couverture auxquels le système photovoltaïque est associé)

d : fonction de la pente pour ne pas avoir de contre-pente

▲ Figure 22 – Disposition haute de la bavette d'étanchéité basse

La fixation de cette étanchéité basse ne doit quant à elle en aucun cas la percer dans les zones de circulation d'eau et de remontée capillaire.

Toitures revêtues de grands éléments de couverture

Pour ce type de toitures en pose partielle, les systèmes photovoltaïques retenus sont généralement des systèmes pour lesquels le plan d'étanchéité est constitué par des bacs en sous-face du plan des modules.

La jonction entre les bacs de sous-face du système et les bacs situés entre l'installation photovoltaïque et l'égout n'est alors possible que s'ils présentent exactement la même géométrie et sont de même nature (cf. § [11.8.2] Compatibilité des matériaux). La jonction est alors à réaliser par recouvrement transversaux selon les dispositions spécifiées dans les DTU.

Dans le cas précis de bacs de sous-face du système photovoltaïque pouvant également être utilisés en tant qu'éléments de couverture seuls, les bacs du système sont disposés jusqu'à l'égout.

Si les bacs de sous-face du système photovoltaïque ne présentent pas les caractéristiques requises pour être utilisés en tant qu'élément de couverture et/ou n'ont pas la géométrie permettant la jonction par recouvrement avec les éléments de couvertures environnants, il



convient de descendre le système photovoltaïque jusqu'à l'égout (cf. § [11.8.4]).

11.8.4. • Étanchéité basse dans le cas d'une liaison à l'égout du bâtiment

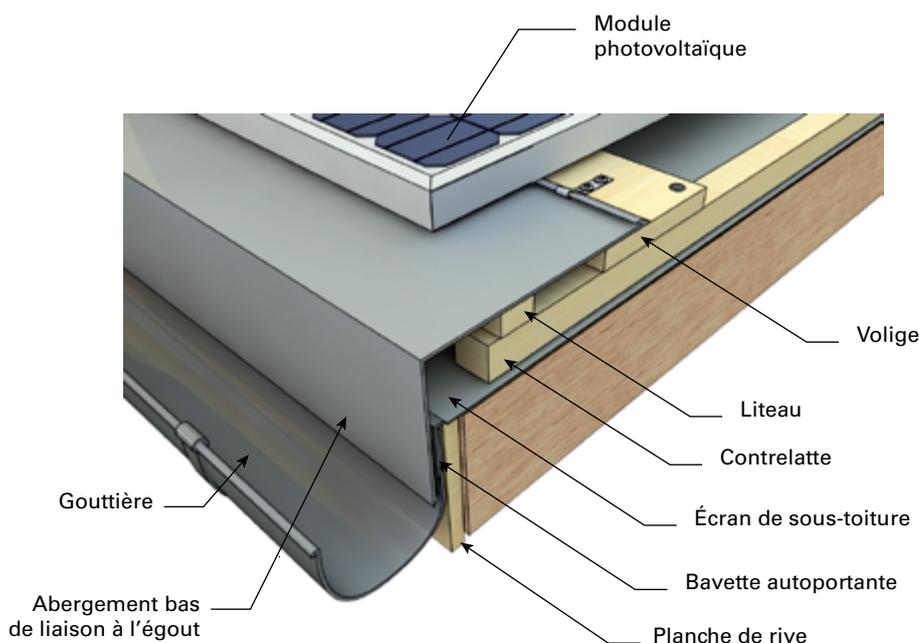
Pour des raisons de stabilité, lorsque le système photovoltaïque est relié à l'égout, la fixation de la gouttière et/ou du chéneau doit impérativement être réalisée sur la charpente.

Toitures revêtues de petits éléments de couverture (tuiles ou ardoises)

La mise en œuvre comprend la pose de l'écran de sous-toiture dont l'installation doit respecter les dispositions spécifiées au paragraphe 9 du document « Écrans souples de sous-toiture homologuées – Partie 2 : Règles de mise en œuvre (e-cahier du CSTB 3651-V2-P2) dont les grands principes ont été rappelés au § [11.5.1]).

La rangée basse du système photovoltaïque est ensuite positionnée :

- Soit à l'aplomb de la gouttière de façon à permettre à l'eau provenant du système d'y être acheminée directement, pour autant que le système est conçu pour,
- soit plus haute sur le rampant. Il est alors nécessaire de recourir à des éléments de raccord (larmiers) destinés à acheminer l'eau dans la gouttière.



▲ Figure 23 – Pose à l'égout

Toitures revêtues de grands éléments de couverture

Pour les systèmes avec bacs de sous-face, les prescriptions des DTU correspondants doivent être respectées pour la pose des bacs.

Pour les systèmes sans bacs de sous face, les dispositions de pose à l'aplomb de la gouttière/chéneau ou avec éléments de raccords (tels que précisé dans le paragraphe précédent) s'appliquent.

A noter que pour ce type de toiture, la pose d'un chéneau n'est pas toujours indispensable, l'installation photovoltaïque pouvant être positionnée avec un porte-à-faux maximal spécifié dans l'Avis Technique du système.

11.8.5. • Abergements latéraux dans le cas d'une toiture partielle

Généralités

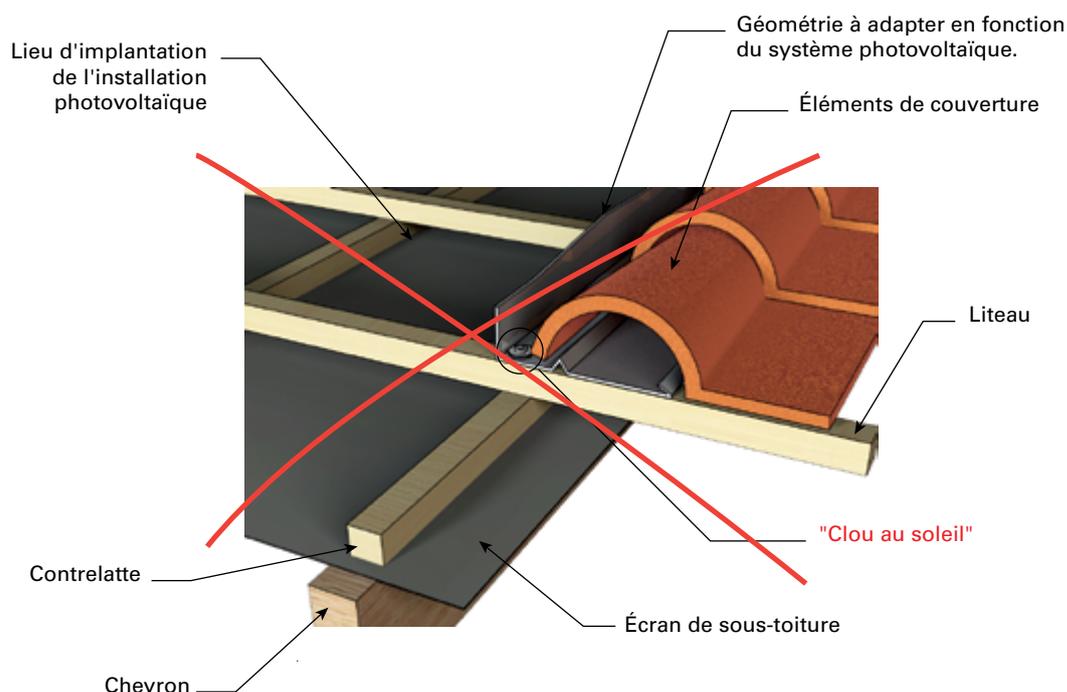
La réalisation des jonctions entre l'installation photovoltaïque et les éléments de couvertures environnants latéraux requiert l'utilisation d'éléments de géométrie adaptée, **tant à celle du système photovoltaïque qu'à celle des éléments de couverture.**

Ces éléments (couramment dénommés abergements) sont très généralement fournis par le fabricant.

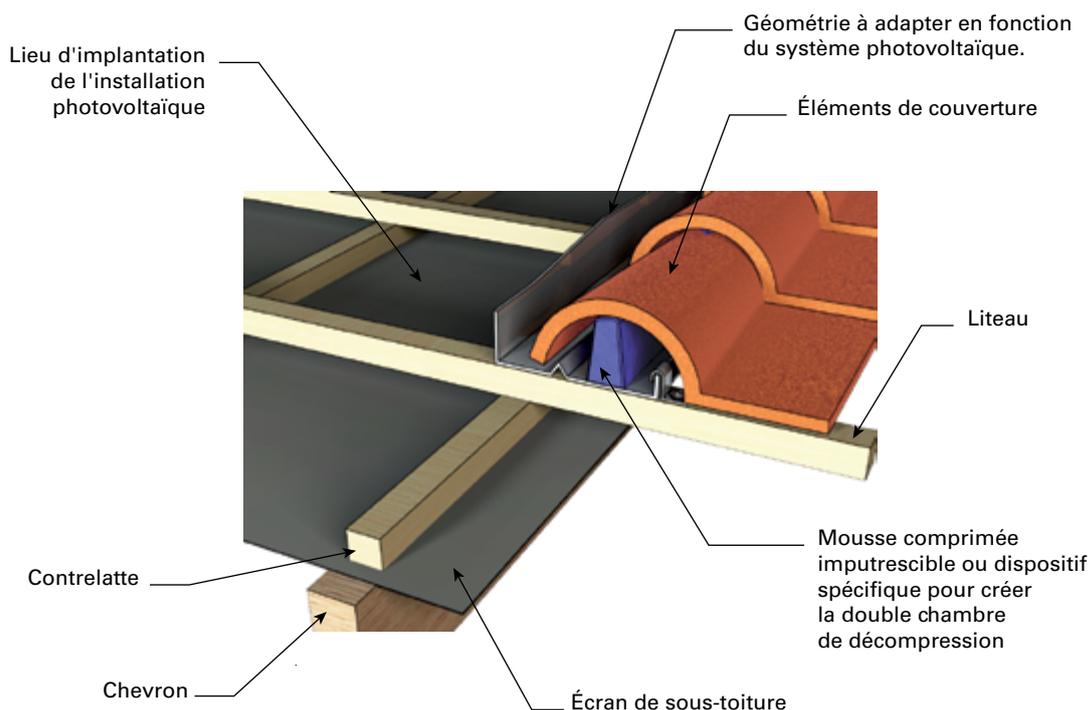


Il n'existe a priori pas, sauf développement particulier, d'abergements « universels » (de géométrie identique) adaptés à tous les types d'éléments de couverture environnants visés par le domaine d'emploi.

- Leur rôle revêt une très grande importance puisqu'ils sont destinés à assurer l'étanchéité en drainant l'eau, provenant du rampant supérieur ou de la surface des modules, vers l'égout. Les principes suivants doivent par conséquent impérativement être suivis : leur fixation ne doit en aucun cas être réalisée dans la zone de passage d'eau. Sur des charpentes de toiture revêtue de petits éléments de couverture, la fixation à privilégier est celle par agrafe.



▲ Figure 24 – Exemple de mauvaise fixation des abergements latéraux (fixation "au soleil" / dans filet d'eau)



▲ Figure 25 – Exemple de fixation correcte des abergements latéraux

- Ces abergements ne doivent pas être solidaires des éléments de couverture. Sous l'effet de la dilatation différentielle entre les différents matériaux, ceci conduirait à des déplacements intempestifs des éléments les uns par rapport aux autres avec pour conséquence des pertes d'étanchéité.
- Sur la longueur du rampant, les recouvrements transversaux des abergements latéraux entre eux doivent être de 200 mm minimum. Dans le cas de faibles pentes (<10 %) et/ou d'installation

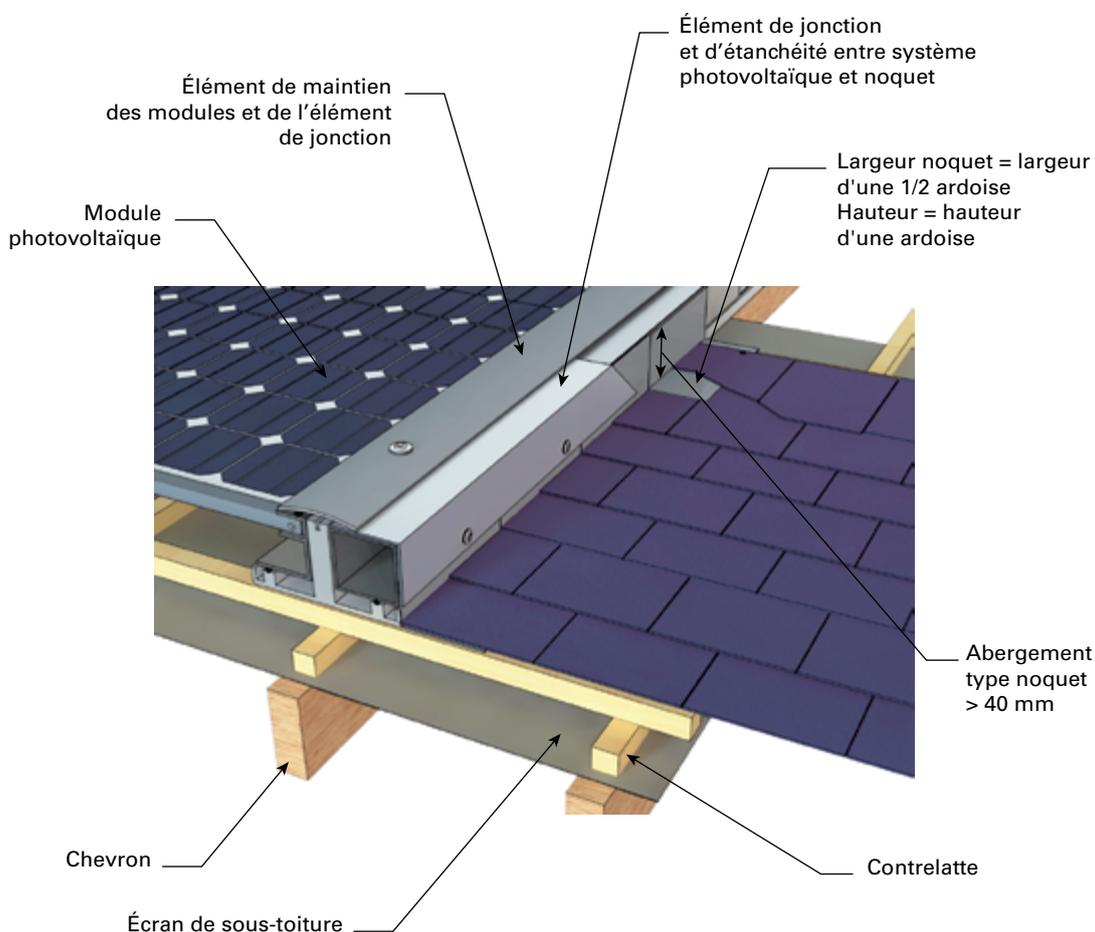


en zone climatique III (au sens de la concomitance vent pluie : voir annexe E du DTU 40.35), ce recouvrement doit être augmenté à 300 mm.

Toitures revêtues de petits éléments de couverture (tuiles ou ardoises)

Pour ce type de couverture, il convient en premier lieu de distinguer clairement les éléments de couverture plats (ardoises, tuiles plates) des tuiles à relief.

Dans le cas des éléments plats, les jonctions latérales sont préférentiellement à réaliser à l'aide d'abergements de géométrie inspirée des noquets, c'est-à-dire de petits éléments présentant une hauteur identique à celle des éléments de couverture environnants et, côté éléments de couverture, un plat destiné à être inséré entre les tuiles ou ardoises (et non posé en dessous).

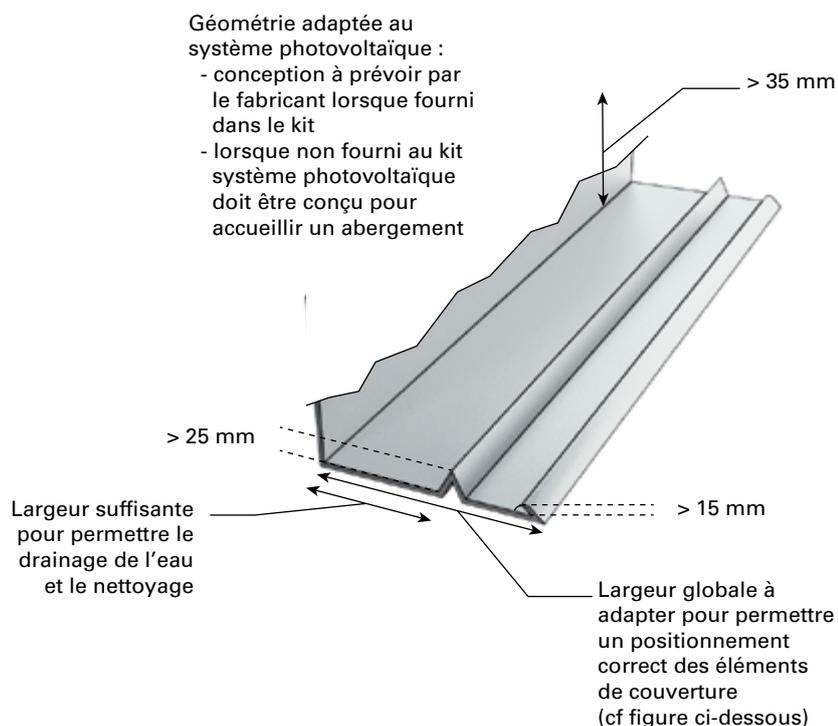


▲ Figure 26 – Mise en œuvre de noquets

Dans le cas des tuiles à relief (à emboîtement ou à glissement – canal), les experts s'accordent pour définir les principes suivants en termes de géométrie des abergements latéraux :

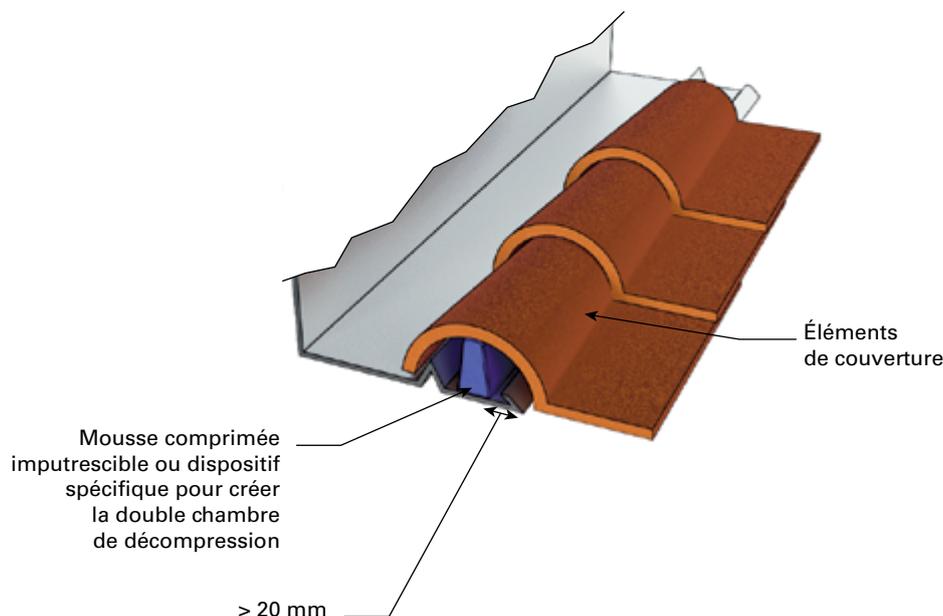
- Présence de 2 canaux :
 - l'un au plus proche de l'installation photovoltaïque constituant un canal de drainage, de largeur suffisante pour permettre un écoulement suffisant en cas d'orage et son nettoyage,

- l'autre, situé sous les éléments de couverture, destiné à créer une seconde barrière d'étanchéité. Il accueille généralement une mousse compressée imputrescible.
- des remontées de hauteur suffisante pour constituer un réel canal de drainage : 25 mm minimum est généralement évoqué pour le « pli » séparant les 2 canaux
- Différentes largeurs pour permettre un positionnement correct des tuiles (afin d'éviter de couper les tuiles).



▲ Figure 27 – Exemple d'abergement latéral

Les éléments de couverture sont ensuite à installer de telle sorte que l'eau provenant de leur couvert se déverse dans le canal le plus proche de l'installation photovoltaïque.



▲ Figure 28 – Exemple de mise en œuvre de tuiles sur abriement latéral

Toitures revêtues de grands éléments de couverture

Dans le cas de systèmes photovoltaïques avec bac de sous-face, cette mise en œuvre requiert préférentiellement que les bacs métalliques environnants soient de même nature et de même géométrie que les bacs métalliques constitutifs du système.

Dans le cas contraire, des pièces de jonction longitudinale entre plaques doivent être réalisées. Leur conception s'inspire idéalement des 2 géométries de bacs auxquels elles doivent s'associer en vue d'une mise en œuvre par recouvrement selon les dispositions (recouvrements transversaux) spécifiées dans les DTU 40.35 ou DTU 40.36.

Dans le cas de systèmes photovoltaïques sans bac de sous face, les dispositions décrites ci-avant pour la jonction avec de petits éléments de couverture s'appliquent.

11.8.6. • Abergements latéraux dans le cas d'une liaison aux rives du bâtiment

Toitures revêtues de petits éléments de couverture (tuiles ou ardoises)

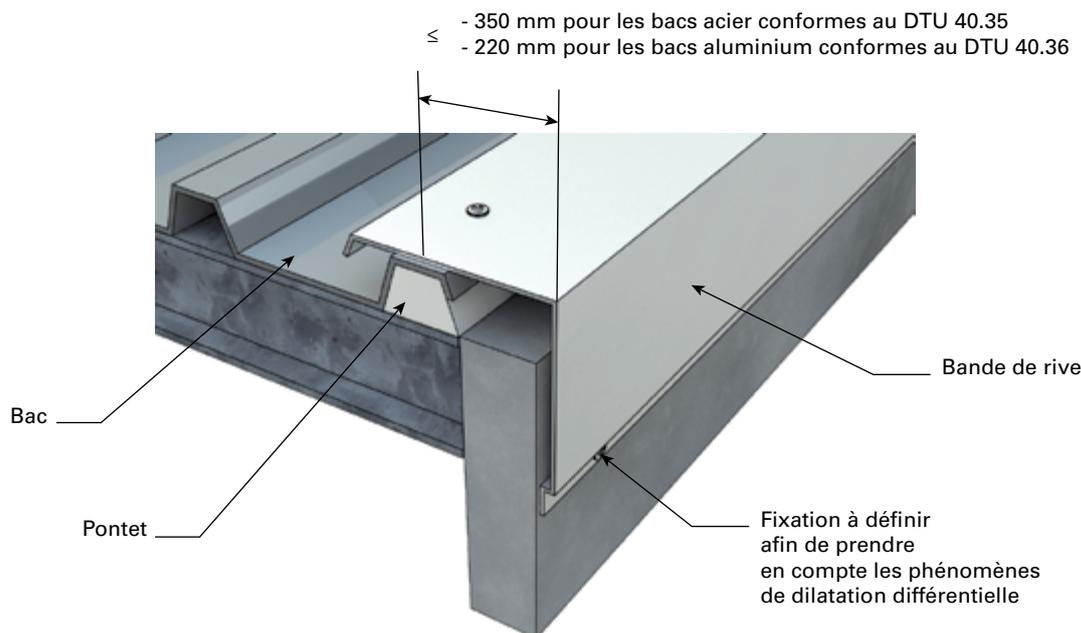
Ce cas de figure est rarement rencontré, les conceptions des systèmes photovoltaïques prévoyant quasi systématiquement de conserver 2 rangs d'éléments de couverture en rives de toiture.

Toitures revêtues de grands éléments de couverture

Dans le cas des systèmes photovoltaïques avec bacs en sous-face du plan des modules, il est fortement recommandé de réaliser la jonction aux rives du bâtiment selon les prescriptions des DTU correspondants,



c'est-à-dire via la mise en œuvre de bandes de rives recouvrant la nervure extrême du dernier bac de partie courante.



▲ Figure 29 – Exemple de liaison en rive de bâtiment

Dans le cas des systèmes photovoltaïques sans bac de sous-face, les principes décrits ci-dessus peuvent être repris et adaptés.

Dans tous les cas, il convient de veiller à ce que les bandes de rives :

- soient suffisamment maintenues pour ne pas présenter de prise au vent, en prenant soin de ne pas placer les fixations dans les zones d'écoulement d'eau,
- que leur mode fixation prenne en compte les phénomènes de dilatation différentielle des deux matériaux à fixer ensemble. Une méthode consiste à limiter leur longueur (ex : 2 m maximum).
- etc.

11.8.7. • Abergements hauts dans le cas d'une toiture partielle

En l'absence de liaison au faîtage, ce point singulier nécessite la réalisation de la jonction de l'installation photovoltaïque avec les éléments de couverture situés immédiatement au-dessus.

Toitures revêtues de petits éléments de couverture (tuiles ou ardoises)

Dans le cas des systèmes photovoltaïques avec bacs en sous-face, l'eau en provenance de la partie de la couverture située en amont du système photovoltaïque est évacuée par le bac de sous-face. Les abergements hauts, généralement réalisés à l'aide de tôles métalliques, doivent être conçus pour répondre aux principes décrits dans les paragraphes suivants.

La largeur (dimension dans le sens du rampant) doit permettre :

- d'éviter au maximum la découpe des éléments de couverture (cf. §[11.5.2]),
- de recouvrir les bacs de sous face du système photovoltaïque de 300 mm minimum,
- d'être recouverte par les éléments de couverture sur un minimum de 100 mm (à augmenter en fonction des éléments de couverture, de la pente de la toiture, des régions, ... en se reportant aux DTU correspondant aux éléments),
- l'absence de toute contrepente (cf. d sur les figures ci-dessous) : un écart d'au moins 3% (2°) entre la pente de la toiture et celle de l'abergement doit être respecté afin de prendre en compte les aléas de chantier.

La longueur (en un ou plusieurs éléments) à installer doit quant à elle être égale à la largeur hors tout du système photovoltaïque à laquelle il convient d'ajouter la largeur des abergements latéraux.

En cas de liaison du système photovoltaïque au faîtage, un recouvrement longitudinal de 100 mm minimum doit être respecté entre deux éléments d'abergement. Dans le cas contraire, ce recouvrement doit être de 200 à 250 mm.

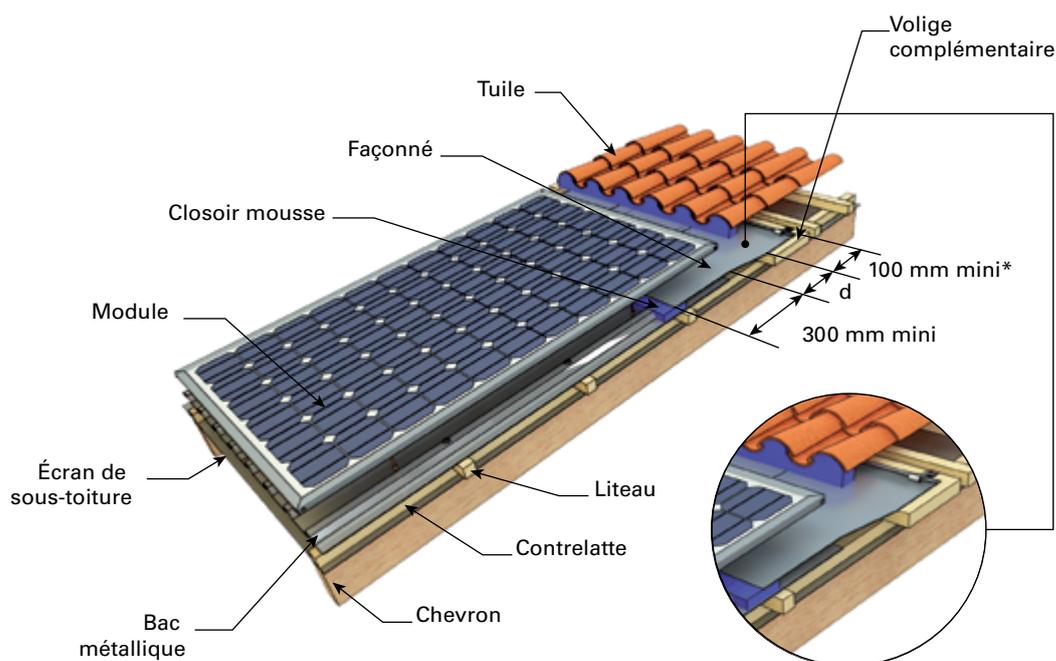
Ces abergements hauts doivent par ailleurs être façonnés (par exemple une pince en tête) ou équipés d'une disposition constructive spécifique afin d'empêcher l'eau présente sur le système photovoltaïque de remonter au-delà de ses abergements en cas de concomitance vent-pluie propice à faire remonter l'eau sur le rampant. Dans le cas de tuiles fortement galbées, la seule pince ne suffit pas. Une disposition limitant l'entrée d'eau sous les galbes doit être prévue.

Leur partie basse, destinée à recouvrir les bacs de sous face, peuvent être façonnées en usine pour présenter le même profil que les bacs. Dans le cas contraire, il convient de mettre en œuvre une disposition constructive permettant d'assurer une bonne étanchéité entre 2 tôles de géométrie différente (cf. figure ci-dessous).

La pose de ces abergements hauts nécessite généralement la mise en œuvre préalable de planches support afin notamment d'éviter la formation de poche d'eau.

Dans le cas où un écran de sous-toiture est ajouté, il est fondamental que ces abergements hauts soient positionnés au-dessus de l'écran de sous-toiture.

La fixation de ces abergements ne doit en aucun cas les percer dans les zones de circulation d'eau et de remontées capillaires.



*(cf. recouvrements minimaux précisés par les différents DTU en fonction des éléments de couverture auxquels le système photovoltaïque est associé)

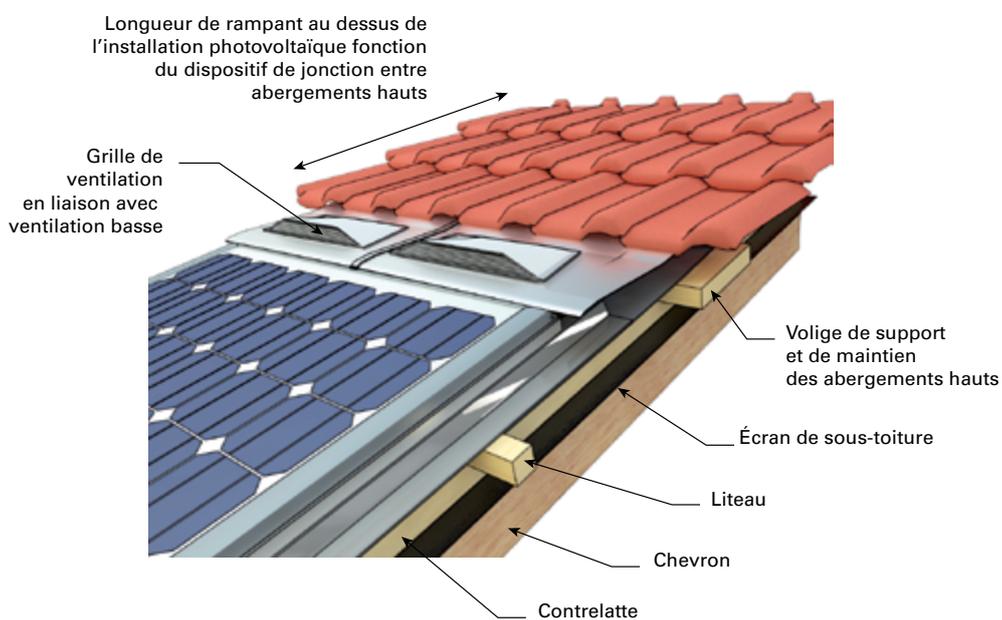
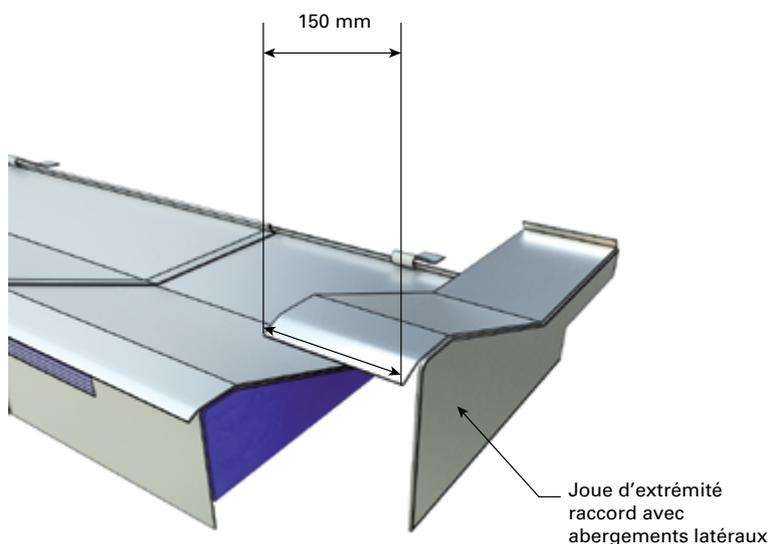
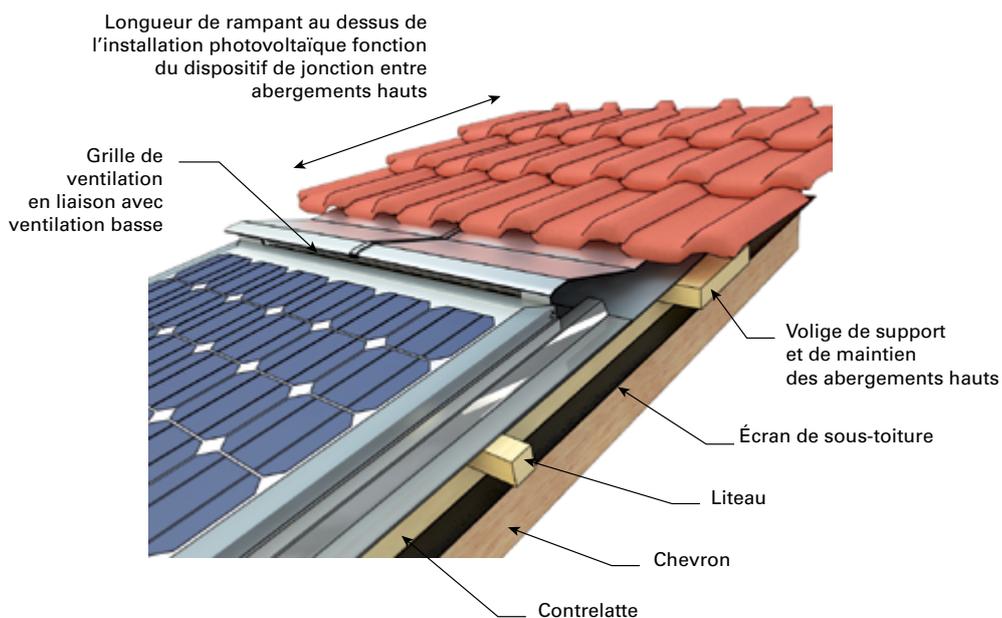
d : fonction de la pente pour ne pas avoir de contre-pente

▲ Figure 30 – Exemple de mise en œuvre d'abergement haut dans le cas de système photovoltaïque avec bacs de sous-face

Dans le cas des systèmes photovoltaïques sans bacs de sous-face, deux conceptions de systèmes photovoltaïques se rencontrent :

- l'eau en provenance de la partie de la couverture située en amont du système photovoltaïque est renvoyée sur le plan des modules.

Cette disposition ne permet généralement pas la ventilation directe de la sous face des modules. Dans ce cas, la réalisation du recouvrement des éléments d'abergements supérieurs exclusivement « à plat » avec complément(s) d'étanchéité ne peut permettre d'assurer l'étanchéité. Il convient de privilégier des solutions d'abergement avec chambre de décompression. A défaut, la liaison entre les abergements supérieurs peut être réalisée à l'aide de coulisses ou autre disposition spécifique sous réserve de limiter la longueur de rampant située au-dessus de l'installation photovoltaïque à 1 mètre.



▲ Figure 31 – Exemples de mise en œuvre d'abergement haut dans le cas de système photovoltaïque sans bac de sous-face

- l'eau en provenance de la partie de la couverture située en amont du système photovoltaïque est renvoyée vers les abergements latéraux.

Cette conception nécessite impérativement une évaluation (par le fabricant du système) de la capacité de l'eau à être évacuée vers les abergements latéraux. Pour plus de sécurité, une couverture amont limitée à environ 1 m permet de limiter la quantité d'eau reçue par l'abergement haut. Le raccordement avec les abergements latéraux doit s'effectuer avec une pièce d'angle façonnée d'un seul tenant.



Cette disposition favorise l'accumulation de salissures et nécessite un nettoyage régulier d'au moins une fois par an.

Toitures revêtues de grands éléments de couverture

Dans le cas de systèmes photovoltaïques avec bacs de sous-face, cette mise en œuvre requiert préférentiellement que les bacs métalliques environnants soient de même nature et de même géométrie que les bacs métalliques constitutifs du système.

Dans le cas contraire et dans le cas de systèmes photovoltaïques sans bac de sous face, les dispositions décrites ci-avant pour la jonction avec de petits éléments de couverture s'appliquent.

11.8.8. • Abergements hauts dans le cas d'une liaison au faîtage du bâtiment

Toitures revêtues de petits éléments de couverture (tuiles ou ardoises)

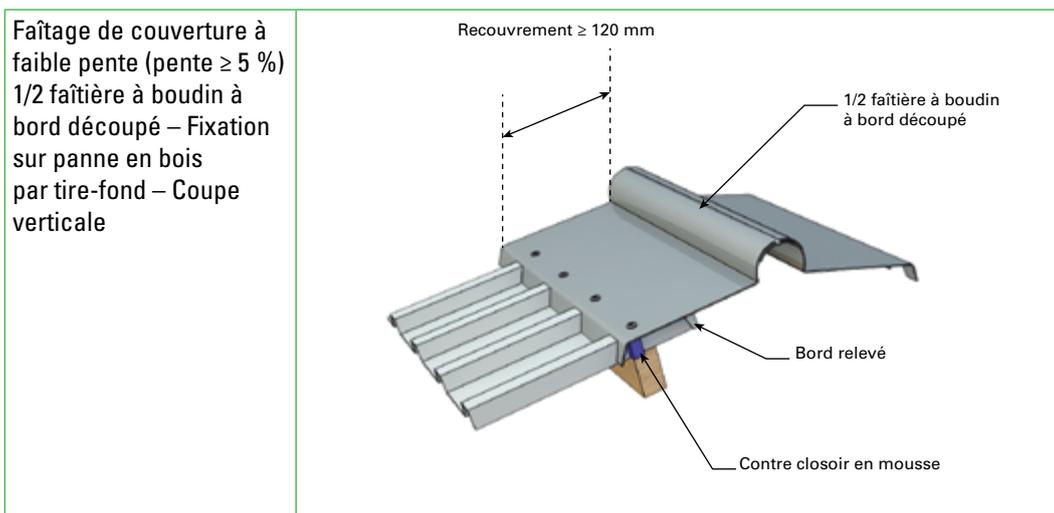
Ce cas de figure est rarement rencontré, les conceptions des systèmes photovoltaïques prévoyant systématiquement de conserver des rangs d'éléments de couverture en faîtage de toiture.

Toitures revêtues de grands éléments de couverture

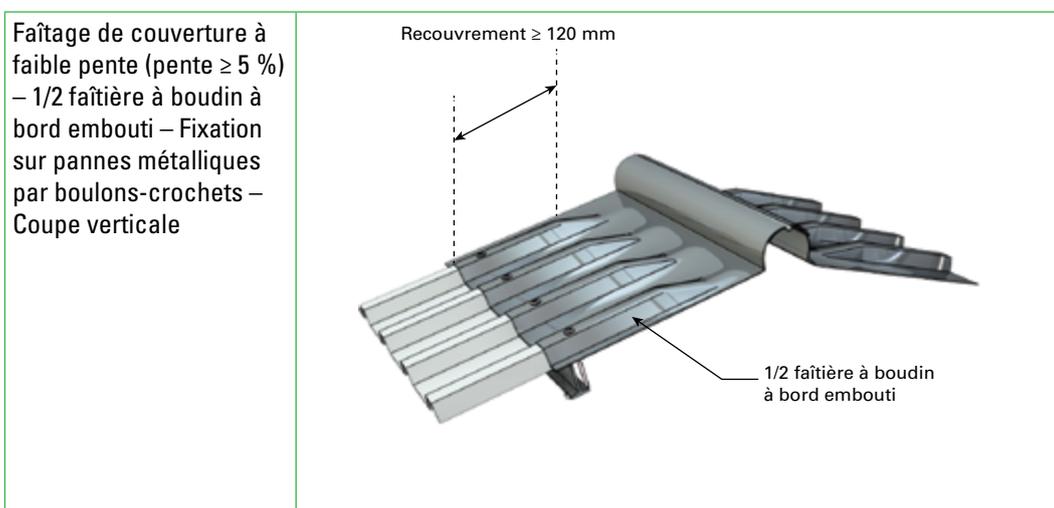
Dans le cas des systèmes avec bacs en sous-face du plan des modules, il est fortement recommandé de recourir à des géométries de faîtage et prescriptions de mise en œuvre décrites dans les DTU correspondants.

Une attention particulière doit cependant être apportée à la fixation de la faîtière. A la différence de faîtières traditionnellement mises en œuvre sur des toitures avec deux rampants identiques, la fixation avec système photovoltaïque sur un rampant et couverture sèche sur le rampant opposé doit prendre en compte les dilatations différentielles des différents matériaux. Il est par conséquent très fortement recommandé de recourir à :

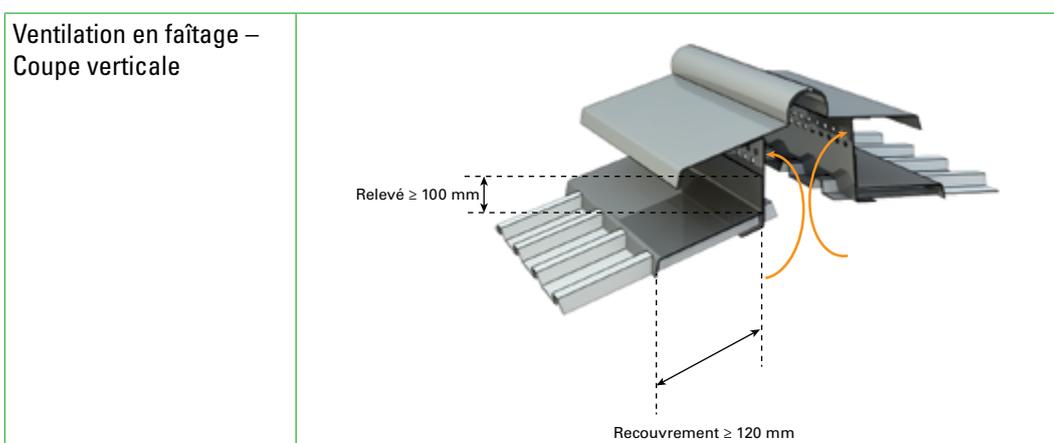
- des conceptions de faîtières par recouvrement (cf. ci-dessous un exemple pour de faibles pentes sur panne bois ou panne métallique)



▲ Figure 32 – Exemple de 1/2 faîtière à boudin à bord découpé



▲ Figure 33 – Exemple de 1/2 faîtière à boudin à bord embouti



▲ Figure 34 – Exemple de ventilation en faîtage

- des faîtières fixées en tête, sur support faîtage indépendant des deux versants.



Pour le cas des toitures à un seul versant, les dispositions de fixation décrites au § [11.8.7] /Toitures revêtues de grands éléments de couverture sont recommandées.

Dans le cas des systèmes photovoltaïques sans bac de sous-face, les principes décrits ci-dessus peuvent être repris et adaptés.

Dans tous les cas, il convient de veiller à ce que les faîtières :

- soient suffisamment maintenues pour ne pas présenter de prise au vent ;
- que les éléments de fixation de ces faîtières soient positionnés hors des zones d'écoulement d'eau ;
- que leur mode fixation prenne en compte les phénomènes de dilatation différentielle des différents matériaux (cf. ci-dessus) ;
- etc.

11.9. • *Pose des éléments de couverture*

Une fois le système photovoltaïque et tout son environnement immédiat posés (étanchéité basse, abergements hauts et latéraux), les éléments de couverture environnants doivent être repositionnés en respectant les prescriptions décrites aux § [11.5.2] et [11.8.5].

Il est par ailleurs fondamental que la ventilation de la sous face de la couverture soit assurée pour la bonne conservation dans le temps des éléments de couverture et de leurs supports bois, via le respect des prescriptions des DTU correspondants aux différents éléments de couvertures.

Dans le cas de pose sur toiture existante, si des tuiles chatières étaient présentes sur la surface découverte pour la mise en place des modules photovoltaïques, celles-ci doivent être repositionnées sur le pourtour de l'installation photovoltaïque.

11.10. • *Autocontrôles*

Une fois l'installation réalisée, l'entreprise doit réaliser un autocontrôle du respect des prescriptions de mise en œuvre.

11.11. • *Attestation de conformité électrique*

Pour toute installation photovoltaïque de puissance inférieure à 250 kVA, l'électricien doit établir une attestation de conformité et la faire viser par un organisme agréé (CONSUEL, ...), conformément au décret n°72-1120 du 14 décembre 1972 modifié par le décret n°2010-301 du 22 mars 2010.



Entretien et maintenance

12



Toute intervention de maintenance, d'entretien ou de remplacement d'un composant doit s'effectuer dans les conditions de sécurité décrites au § [10.1.1].



Un bâchage de la surface des modules n'est pas suffisant pour se prémunir des risques de chocs électriques.

Dans le cadre de son devoir de conseil auprès de son client, l'entreprise du bâtiment doit informer le maître d'ouvrage des opérations de maintenance nécessaires et peut à ce titre proposer un contrat de maintenance incluant au minimum une visite annuelle, à effectuer de préférence à la fin de l'hiver.

Un nettoyage plus fréquent peut s'avérer nécessaire en fonction :

- de l'exposition du système photovoltaïque (zones polluées par exemple) afin de maintenir une production électrique ;
- de la conception du système photovoltaïque, certains pouvant favoriser l'accumulation de salissures, végétaux,

12.1. • *Entretien*

L'entretien est destiné à maintenir un état de propreté du système permettant une production optimale d'électricité et un maintien de l'étanchéité par un professionnel :

- nettoyage de la surface des modules ;
- nettoyage de la surface à l'eau ou selon les préconisations du fabricant. L'eau doit toujours être projetée dans le sens de la pente ;



- l'utilisation d'appareils haute pression est interdite ;
- vérification de la non entrave de la ventilation de la sous face des modules : nids d'oiseaux, de guêpes, etc.
- nettoyage des canaux d'évacuation des eaux à la périphérie du système photovoltaïque, abergements latéraux et supérieurs notamment, et entre modules particulièrement lorsque ceux-ci ne sont pas jointifs et reposent sur des rails drainants pouvant accumuler des salissures) le cas échéant du bac métallique de sous-face ; l'accumulation de débris, feuilles, poussières, pourraient gêner l'évacuation de l'eau et provoquer la corrosion des bacs ;
- élaguer si nécessaire les arbres susceptibles de créer de nouveaux ombrages pénalisant la production de l'installation photovoltaïque.

12.2. • *Maintenance préventive*

Les opérations de maintenance sont à réalisées par un professionnel. Elles peuvent comprendre les opérations d'entretien spécifiées ci-dessus ainsi que les points suivants :

- vérification visuelle de l'état des modules photovoltaïques (éventuelles décolorations, bris de vitre, délaminage, oxydation...);
- vérification visuelle de l'état des constituants du système de montage et des abergements ainsi que de leur positionnement ;
- vérification du bon serrage des organes de fixation ;
- vérification de l'état des boîtes de connexion, ainsi que des câbles et des connexions tant en toiture que dans le local onduleur ;
- vérification des continuités et du bon état général des liaisons équipotentielles et mesure de la prise de terre ;
- vérification des tableaux électriques, resserrage des bornes ;
- contrôle des fusibles, disjoncteurs, parafoudres ;
- vérification de l'intégrité de l'onduleur et dépoussiérage de l'onduleur ;
- vérification de la bonne ventilation du local onduleur ;
- vérification du bon usage du local onduleur (exemples : absence de produits inflammables, atmosphère corrosive ou poussiéreuse).

A l'issue de ces opérations, il convient d'établir un rapport de visite, incluant les éventuelles anomalies détectées, les travaux réalisés ou à réaliser, les réponses aux éventuelles remarques du client ainsi que toutes les recommandations nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.



12.3. • *Maintenance curative*

En cas de bris de glace d'un module ou d'endommagement d'un module photovoltaïque ou d'un autre composant, il est impératif de le faire remplacer. Aucune réparation ne doit être réalisée sur un module.

Le remplacement des modules doit se faire en respectant scrupuleusement les recommandations relatives notamment à la mise hors circuit électrique de l'élément à remplacer, notamment les étapes suivantes, à réaliser impérativement dans cet ordre :

- déconnecter l'onduleur du réseau en ouvrant le disjoncteur AC placé entre ce dernier et le compteur de production et afficher « intervention en cours – ne pas réenclencher ou refermer », la pose d'un cadenas est recommandée ;
- déconnecter l'installation photovoltaïque en ouvrant l'interrupteur sectionneur DC placé entre les modules photovoltaïques et l'onduleur et afficher « intervention en cours », ne pas toucher ;
- déconnecter la chaîne au niveau de la boîte de jonction le cas échéant ;
- déconnecter les modules ;
- une fois le nouveau module installé, vérifier le bon fonctionnement de la série de modules concernés (mesurer sa plage de tension en circuit ouvert et vérifier son adéquation avec la plage d'entrée de l'onduleur) ;
- reconnecter la chaîne au niveau de la boîte de jonction, le cas échéant ;
- reconnecter l'installation photovoltaïque en fermant l'interrupteur sectionneur DC ;
- reconnecter l'onduleur au réseau en fermant le disjoncteur AC.

Lors de ces opérations, il conviendra :

- de maintenir la liaison équipotentielle des masses ;
- de veiller à ne pas mettre les connecteurs débrosés en contact entre eux ou avec des pièces métalliques du système (cadre de module, rail de fixation, bac de sous-face...).

Par ailleurs, les points suivants sont à souligner :

- certains systèmes de montage nécessitent pour le remplacement d'un module, le démontage d'une partie du système photovoltaïque ;
- si le montage est réalisé avec des vis autoforeuses, le remontage doit être effectué avec des vis de diamètre supérieur.



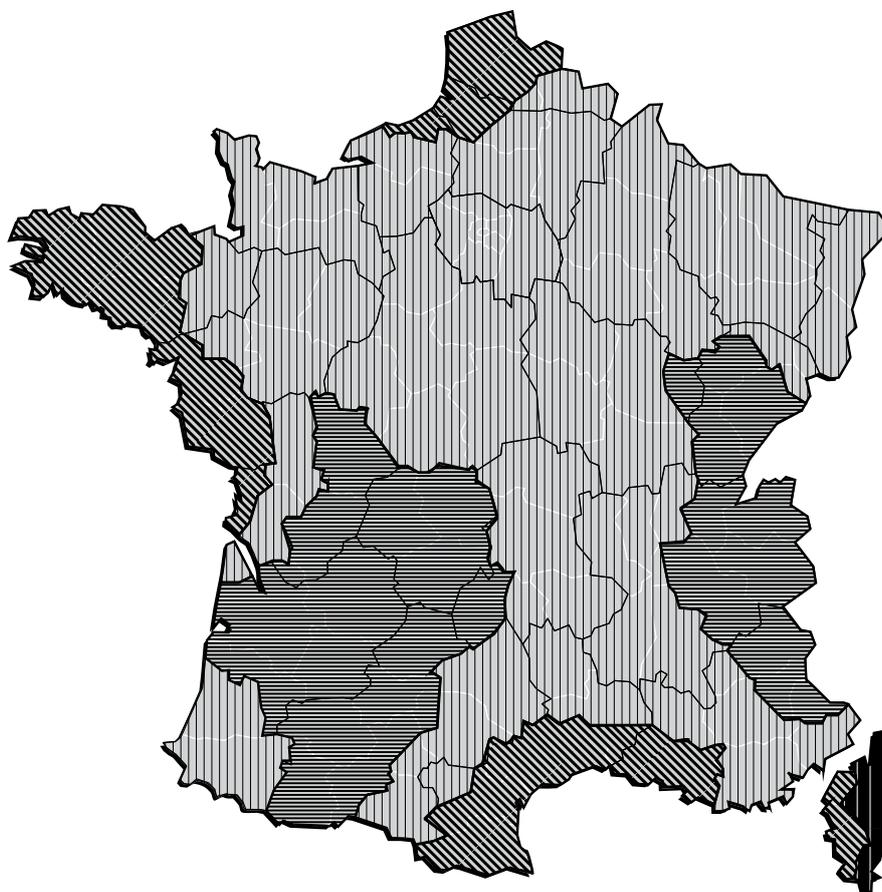
ANNEXES





Annexe 1

Carte de France métropolitaine des régions de vent



Régions	1	2	3	4
Valeur de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ (m/s)	22	24	26	28

▲ Figure 35 – Carte de France métropolitaine des régions de vent

Source : Figure 4.3(NA) de la norme EN 1991-1-4/NA (Eurocode 1 – Partie 4)

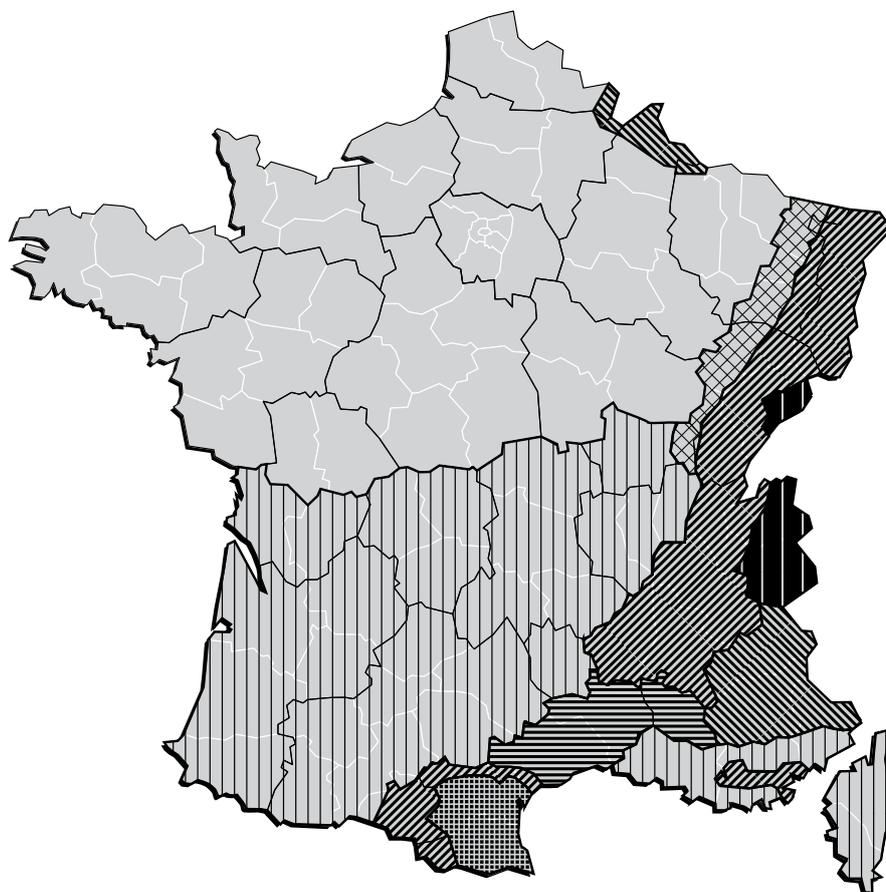


Cette carte ne constitue qu'une illustration. Une définition plus précise par départements et lorsque c'est nécessaire par cantons est disponible dans la référence normative précisée ci-dessus.



Annexe 2

Carte de France métropolitaine des zones de neige



Régions	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S_s) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 M :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	-	1,00	1,00	1,35	-	1,35	1,80	-
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieur à 200 :	Δs_1						Δs_2	

(charges en KN/m²)

Altitude A	Δs_1	Δs_2
de 200 à 500 m	de 200 à 500 m	1,5 A/1000 - 0,30
de 500 à 1000 m	1,5 A/1000 - 0,45	3,5 A/1000 - 1,30
de 1000 à 2000 m	3,5 A/1000 - 2,45	7 A/1000 - 4,80

▲ Figure 36 – Carte de France métropolitaine des zones de neige

Source : Annexe de la norme EN 1991-1-3/NA (Eurocode 1 – Partie 3)



Cette carte ne constitue qu'une illustration. Une définition plus précise par départements et lorsque c'est nécessaire par cantons est disponible dans la référence normative précisée ci-dessus.

Annexe 3

Extraits de la norme NF EN P 78-116

Les évaluations techniques précisent en général les limites en pression (neige) et dépression (vent) auxquelles le système photovoltaïque est capable de résister.

La norme NF P 78-116 – « Verre dans la construction/Modules photovoltaïque incorporés au bâti/Dimensionnement en toiture » définit une méthode de calcul, en fonction du type de système photovoltaïque (modules jointifs ou non – présence d'une sous-couche – importance de la lame d'air entre sous-couche et modules, ...) pour déterminer les pressions de neige et de vent avec les EUROCODES afin de vérifier le dimensionnement des feuilles de verre des modules photovoltaïques.

Des tableaux, dans l'annexe D, **informative**, de cette norme, fournissent des valeurs "enveloppe" (sécuritaires) de vent pour les combinaisons ELS (État Limite de Service) pour les différents cas de toiture présentant 1 ou 2 versants, valables pour des angles de toiture de 5° à 75° (cf. ci-dessous la typologie des tableaux) en fonction du type de système photovoltaïque (avec ou sans bacs, modules jointifs ou non, ..) et de son emplacement sur la toiture (partie courante ou rives).

Ces tableaux peuvent donc permettre de relier la limite d'emploi du système vis-à-vis du vent avec les lieux possibles d'implantation du système photovoltaïque.

Type de toitures considérées :

Cas de toiture n°1 :

Paroi externe perméable* avec paroi interne imperméable et lame d'air < 100 mm avec ouvertures limitées à 200 cm²/m à l'égout et au faîtage

Cas de toiture n°2 :

Paroi externe imperméable* avec paroi interne imperméable et lame d'air < 100 mm avec ouvertures limitées à 200 cm²/m

Cas de toiture n°3 :

Simple paroi

Cas de toiture n°4 :

Paroi externe (perméable* ou non) avec paroi interne imperméable et lame d'air complètement ouverte en périphérie

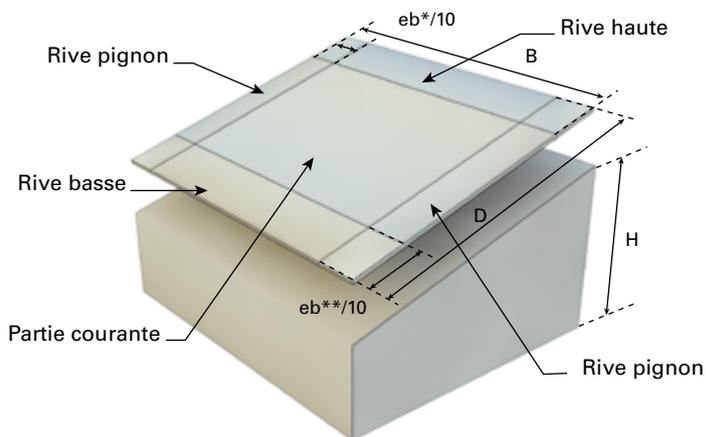


Cas de toiture n°5 :

Paroi externe imperméable avec paroi interne perméable et lame d'air < 100 mm avec ouvertures limitées à 200 cm²/m.

* paroi externe est considérée perméable à l'air si la surface des orifices par rapport à la surface totale est > 0,1%.

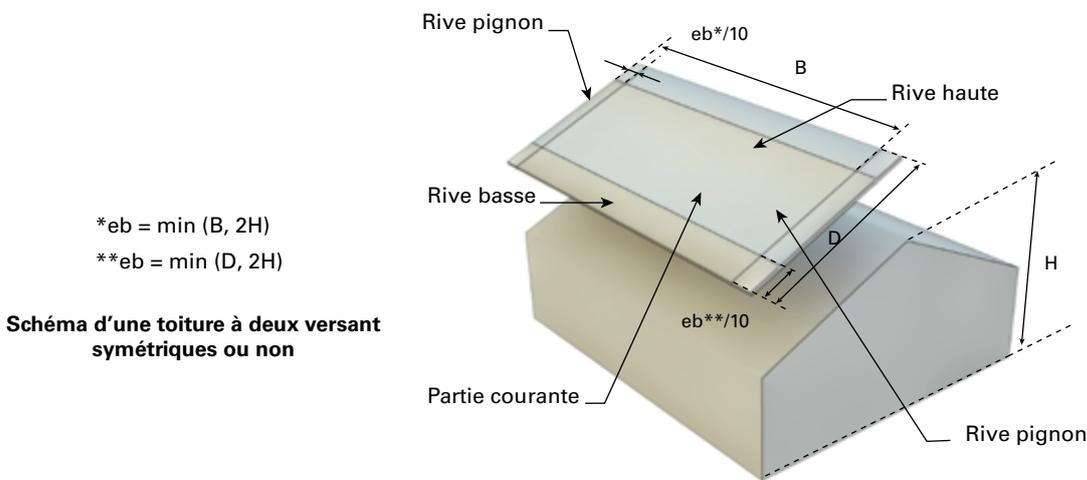
Définition des zones des toitures (dimensions exprimées en projection horizontale) :



*eb = min (B, 2H)

**eb = min (D, 2H)

Schéma d'une toiture à un versant



*eb = min (B, 2H)

**eb = min (D, 2H)

Schéma d'une toiture à deux versant symétriques ou non

▲ Figure 37 – Définition des zones des toitures:

Pression de vent ELS pour le cas de toiture externe n°x, Région x, valeurs en Pa

Situation*		< 9m	< 18m	< 28m	< 50m	< 100m
Région x IV	rive p					
	rive b ou h					
	courant					
	pression					
Région x IIIb	rive p					
	rive b ou h					
	courant					
	pression					



	Situation*	< 9m	< 18m	< 28m	< 50m	< 100m
Région x IIIa	rive p					
	rive b ou h					
	courant					
	pression					
Région x II	rive p					
	rive b ou h					
	courant					
	pression					
Région x 0	rive p					
	rive b ou h					
	courant					
	pression					

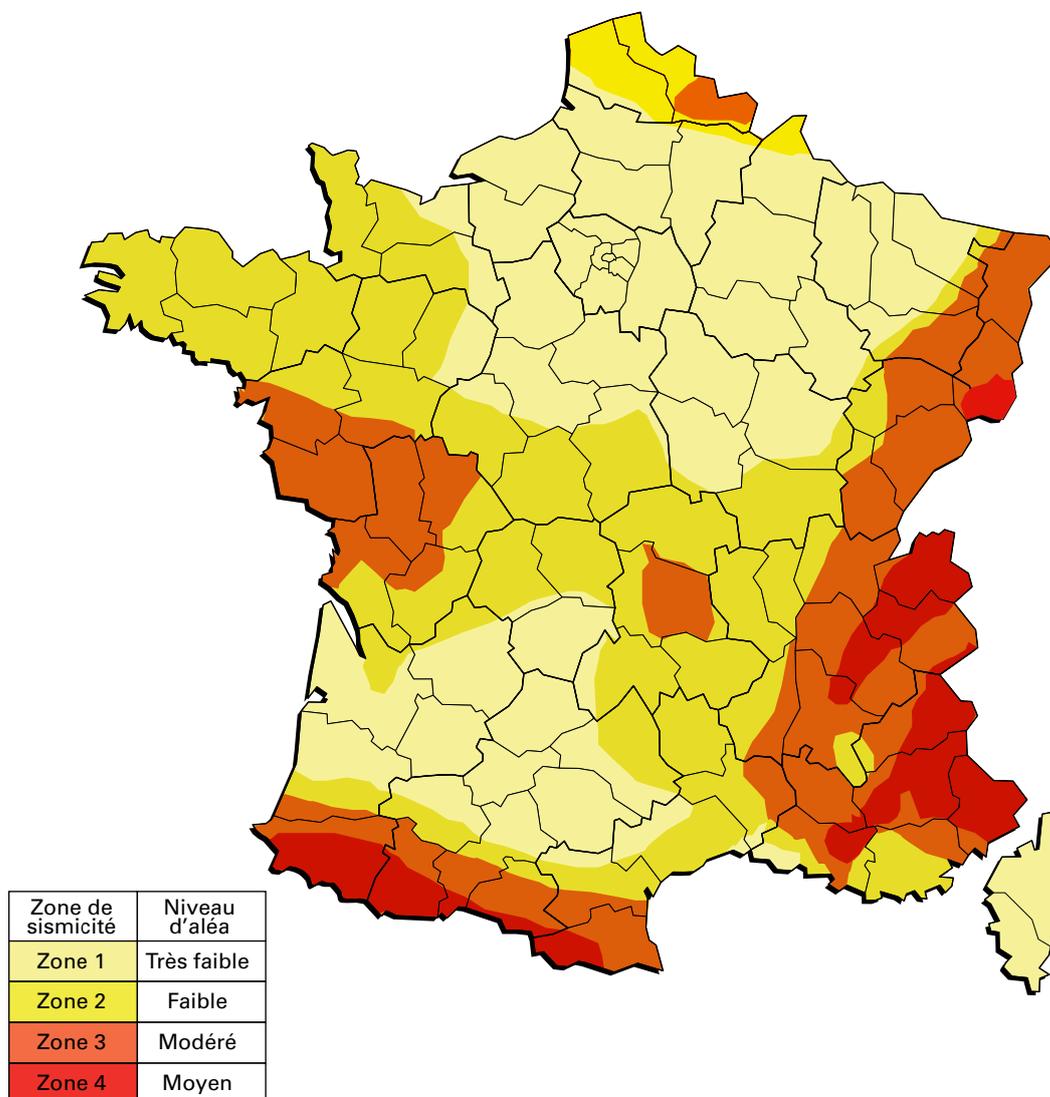
Où :

- Situation : Hauteur du bâtiment
- Rive p : rive pignon
- Rive b et rive h : rive basse et rive haute
- Courant : partie courante
- Régions : cf. [Annexe 1] (pour le vent) et [Annexe 2] (pour la neige) du présent document.
- 0, II, IIIa, IIIb et IV: catégories et paramètres de terrain définis au Tableau 4.1(NA) de la NF EN 1991-12-4/NA dont seules les grandes lignes sont rappelées ci-après, la norme précitée illustrant par ailleurs ces catégories par des photos :
 - Catégorie 0 : Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer, lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km.
 - Catégorie II : Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, ...) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur
 - Catégorie IIIa : Campagne, avec des haies, vignobles, bocages, habitats dispersés
 - Catégorie IIIb : Zones urbaines ou industrielles, bocages denses, vergers
 - Catégorie V : Zones urbaines dont au moins 15% de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m, forêts



Annexe 4

Carte de France métropolitaine des zones sismiques



▲ Figure 38 – Carte de France métropolitaine des zones sismiques

Source : « La nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments dont le permis de construire est déposé à partir du 1^{er} mai 2011 », de janvier 2011, élaborée par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

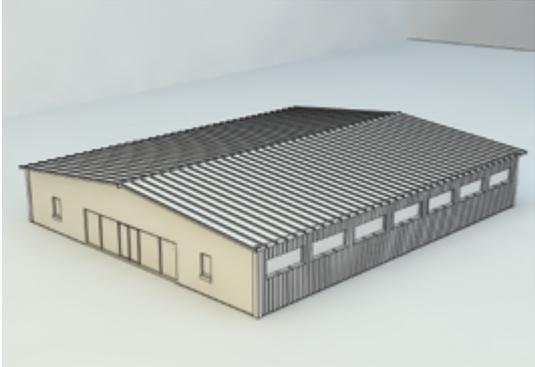
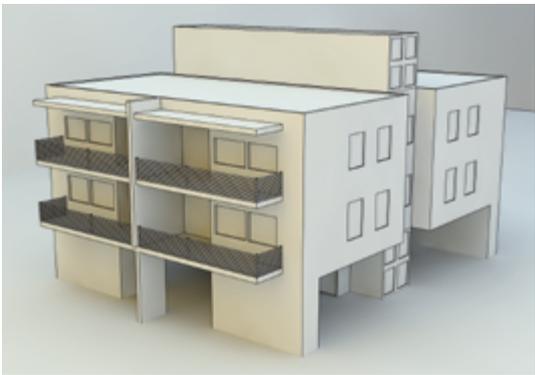
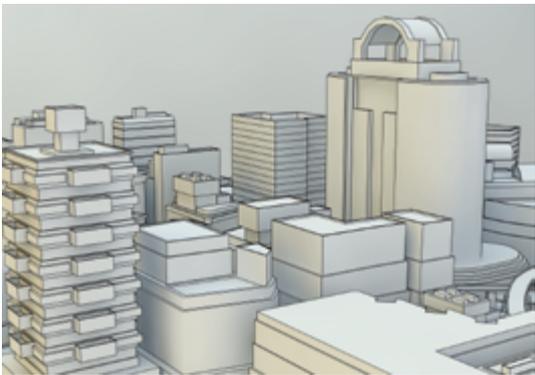
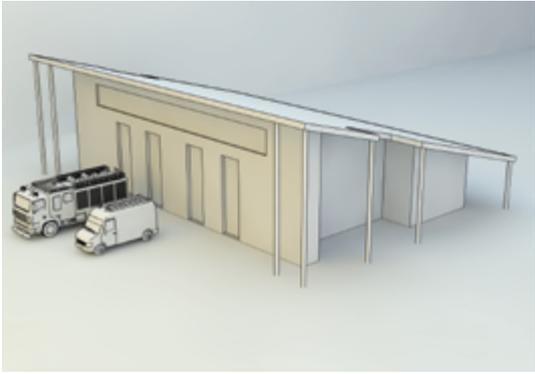


Cette carte ne constitue qu'une illustration. Une définition plus précise par départements et lorsque c'est nécessaire par cantons est disponible dans le décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français



Annexe 4 (suite)

Catégorie d'importance des bâtiments

	Catégorie d'importance	Description
I		<ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée.
II		<ul style="list-style-type: none"> • Habitations individuelles. • Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5. • Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. • Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, h ≤ 28 m, max. 300 pers. • Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes. • Parcs de stationnement ouverts au public.
III		<ul style="list-style-type: none"> • ERP de catégories 1, 2 et 3. • Habitations collectives et bureaux, h > 28 m. • Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes. • Établissements sanitaires et sociaux. • Centres de production collective d'énergie. • Établissements scolaires.
IV		<ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. • Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie. • Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. • Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. • Centres météorologiques.

▲ Figure 39 – Catégories d'importance des bâtiments vis-à-vis des risques sismiques

Source : « La nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments dont le permis de construire est déposé à partir du 1^{er} mai 2011 », de janvier 2011, élaborée par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.



Annexe 5

Estimation simplifiée de la production électrique

Cette annexe est destinée à fournir les éléments permettant d'estimer « manuellement » (sans recours à un logiciel) la production électrique de l'installation de manière très approximative :

$$E = E_i \times P_c \times P_R \times \text{TRIGO}$$

Avec :

- E (kWh/an) : l'énergie annuelle produite par l'installation photovoltaïque.
- E_i (kWh/m²/an) : l'énergie solaire reçue annuellement dans le plan des modules, pour une orientation et une inclinaison optimale (cette donnée peut se lire sur une carte telle que celle accessible sur <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>).
- P_c (kWc) : la puissance crête de l'installation photovoltaïque
- P_R : le ratio de performance, qui caractérise les pertes dues à la température des cellules, aux câblages, à la qualité d'appairage des modules, au rendement de l'onduleur, et toutes les autres pertes intrinsèques aux équipements électriques. Il est généralement choisi égal à 0.7 dans le cas de l'incorporation au bâti avec faible ventilation (hausse de la température des cellules), et 0.75 dans le cas de la surimposition.
- TRIGO : coefficient trigonométrique, qui correspond à l'impact d'une orientation ou d'une inclinaison non optimale (cf. [7.2.1]).



Attention, ce calcul ne tient pas compte des éventuels masques !

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



GUIDE

SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES
PAR MODULES RIGIDES
EN TOITURES INCLINEES

GUIDE DE CONCEPTION, DE MISE
EN ŒUVRE ET DE MAINTENANCE

MARS 2013

NEUF - RÉNOVATION

La vocation d'un système photovoltaïque est certes la production d'électricité mais lorsque celui-ci est implanté sur une toiture inclinée en lieu et place d'éléments de couverture, il devient un produit de bâtiment et doit à ce titre également contribuer à d'autres fonctions essentielles telles que l'étanchéité, la résistance aux charges climatiques (vent, neige et séisme), etc.

La qualité intrinsèque d'un système est par conséquent importante mais utilisé mal à propos ou mal mis en œuvre, il ne pourra donner entière satisfaction.

Quelles sont les démarches administratives préalables à l'implantation d'un système photovoltaïque en toiture ? Où planter le système pour bénéficier d'une production électrique optimale ? Le bâtiment et la toiture d'un bâtiment existant sont-ils aptes à recevoir un système photovoltaïque ? Comment choisir le système photovoltaïque en fonction de la typologie de la toiture destinée à le recevoir ? Quels sont les grands principes à respecter et les erreurs à éviter lors de la réalisation des jonctions du système photovoltaïque avec les éléments environnants (éléments de couverture, rives de bâtiment, faitage et égout) ?

C'est à ces questions et à d'autres que répond ce guide, plus principalement destiné aux entreprises du bâtiment afin de les accompagner dans la réalisation d'une installation photovoltaïque à l'aide de modules photovoltaïques rigide en toiture inclinée, et ce dès la phase de définition de faisabilité.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

