

Avec le soutien de



29.11.2024

Protection incendie pour les installations photovoltaïques ventilées en façades

Document de transition pour la planification et la méthode de preuve en protection incendie

valable jusqu'au 31.12.2026



Version 1.01

Zurich, 29.11.2024

Document de transition pour la planification et la méthode de preuve en protection incendie

© Copyright Swissolar

Swissolar

Geschäftsstelle

Neugasse 6

CH-8005 Zürich

Tel +41 44 250 88 33

info@swissolar.ch

www.swissolar.ch

Ce document a été rédigé avec le soutien de SuisseEnergie.
Les auteurs sont seuls responsables de son contenu.

Table des matières

1	Principes de base	4
1.1	Introduction	4
1.2	Situation de départ	4
1.3	Champ d'application et délimitation	5
2	Dangers	6
2.1	Scénarios d'incendie	6
2.2	Propagation verticale de l'incendie	6
2.3	Propagation horizontale de l'incendie	6
2.4	Chute d'éléments de construction	6
2.5	Dangers naturels	7
3	Description du système	8
3.1	Types de façades	8
3.2	Constructions de parois extérieures	9
3.3	Sous-construction	9
3.4	Modules PV	10
4	Méthode de preuves en protection incendie (selon directives AEAI 27-15)	12
4.1	Systématique	12
4.2	Assurance qualité	12
4.3	Processus	12
4.4	Catégories de systèmes	12
4.5	Rapport de preuves	13
4.6	Essais au feu	13
4.7	Bâtiment de faible hauteur (jusqu'à 11m de hauteur totale)	14
4.8	Bâtiment de hauteur moyenne (jusqu'à 30m de hauteur totale)	15
4.9	Immeubles de grande hauteur (jusqu'à 100 m de hauteur totale)	17
5	Mesures de protection techniques	19
5.1	Principes de base	19
5.2	Câble de connexion et connecteur	19
5.3	Canalisation de câbles	19
5.4	Concept d'onduleur	21
6	Mesures de protection architecturales	22
6.1	Mesures de protection incendie horizontales	22
6.2	Mesures de protection incendie verticales	23
7	Exploitation	24
7.1	Principe	24
7.2	Exigences relatives à l'exploitation	24
7.3	Mise hors service et démantèlement	24
8	Annexe	25
8.1	Glossaire	25
8.2	Explication du dessin	26
8.3	Compléments aux exigences en matière de construction	26
8.4	Compléments Méthode de détection	31
8.5	Compléments à l'entretien	33

1 Principes de base

1.1 Introduction

Ce document a été rédigé à titre transitoire, car aucun papier sur l'état de la technique n'est actuellement disponible sur le thème de la protection incendie des installations photovoltaïques en façade. Ce document sert temporairement de guide pour la planification des façades photovoltaïques. Dans tous les cas, les obligations administratives doivent être remplies en plus.

Ce guide doit être considéré comme un complément au guide de protection incendie AEAI 2001-15 « Capteurs et panneaux solaires », ainsi qu'au document Swissolar « Papier sur l'état de la technique relatif au guide de protection incendie AEAI Capteurs et panneaux solaires ». Les principes de portée générale, tels que les exigences en matière de câblage, d'emplacement des onduleurs, etc. ne sont pas repris ici.

Les concepts de mesures à prendre spécifiques aux bâtiments doivent être définis et approuvés par le projet concerné en collaboration avec le responsable de l'assurance qualité en protection incendie.

1.2 Situation de départ

Le guide de protection incendie AEAI 2001-15 « Capteurs et panneaux solaires » et le document Swissolar « Papier sur l'état de la technique relatif au guide de protection incendie AEAI Capteurs et panneaux solaires » sont orientés vers les installations solaires ajoutées ou intégrées aux toits.

Selon la catégorie de bâtiment (bâtiment de faible hauteur : hauteur totale jusqu'à 11m, bâtiment de hauteur moyenne : hauteur totale jusqu'à 30m, ou bâtiment élevé : hauteur totale jusqu'à 100m), les exigences relatives au revêtement des parois extérieures varient selon les directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction ».

Pour les bâtiments dont la hauteur totale n'excède pas 30 m, des produits de construction combustibles peuvent être utilisés pour les systèmes de revêtement des parois extérieures.

Pour les bâtiments de hauteur moyenne (11-30 m), les revêtements de parois extérieures et les isolations thermiques se composant de matériaux combustibles doivent être conçus de telle sorte qu'un incendie sur la paroi extérieure ne puisse se propager plus de deux étages au-dessus avant l'intervention des sapeurs-pompiers.

Selon les Directives de Protection Incendie (DPI) de l'AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », chiffre 3.2.3, al. 1 ; les façades ventilées mises en œuvre sur les bâtiments de hauteur moyenne doivent être d'une conception reconnue par l'AEAI ou équivalente si le bardage et/ou l'isolation de part et d'autre de la lame d'air, respectivement les couches pleines, sont constitués de matériaux de construction combustibles. Cela s'applique en principe à toutes les façades-rideaux ventilées par l'arrière en photovoltaïque.

A partir d'une hauteur totale de 30 m, seuls des matériaux de construction incombustibles (catégorie de réaction au feu RF1) peuvent être utilisés pour la paroi extérieure primaire et le système de revêtement de la paroi extérieure, conformément aux directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », chiffre 3.1.2, al. 1. Les modules photovoltaïques contiennent des matériaux de construction combustibles. De plus, une installation photovoltaïque présente des charges d'incendie et des risques d'activation supplémentaires.

En principe, les installations photovoltaïques ne sont donc pas autorisées sur les façades des bâtiments élevés et des bâtiments de hauteur moyenne sans mesures ou justificatifs supplémentaires.

Les autorités de protection incendie ne peuvent approuver la mise en œuvre d'une installation photovoltaïque en façade pour les bâtiments de hauteur moyenne et les bâtiments élevés que si une procédure de vérification selon la directive AEAI 27-15 « Méthodes de preuves en protection incendie » démontre que les objectifs de protection et les exigences de protection incendie sont garantis.

1.3 Champ d'application et délimitation

Le guide s'applique aux bâtiments neufs et existants sur les façades desquels sont construites des installations photovoltaïques ventilées.

Le guide s'adresse aux planificateurs, aux entrepreneurs, aux propriétaires, aux utilisateurs et aux maîtres d'ouvrage ainsi qu'aux autorités. Le guide montre sur quelles façades, sous quelles conditions et avec quelle procédure de vérification pour la protection incendie, des installations photovoltaïques peuvent être planifiées et, si elles sont autorisées, mises en œuvre. En outre, il explique les principes techniques spécifiques aux façades en complément du document « Papier sur l'état de la technique relatif au guide de protection incendie AEAI Capteurs et panneaux solaires ».

Le document allège ainsi la planification et la justification pour les planificateurs spécialisés en protection incendie. Pour les autorités de protection incendie, l'évaluation est plus simple.

Aucune autorisation automatique ne peut être déduite du guide. Le guide n'est pas un papier sur l'état de la technique, mais sert de document transitoire jusqu'à ce qu'un tel document soit disponible (valable jusqu'au 31.12.2024).

Si de nouvelles connaissances issues d'essais au feu, de règles techniques ou de prescriptions réglementaires apparaissent, le guide peut être mis à jour en accord avec l'AEAI.

2 Dangers

2.1 Scénarios d'incendie

2.1.1 Scénarios d'incendie sur ou dans le bâtiment

Les principales causes de la sollicitation thermique d'une surface de paroi extérieure sont décrites comme suit par Lignum « 7.1 Parois extérieures - Constructions et revêtements », chap. 1.3.1 :

- Incendie provenant d'un bâtiment voisin avec envol d'étincelles ou rayonnement
- Incendie en dehors du bâtiment au niveau du soubassement ou sur un balcon
- Incendie à l'intérieur d'un bâtiment dans une pièce munie d'ouvertures se trouvant contre la paroi extérieure primaire

2.1.2 Scénario d'incendie dû à des arcs électriques

Par rapport à la plupart des autres matériaux de façade, une façade PV présente un risque d'auto-inflammation par des arcs électriques. Les arcs électriques sont déclenchés par exemple par de mauvais contacts. Il faut ici faire la distinction entre les arcs électriques en série, qui se produisent généralement dans le module, la boîte de jonction et les connecteurs, et les arcs électriques parallèles, qui peuvent être provoqués par des défauts d'isolation lors du câblage.

Les arcs électriques atteignent des températures de plus de 1'000 °C et peuvent enflammer d'autres composants.

2.2 Propagation verticale de l'incendie

La propagation verticale de l'incendie constitue un risque élevé, en particulier pour les bâtiments élevés, car à partir d'une certaine hauteur, les sapeurs-pompiers ne peuvent plus lutter contre le feu depuis l'extérieur. La propagation verticale de l'incendie par la façade doit être limitée. La propagation différée d'un incendie à l'étage supérieur suivant ne peut être exclue sans mesures de protection incendie étendues, telles que la protection intégrale par sprinklers ou la résistance au feu de la façade et des fenêtres.

La combustibilité du module solaire ou de la couche intermédiaire peut contribuer à la propagation verticale de l'incendie. De plus, il existe un potentiel de propagation du feu dans les zones verticales ascendantes des conduites de raccordement.

2.3 Propagation horizontale de l'incendie

Les matériaux combustibles peuvent accentuer la propagation horizontale du feu dans la façade.

La propagation horizontale de l'incendie est influencée par le module et le câblage horizontal des strings et peut également être limitée ou empêchée par des mesures de protection incendie et des principes techniques appropriés.

2.4 Chute d'éléments de construction

Selon les DPI AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », chiffre 3.2.1, al. 1, lors du concept standard de construction, les systèmes de revêtements de parois extérieures collés et / ou les éléments de fenêtres collés (p. ex. façade VEC ou vitrage extérieur collé), dès lors qu'ils ne sont fixés par aucun élément mécanique, doivent être d'une conception reconnue par l'AEAI ou équivalente.

Les modules photovoltaïques doivent présenter un comportement sûr en cas de bris de verre, ainsi qu'une capacité de charge résiduelle suffisante selon l'application. En ce qui concerne la sécurité mécanique, les modules peuvent être traités de la même manière que le verre de sécurité feuilleté.

2.5 Dangers naturels

2.5.1 Protection contre la foudre

Selon le guide de protection incendie de l'AEAI 2001-15 « Capteurs et panneaux solaires », les installations photovoltaïques n'entraînent aucune obligation d'installation d'un paratonnerre, si cela n'est pas requis pour le bâtiment concerné selon la directive de protection incendie AEA 22-15 « Systèmes de protection contre la foudre ». Les bâtiments élevés sont toujours des bâtiments soumis à la protection contre la foudre et disposent au moins d'une protection extérieure contre la foudre. A partir d'une hauteur de bâtiment de 60 m, il faut considérer les impacts de foudre latéraux. Les dispositifs de capture nécessaires doivent être pris en compte dans le concept de façade.

Selon le guide de protection incendie de l'AEAI 2001-15 « Capteurs et panneaux solaires », la façade photovoltaïque doit être intégrée dans le système de protection contre la foudre. En plus d'être raccordées à la liaison équipotentielle de protection, les parties métalliques extérieures de l'installation photovoltaïque doivent être intégrées dans la protection extérieure contre la foudre. Pour la planification et l'intégration, un concept doit être établi en collaboration avec le planificateur de la protection contre la foudre. Ce concept doit être disponible au moment de la vérification.

2.5.2 Protection contre la grêle

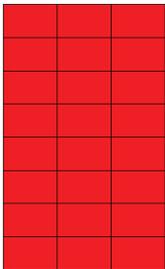
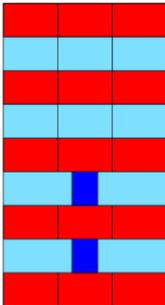
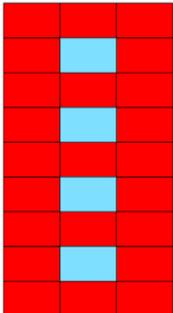
En raison de leur situation, les façades photovoltaïques des bâtiments élevés peuvent être endommagées par la grêle. Conformément au guide de l'AEAI 2001-15 « Capteurs et panneaux solaires », il faut utiliser des modules solaires dont la classe de résistance à la grêle est prouvée. La classe de résistance à la grêle des modules doit être déterminée conformément à la norme SIA 261/1 en tenant compte de la carte grêle actuelle.

3 Description du système

3.1 Types de façades

La classification suivante des types de façades (sur le modèle de Lignum « 7.1 Parois extérieures - Constructions et revêtements ») permet de regrouper et de mieux attribuer les mesures de protection spécifiques aux objets. Un bâtiment peut également présenter plusieurs types de façades. Dans ce cas des mesures de protection supplémentaires seront éventuellement nécessaires au niveau des transitions (séparation) entre les différents types de façades pour les compartimer. La séparation verticale des surfaces telle que décrite au chapitre 4.4 devient nécessaire dès que les zones de façade peuvent être attribuées à différentes catégories de systèmes.

Tableau 1 : Types de façades PV (représentation propre)

Désignation	Image de principe	Caractéristiques
Façade borgne sans fenêtre, ou fenêtres résistantes au feu		<ul style="list-style-type: none"> - façade borgne sans fenêtre - Façade avec fenêtres fixes vissées avec résistance au feu - Disposition des fenêtres libre
Fenêtres en bandeau, ou bandeaux de façade horizontaux RF1		<p>Interruption horizontale continue de l'espace de ventilation arrière par étage par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une bande de fenêtre continue horizontale RF1 - Une bande de façade continue horizontale RF1 - Une combinaison latérale de bandeau de fenêtre et de bandeau de façade RF1
Façade perforée		<ul style="list-style-type: none"> - Ouvertures de fenêtres individuelles sans résistance au feu - Interruption locale de l'espace de ventilation arrière par une fenêtre - Taille et disposition des fenêtres variables - Espace de ventilation arrière ouvert sur toute la hauteur, si aucune mesure n'est prise

3.2 Constructions de parois extérieures

La construction d'une paroi extérieure avec des éléments PV correspond en principe à une façade ventilée. La sous-construction primaire (6) est fixée sur la structure porteuse de la paroi extérieure primaire (3). Ensuite un système de montage mécanique adapté aux modules PV (1) est utilisé à partir de la sous-construction primaire. Dans le cas de bâtiments non isolés ou isolés de l'intérieur, l'isolation thermique (2) peut également être supprimée.

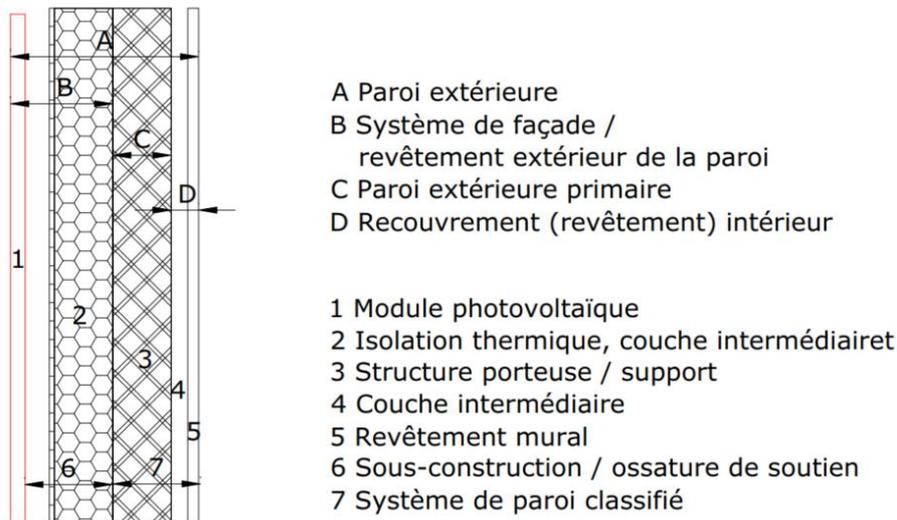


Figure 1 : Principe de construction d'une paroi extérieure photovoltaïque (représentation propre)

Le système de façade (B) sans le module photovoltaïque (1) doit pouvoir être classé dans l'une des catégories suivantes afin que l'installation photovoltaïque soit conforme au présent guide :

- Structures du système de revêtement extérieur de la paroi (B) sans le module photovoltaïque (1) et de la paroi extérieure primaire (C) en matériaux de construction RF1
- Pour les bâtiments de faible et moyenne hauteur, une couche extérieure combustible peut être acceptée, si la paroi extérieure primaire (C) et la couche d'isolation thermique / couche intermédiaire (2) respectent les conditions selon Lignum « 7.1 Parois extérieures - Constructions et revêtements », chap. 2.4.3.

Des exigences différentes pour des éléments de construction spécifiques sont autorisées conformément aux descriptions des chapitres :

- 3.3 Sous-construction
- 5.3 Canalisation de câbles

Les exigences relatives aux modules photovoltaïques sont décrites au chapitre 4.

3.3 Sous-construction

Exigences selon les directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction » chiffres 3.2.1 et 3.2.3 pour les façades ventilées avec modules photovoltaïques :

- Si les modules PV sont collés sur le système de montage, ils doivent nécessairement être fixés par des éléments mécaniques pour toutes les catégories de bâtiments, conformément aux directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », chiffre 3.2.1, al. 1.
- Les sous-structures linéaires (rails, lattes, ...) doivent être réalisées en matériaux de construction RF1 pour les bâtiments de plus de 11m.

- Les fixations et ancrages ponctuels qui se trouvent dans l'isolation thermique sont autorisés en matériaux de construction au moins RF3 (cr) selon les directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction » chiffre 3.2.3, al. 3.

3.3.1 Sécurisation par des éléments mécaniques

Pour la fixation des modules photovoltaïques collés, il faut prévoir, pour la sécurisation par des éléments mécaniques, au moins deux équerres d'appui par module pour supporter les forces verticales (poids propre). En tenant compte de cette exigence, on peut par exemple utiliser des systèmes de montage de modules par recouvrement (écaille), insérés, accrochés (pincés) ou collés sur des rails de montage. Des cales en verre ou des inserts ponctuels en caoutchouc sont autorisés dans la technique de fixation pour protéger le bord du verre du module photovoltaïque.

3.3.2 Ventilation arrière

L'espace de ventilation entre la paroi extérieure primaire (C) ou l'isolation thermique (2) le cas échéant et les modules photovoltaïques (1) doit avoir une profondeur comprise entre 40 mm et 100 mm. Localement, la section d'aération peut être réduite de 50% au maximum (par ex. par des moustiquaires ou des ouvertures d'aération). La section d'aération peut être dimensionnée en fonction de l'espace de ventilation arrière minimal nécessaire, même si l'espace de ventilation arrière est plus grand pour des raisons de construction. Les indications du fabricant des modules photovoltaïques doivent être prises en compte.

3.4 Modules PV

3.4.1 Types

Les modules photovoltaïques peuvent être divisés en deux catégories principales, comprenant chacune deux sous-catégories.

Tableau 2 : Types de modules PV (représentation propre)

Catégorie principale	Sous-catégorie	Caractéristiques
Modules bi-verre (verre-verre)	Sans cadre	<ul style="list-style-type: none"> • Face avant et arrière en verre (verre durci (VD) ou verre de sécurité trempé (VST)) RF1 • Inflammation retardée de la couche intermédiaire • Catégorie de réaction au feu RF2 atteignable
	Avec cadre	
Modules verre-film	Sans cadre	<ul style="list-style-type: none"> • Face avant en verre (VD ou VST) RF1 • Face arrière en film composite RF3 (cr) • Catégorie de réaction au feu RF3 (cr) atteignable
	Avec cadre	

Les catégories de réaction au feu mentionnés dans le tableau ci-dessus doivent être justifiés par le fabricant. Les exigences en matière de statique doivent être conçues conformément à la norme SIA 2057 « Constructions en verre ».

3.4.2 Couleur

Différentes technologies sont utilisées pour les modules photovoltaïques colorés, qui ont des effets différents sur le comportement au feu. Les couleurs céramiques n'ont aucune influence sur le comportement au feu et la classification des matériaux de construction des modules PV. Toutes les autres technologies de coloration doivent être prises en compte lors des essais de résistance au feu des modules.

3.4.3 Certifications

Les certifications suivantes sont nécessaires pour le module PV :

Tableau 3 : Certifications des modules PV (représentation propre)

Composant	Norme
Boîte de jonction	SN EN 62790:2015-03 "Boîtes de jonction pour modules photovoltaïques". SN EN 62979:2017-10 "Modules photovoltaïques (PV) - Essai d'emballage thermique portant sur les diodes de dérivation des modules photovoltaïques".
Module	IEC 61730-1:2023 ED3 « Modules photovoltaïques (PV) - Qualification pour la sûreté de fonctionnement - Partie 1: Exigences pour la construction » IEC 61730-2:2023 ED3 « Modules photovoltaïques (PV) - Qualification pour la sûreté de fonctionnement - Partie 2: Exigences pour les essais » Approbation de type pour les dimensions de modules utilisées

4 Méthode de preuves en protection incendie (selon directives AEAI 27-15)

4.1 Systématique

Si l'état de la technique fait défaut et/ou si l'on s'écarte des exigences des prescriptions de protection incendie, il faut prouver que les mesures de protection ou les réalisations prévues permettent d'atteindre de manière équivalente les objectifs de protection principaux. Pour cette preuve, il faut définir des objectifs de protection spécifiques à l'objet, qui seront atteints avec les mesures de protection prévues.

Dans ce document, les façades PV sont classées en catégories de systèmes afin de classifier les exigences relatives à la méthode de preuve en protection incendie.

4.2 Assurance qualité

Les exigences en matière d'assurance qualité sont définies conformément à la directive AEAI 11-15 « Assurance qualité en protection incendie ». Si une élaboration de preuves est nécessaire, elle doit être menée par un expert en protection incendie reconnu par l'AEAI conformément au degré 3 d'assurance qualité. Les spécialistes correspondants figurent dans le registre de l'AEAI. La personne responsable de l'assurance qualité est le premier interlocuteur des autorités de protection incendie pendant le projet. La direction générale assume, entre autres tâches, la coordination des interfaces entre les différents corps de métier.

4.3 Processus

Les propriétaires, les planificateurs PV, les planificateurs de façades, le responsable de l'assurance qualité en matière de protection incendie et les autorités de protection incendie sont tous impliqués dans les méthodes de preuves en protection incendie. Une concertation anticipée avec les différentes instances accélère les méthodes de preuves. Le concept général peut être élaboré en concertation avec les parties concernées.

4.4 Catégories de systèmes

Pour définir les méthodes de preuves en protection incendie nécessaires, les installations photovoltaïques sur les façades sont réparties en trois catégories de systèmes :

- Catégorie de système 0 : aucune méthode de preuves requise
- Catégorie de système 1 : méthodes de preuves possibles avec des preuves argumentées
- Catégorie de système 2 : méthodes de preuves uniquement par des essais au feu

Si des zones de façade sur le même bâtiment peuvent être attribuées à différentes catégories de système, les différentes zones de façade doivent être évaluées séparément et en combinaison.

Si les différentes zones de façade a, b et c sont attribuées à des catégories de systèmes différentes, elles doivent faire l'objet de mesures de protection incendie horizontales et verticales selon le chapitre 6 et être délimitées entre elles et par rapport aux autres parties de la façade.

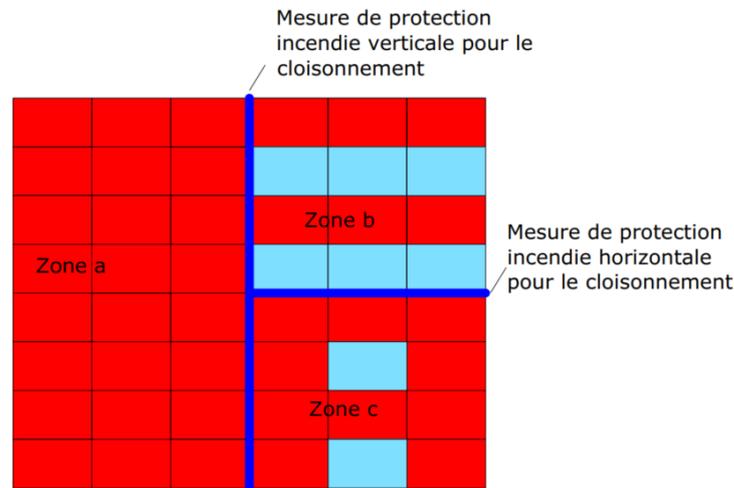


Figure 2: compartimentage des zones de façade et des catégories de systèmes (représentation propre)

La sécurité des personnes doit être garantie dans tous les cas. Si les exigences des catégories de systèmes correspondantes sont remplies, l'installation peut être approuvée, mais pas automatiquement.

4.5 Rapport de preuves

Avant la rédaction d'un rapport de preuves, les conditions aux limites et les objectifs de protection doivent impérativement être convenus avec les autorités de protection incendie. Pour que les autorités de protection incendie puissent juger de l'équivalence de la réalisation des objectifs de protection, un rapport de preuves doit être disponible. Le rapport doit contenir un index des versions avec les modifications effectuées.

Pour les projets d'installation PV de la catégorie de système 2, les rapports d'essai au feu doivent également être remis. Les personnes chargées de la vérification doivent démontrer, à l'aide des rapports d'essai, que les objectifs de protection sont atteints.

4.6 Essais au feu

La procédure pour la réalisation de la méthode de preuves définit des objectifs de protection qui doivent être soumis à l'autorité de protection incendie pour approbation. Comme il n'existe pas d'état de la technique, le respect de ces objectifs de protection pour la catégorie de système 2 doit être prouvé par des essais au feu.

Les essais au feu doivent être réalisés, en accord avec les autorités de protection incendie, dans un laboratoire d'essai reconnu par l'AEAI, un organisme notifié (notified body) du système d'information NANDO de l'Union européenne, ou dans un dispositif d'essai convenu avec les autorités de protection incendie.

4.7 Bâtiment de faible hauteur (jusqu'à 11m de hauteur totale)

4.7.1 Objectifs de protection

Dans les directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », aucun objectif de protection n'est défini pour les bâtiments de faible hauteur (hauteur totale jusqu'à 11 m), mais seulement des exigences en matière de matériaux, car l'intervention des sapeurs-pompiers est garantie depuis l'extérieur.

4.7.2 Méthode de preuves

Selon les directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », pour les façades ventilées de bâtiments de faible hauteur (hauteur totale jusqu'à 11 m), seule la réaction au feu des matériaux doit être respectée.

4.7.3 Catégories de systèmes

Catégorie de système 0

Toutes les installations photovoltaïques entrent dans cette catégorie, indépendamment du type de façade. L'installation photovoltaïque peut être approuvée sans recourir à une méthode de preuves.

De manière générale, il faut que toutes les conditions suivantes soient remplies :

- La paroi extérieure primaire doit être construite selon la description du chapitre 3.2.
- Tous les types de modules PV peuvent être utilisés (min. RF3 (cr)).
- Il n'est pas nécessaire d'intégrer des mesures de protection incendie horizontales contre la propagation d'un incendie dans l'espace de ventilation arrière ni au niveau des canalisations de câbles selon le chapitre 6.1.
- Les mesures de protection techniques de l'installation photovoltaïque doivent être prises conformément au chapitre 5.
- Les micro-onduleurs et les optimiseurs peuvent être utilisés.

Catégorie de système 1 - 2

Aucune catégorie de système 1 ou 2 n'est prévue pour les bâtiments de faible hauteur (hauteur totale inférieure à 11 m).

4.7.4 Assurance qualité

En principe, selon les directives AEAI 11-15 « Assurance qualité en protection incendie », chiffre 3.3.1, une assurance qualité de degré 1 ou 2 est exigée pour les bâtiments jusqu'à 11 m, en fonction de leur affectation.

4.8 Bâtiment de hauteur moyenne (jusqu'à 30m de hauteur totale)

4.8.1 Objectifs de protection

L'objectif de protection suivant est formulé dans les directives AEAI « 14-15 Utilisation des matériaux de construction », chiffre 3.1.1, pour la catégorie de bâtiments « Bâtiments de hauteur moyenne » :

Les revêtements de parois extérieures et les isolations thermiques se composant de matériaux combustibles doivent être conçus de telle sorte qu'un incendie sur la paroi extérieure ne puisse se propager plus de deux étages au-dessus avant l'intervention des sapeurs-pompiers.

4.8.2 Procédure de vérification

Selon les directives AEAI 14-15 « Utilisation des matériaux de construction », chiffre 3.2.3, les façades ventilées mises en œuvre sur les bâtiments de hauteur moyenne doivent être d'une conception reconnue par l'AEAI ou équivalente si le bardage et/ou l'isolation de part et d'autre de la lame d'air, respectivement les couches pleines, sont constitués de matériaux de construction combustibles.

Dans la mesure où aucune construction utilisée n'est reconnue par l'AEAI (ni équivalente), une méthode de preuve doit être effectuée.

4.8.3 Catégories de systèmes

Catégorie de système 0

Les constructions reconnues par l'AEAI ou équivalentes peuvent être attribuées à la catégorie de système 0.

Catégorie de système 1

L'installation photovoltaïque peut être approuvée si, selon le chapitre 4.5, le rapport de preuves :

- décrit les objectifs de protection mentionnés au chapitre 4.8.1
- et décrit les mesures prises pour les respecter de manière complète, plausible et compréhensible.

Cette catégorie comprend toutes les installations, indépendamment du type de façade, qui ne relèvent pas de la catégorie de système 2.

De manière générale, il faut que toutes les conditions suivantes soient remplies :

- La paroi extérieure primaire doit être construite selon la description du chapitre 3.2.
- Des mesures de protection incendie horizontales sont prises par étage contre la propagation verticale du feu dans l'espace de ventilation arrière et dans les canalisations de câbles selon le chapitre 6.1.
- Le concept de protection incendie du bâtiment ne présente pas d'écarts significatifs par rapport aux prescriptions actuelles de protection incendie de l'AEAI. L'autorité de protection incendie décide de la classification des écarts.
- Les modules photovoltaïques ont une structure bi-verre d'au moins 2 x 4 mm et présentent une classification d'au moins B-s3,d1 selon la norme SN EN 13501-1.
- L'épaisseur du verre de la structure bi-verre peut être réduite à un minimum de 2 x 1,6 mm si le bord du module PV est entouré (encadré) par un matériau de la catégorie de réaction au feu RF1 d'une épaisseur $\geq 1,5$ mm. Une classification d'au moins B-s3,d1 selon la norme SN EN 13501-1 doit être prouvée.
- Les mesures de protection techniques de l'installation photovoltaïque doivent être effectuées conformément au chapitre 5.
- Aucun micro-onduleur ni optimiseur n'est installé dans l'espace de ventilation arrière.

Les conditions pour les catégories de bâtiments suivantes peuvent être simplifiées comme suit :

- Bâtiment avec concept d'installation d'extinction ou paroi extérieure avec résistance au feu (y compris les fenêtres) : Mesures de protection incendie horizontales selon chiffre. 6.1 ne doivent être mises en œuvre que pour un étage sur deux. Les détails doivent être expliqués dans le rapport de vérification.
- Paroi extérieure avec résistance au feu (y compris les fenêtres) : Les modules photovoltaïques peuvent avoir une structure verre-film avec une classification RF2 (cr).

Catégorie de système 2

Cette catégorie comprend les installations qui ne satisfont pas à certaines exigences de la catégorie de système 1 (p. ex. écarts par rapport aux propositions de solutions architecturales et techniques du chapitre 5 ou adoptent des concepts alternatifs).

La condition est toutefois que le concept de protection incendie du bâtiment ne présente pas d'écarts pertinents par rapport aux prescriptions de protection incendie actuelles. C'est l'autorité de protection incendie qui décide si les divergences sont pertinentes.

L'installation photovoltaïque peut être approuvée si :

- la paroi extérieure primaire est réalisée conformément à la description du chapitre 3.2.
- il est prouvé que les objectifs de protection sont atteints avec des essais au feu (chapitre 4.6), et
- le rapport de preuves selon le chapitre 4.5
 - décrit les objectifs de protection mentionnés au point 4.8.1 et
 - décrit de manière complète, plausible et compréhensible les mesures prises pour les respecter.

4.8.4 Assurance qualité

Si selon 4.8.2 une méthode de preuves est nécessaire, le projet est attribué au niveau d'assurance qualité DAQ 3, conformément aux directives AEAI 11-15 « Assurance qualité en protection incendie », chiffre 3.4.1. La méthode de preuves doit être effectuée par un expert en protection incendie reconnu par l'AEAI.

Pour les projets de façades PV sur des bâtiments de hauteur moyenne, le niveau d'assurance qualité peut être réduit à DAQ 2 en accord avec les autorités de protection incendie.

4.9 Immeubles de grande hauteur (jusqu'à 100 m de hauteur totale)

4.9.1 Objectifs de protection

Dans la DPI AEAI "14-15 Utilisation de matériaux de construction", aucun objectif de protection explicite n'a été formulé jusqu'à présent pour la catégorie de bâtiments élevés en ce qui concerne la façade, car les exigences relatives aux matériaux sont en principe RF1. Dérivée de l'exigence relative aux matériaux de construction de la façade (RF1), la propagation d'un incendie par la façade - en l'occurrence par l'installation photovoltaïque - n'est pas acceptée sur les bâtiments élevés selon les prescriptions de protection incendie.

Entre-temps, l'AEAI a défini des objectifs de protection pour les systèmes de revêtement des parois extérieures des bâtiments élevés et la commission technique de protection incendie les a adoptés le 12 septembre 2023. Les objectifs de protection sont répartis comme suit en deux domaines :

Objectif de protection contre l'incendie

En cas d'incendie, il ne doit pas y avoir de propagation de l'incendie par la paroi extérieure primaire sur plus de deux étages au-dessus de l'étage de l'incendie avant l'attaque des pompiers pour l'éteindre (bien à protéger : protection des personnes).

Objectif de protection Système de revêtement de paroi extérieur

Après l'inflammation du système de revêtement de parois extérieures, un incendie dans la zone du système de revêtement de paroi extérieure ne peut se propager de manière autonome dans le sens vertical que jusqu'au niveau suivant (bien à protéger : protection du bâtiment et des personnes).

La fonction de la voie d'évacuation verticale ne doit pas être entravée (bien à protéger : protection des personnes).

Le système de revêtement des parois extérieures doit être conçu de manière que les pompiers ne doivent pas intervenir de l'extérieur (bien à protéger : protection du bâtiment).

4.9.2 Méthode de preuve

Comme il faut déroger au principe de l'AEAI-DPI "14-15 Utilisation de matériaux de construction" pour n'utiliser en façade que des matériaux de la catégorie de réaction au feu RF1, il faut toujours procéder à une vérification.

4.9.3 Catégories de systèmes

Catégorie de système 0

Aucun bâtiment ou installation ne peut être classé dans la catégorie de système 0.

Catégorie de système 1

L'installation photovoltaïque peut être approuvée si le rapport justificatif selon le chiffre 4.5:

- les critères mentionnés au point 4.9.1 les objectifs de protection et
- décrit de manière complète, plausible et compréhensible les mesures prises pour les respecter.

Cette catégorie comprend les placements :

- Bâtiments avec concept d'installation d'extinction
- murs extérieurs avec résistance au feu (y compris les fenêtres)
- les façades avec des bandes de fenêtres ou des bandes horizontales de la catégorie de réaction au feu RF1 par étage qui ont une hauteur d'au moins 1,3 m et
 - avec une mesure de protection incendie horizontale réduite ¹au-dessus du module PV
 - et une mesure de protection incendie horizontale sous le module PVpeuvent être combinés.

¹ Les mesures de protection incendie horizontales réduites sont décrites au chapitre 6.1.

De manière générale, il faut que toutes les conditions suivantes soient remplies :

- La paroi extérieure primaire et le système de revêtement de la paroi extérieure, à l'exclusion de l'installation photovoltaïque, sont constitués de matériaux de construction de la catégorie de réaction au feu RF1 ou d'un système encapsulé. Exceptions selon AEAI-DPI "14-15 Utilisation de matériaux de construction", ch. 2, al. 8, ch. 3.2.3, al. 3 et ch. 3.2.8, note de bas de page [3].
- Des mesures de protection incendie horizontales sont prises par étage contre la propagation verticale du feu dans le plan de ventilation arrière et pour les canalisations des câbles selon le chiffre 6.1 sont mises en œuvre.
- Le concept de protection incendie de la tour ne présente pas d'écarts significatifs par rapport aux prescriptions actuelles de protection incendie de l'AEAI. L'autorité de protection incendie décide de la classification des écarts.
- Les modules photovoltaïques ont une structure bi-verre d'au moins 2 x 6 mm et présentent une classification d'au moins B-s3,d1 selon la norme SN EN 13501-1.
- Pour les parois extérieures avec résistance au feu (y compris les fenêtres), l'épaisseur du verre de la structure bi-verre peut être réduite à un minimum de 2 x 1.6 mm si le bord du module PV est entouré (encadré) par un matériau de la catégorie de réaction au feu RF1 d'une épaisseur $\geq 1,5$ mm. Une classification d'au moins B-s3,d1 selon la norme SN EN 13501-1 doit être prouvée.
- Les mesures techniques de protection de l'installation photovoltaïque doivent être prises conformément au chiffre 5 sont réalisées.
- Aucun onduleur de module ni optimiseur n'est installé dans le plan de ventilation arrière.

Si les exigences mentionnées sont remplies, l'installation peut être autorisée, mais elle n'est pas automatiquement approuvée.

Catégorie de système 2

La condition est que le concept de protection incendie de la tour ne présente pas d'écarts pertinents par rapport aux prescriptions actuelles de protection incendie. C'est l'autorité de protection incendie qui décide si les divergences sont pertinentes.

Les placements entrent dans cette catégorie :

- ne répondent pas aux différentes exigences de la catégorie de système 1, par ex :
 - les écarts par rapport aux solutions techniques et architecturales proposées aux points 5 et 6
 - suivre des concepts alternatifs (p. ex. installation d'extinction en façade)
- avec montage en porte-à-faux des modules PV

L'installation photovoltaïque peut être approuvée si :

- avec des tests d'incendie (chiffre 4.6), il est prouvé que les objectifs de protection sont atteints et que
- le rapport de justification selon le chiffre 4.5
 - les critères mentionnés au point 4.9.1 les objectifs de protection et
 - décrit les mesures prises pour les respecter de manière complète, plausible et compréhensible.

4.9.4 Assurance qualité

Sur la base de la procédure de justification, le projet est attribué au niveau d'assurance qualité DAQ 3, conformément aux RGES AEAI "11-15 Assurance qualité en protection incendie", ch. 3.4.1. La procédure de vérification doit être effectuée par un expert en protection incendie reconnu par l'AEAI.

5 Mesures de protection techniques

5.1 Principes de base

L'actuel STP Installations solaires de Swissolar sert de base pour l'installation des différents composants de l'installation solaire, ainsi que pour la documentation obligatoire. Dans ce chapitre, des compléments spécifiques sont apportés pour les façades PV.

5.2 Câble de connexion et connecteur

Il convient d'utiliser des câbles et des connecteurs certifiés à cet effet.

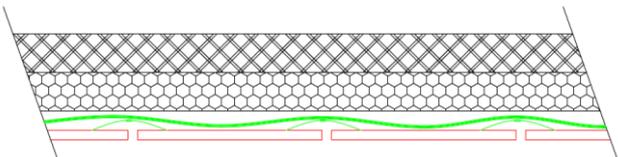
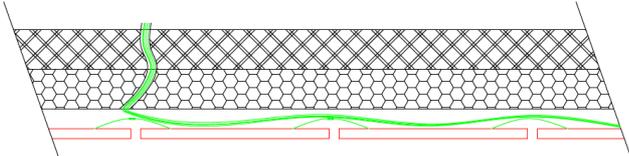
Tableau 4: caractéristiques câble de raccordement et connecteur (représentation propre)

Composant	Norme	Exigences
Câble DC	SN EN 50618:2014-12 "Câbles et conduits - Conduits pour systèmes photovoltaïques (masc.)"	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe de réaction au feu RF3 (cr) • sans halogène • ignifugé • Faible charge d'incendie : <math><0,8 \text{ MJ/m}</math>
Fiche	SN EN 62852:2015-03 "Connecteurs pour applications à tension continue dans les systèmes photovoltaïques - Exigences de sécurité et essais".	<ul style="list-style-type: none"> • Groupe de réaction au feu RF3 (cr) • Résistant aux flammes • uniquement des connecteurs compatibles du même fabricant (NIN)

5.3 Canalisation de câbles

5.3.1 Guidage horizontal des câbles

Tableau 5: Types de pose de câbles horizontaux (représentation propre)

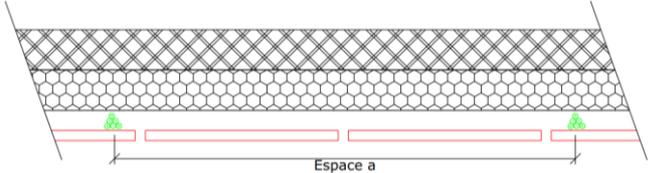
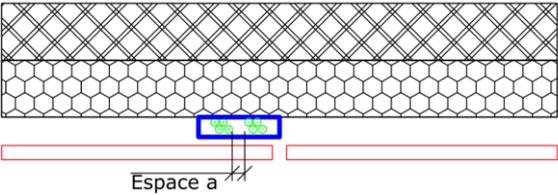
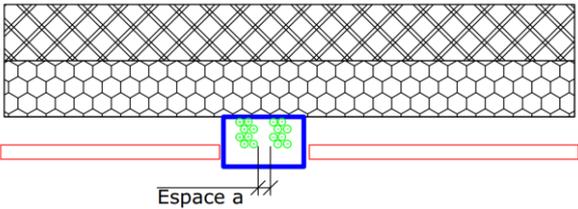
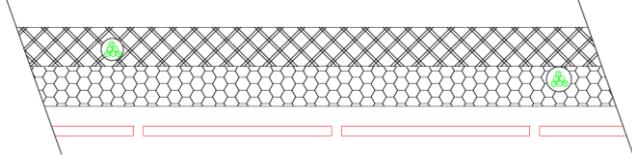
Mode de pose	Exigences
<p>Câbles libres dans l'espace de ventilation arrière sans canalisation</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas plus de 3 branches (6 câbles DC) en parallèle • Maintenir les connecteurs de modules courts • Espace entre les guides de câbles horizontaux $\geq 1 \text{ m}$
<p>Canalisation de câbles dans le matériau RF1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Le conducteur de protection doit être présent • Affectation selon NIBT

5.3.2 Guides de câbles verticaux

Les points suivants doivent en principe être respectés lors de la canalisation verticale des câbles :

- Les câbles peuvent être posés librement entre les mesures de protection incendie horizontales et verticales.
- Matériaux de construction du groupe de réaction au feu RF3 (cr) autorisés pour la fixation
- Il faut veiller à une bonne décharge de traction
- La division en plusieurs zones verticales de montée réduit le risque d'incendie local
- Pas de prises DC dans la zone de montée verticale
- Le diamètre des ouvertures pour l'entrée et la sortie des câbles doit être aussi petit que possible. Il convient de veiller à la protection des câbles, en utilisant des matériaux de construction appartenant au moins au groupe de réaction au feu RF3 (cr).

Tableau 6: Types de pose de câbles verticaux (représentation propre)

Mode de pose	Exigences
<p>Câbles libres dans l'espace de ventilation arrière sans canalisation</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • max. 3 brins par zone de montée • Possibilité de mixer DC+ et DC- • min. 3 m d'espace (a) entre les zones de montée verticales • Prévoir une protection contre les rongeurs
<p>Canalisation fermée des câbles dans l'espace de ventilation arrière derrière les modules</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Répartition sur plusieurs zones de montée à privilégier • DC + et DC- doivent être triés à partir de 3 brins et espacés de 10 cm (distance a). • Canal métallique fermé et mis à la terre pour le blindage • Prévoir une protection contre les rongeurs
<p>Canalisation fermée des câbles qui sépare le champs des modules</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Répartition sur plusieurs zones de montée à privilégier • DC + et DC- doivent être triés à partir de 3 brins et espacés de 10 cm (espace a). • Canal métallique fermé et mis à la terre pour le blindage • Prévoir une protection contre les rongeurs
<p>Canalisation de câbles dans un matériau RF1 (par ex. béton)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Le conducteur de protection doit être présent • Affectation selon NIN

5.4 Concept d'onduleur

Les onduleurs doivent être conformes aux normes en vigueur. En ce qui concerne la protection contre les incendies, il s'agit notamment

Tableau 7 : Exigences relatives aux systèmes d'onduleurs (représentation propre)

Fonction	Norme
Sécurité des appareils	SN EN 62109-1:2010-07 "Sécurité des onduleurs destinés à être utilisés dans des systèmes d'alimentation photovoltaïques - Partie 1 : Exigences générales". SN EN 62109-2:2011-09 "Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes d'alimentation photovoltaïques - Partie 2 : Exigences particulières pour les onduleurs".

Les points suivants doivent être pris en compte dans le concept de l'onduleur :

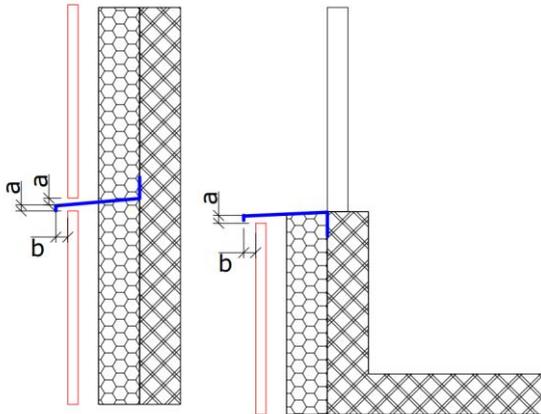
- Exigences relatives à l'emplacement de l'onduleur selon le document de l'état de la technique Swissolar "STP à la notice de protection incendie AEAI Installations solaires".
- L'utilisation d'onduleurs équipés de détecteurs d'arcs électriques et d'une interruption automatique est à privilégier. Toutefois sur le marché européen, la fonction de détection d'arcs électriques n'est pas encore disponible sur de nombreux appareils. De plus, il n'existe que des informations limitées sur les coupures d'arcs électriques, ce qui rend difficile l'évaluation de la détection effective des arcs électriques. Dans ces conditions, l'utilisation d'onduleurs avec détection d'arc est certes recommandée pour les centrales photovoltaïques en façade, mais pas obligatoire.

6 Mesures de protection architecturales

6.1 Mesures de protection incendie horizontales

Tableau 8: Mesures de protection incendie horizontales (représentation propre)

Interruption horizontale de l'espace de ventilation arrière



Les matériaux présentant les propriétés suivantes peuvent être utilisés comme mesure de protection contre l'incendie pour interrompre/compartimenter l'espace de ventilation arrière :

- Matériaux de construction de la catégorie de réaction au feu RF1
- Point de fusion $\geq 1'000$ °C
- Épaisseur du matériau $\geq 1,5$ mm
- Résistant aux intempéries

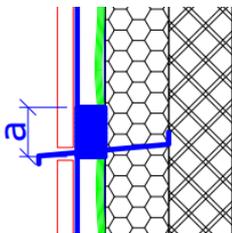
Les distances doivent être interprétées comme suit :

- $a \leq 20$ mm
- $b \geq 10$ mm

Possibilité d'agencer la mesure de protection incendie horizontale en dessous et au-dessus de la fenêtre

les joints verticaux en matériaux de construction combustibles ne doivent pas contrecarrer la mesure de protection incendie horizontale.

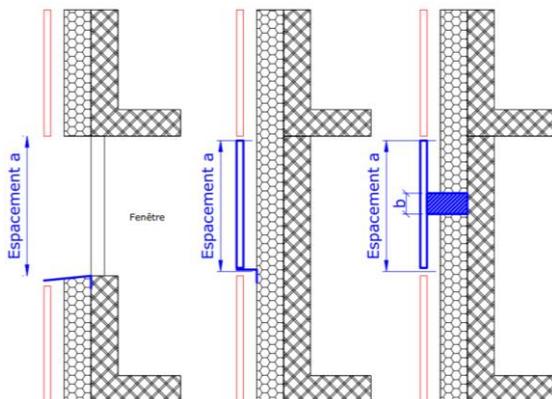
Interruption horizontale de la canalisation de câbles



A tous les étages, les canaux de câbles doivent être subdivisés avec des matériaux de construction de la catégorie de réaction au feu RF1 dans la zone des mesures de protection incendie horizontales.

Les matériaux de construction de la catégorie de réaction au feu RF1 doivent présenter un point de fusion d'au moins 1000 °C et une densité d'au moins 60 kg/m³ et avoir une épaisseur (a) d'au moins 15 cm.

Bandes horizontales de fenêtres / zones de vêtements continues



Les bandes de fenêtres et/ou les revêtements continus de parois extérieures RF1 qui interrompent horizontalement le plan de ventilation arrière sont considérés, à partir d'un écart (a) de 1,3 m de hauteur, comme des mesures de protection contre l'incendie visant à limiter la propagation du feu, s'ils sont combinés avec une mesure de protection contre l'incendie horizontale réduite (la mesure de protection contre l'incendie réduite peut être positionnée au-dessus ou au-dessous de la bande de fenêtre). Il s'agit de

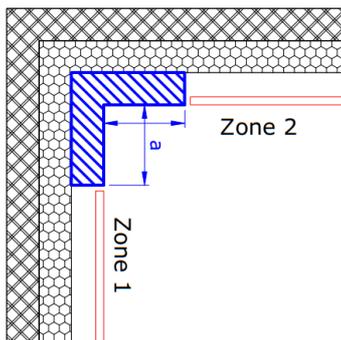
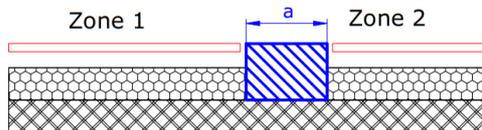
- Matériaux de construction de la catégorie de réaction au feu RF1
- Point de fusion $\geq 1'000$ °C
- Épaisseur du matériau $\geq 1,5$ mm
- Résistant aux intempéries

Il n'est pas nécessaire de prévoir un porte-à-faux de la mesure de protection incendie horizontale. Comme alternative à une tôle, il est possible d'utiliser une mesure de protection incendie en laine minérale d'une épaisseur (b) ≥ 15 cm.

6.2 Mesures de protection incendie verticales

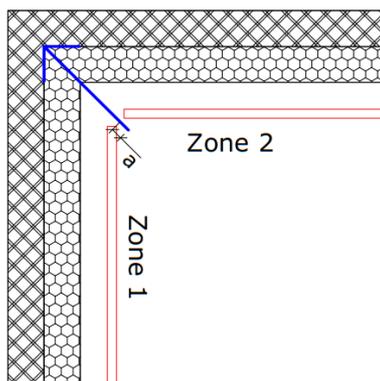
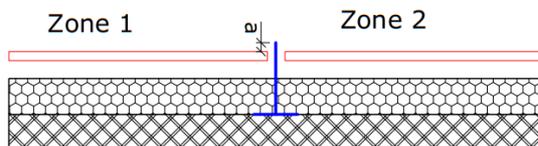
Tableau 9 : Mesures de protection incendie verticales (représentation propre)

Séparation / écart dans l'espace de ventilation arrière



Les zones de revêtement verticales continues RF1 qui divisent le niveau de ventilation arrière sont considérées comme des mesures de protection incendie à partir d'une largeur (a) de 150 mm.

Interruption verticale de l'espace de ventilation arrière



Les matériaux présentant les propriétés suivantes peuvent être utilisés comme mesure de protection contre l'incendie pour interrompre verticalement l'espace de ventilation arrière :

- Matériaux de construction de la catégorie de réaction au feu RF1
- Point de fusion $\geq 1'000$ °C
- Épaisseur du matériau $\geq 1,5$ mm
- Résistant aux intempéries

Les distances doivent être interprétées comme suit :

- $a \geq 10$ mm

(Inspirée des mesures de protection incendie verticales pour les parois formant compartiment coupe-feu de Lignum "7.1 Parois extérieures - Construction et revêtement", ch. 4.2).

7 Exploitation

7.1 Principe

Les installations photovoltaïques doivent être contrôlées et entretenues. Ces aspects doivent être pris en compte dès la phase de planification afin de permettre une maintenance et un entretien efficaces. La maintenance et l'entretien doivent être prévus en particulier pour les installations en façade, car l'accès est limité.

Le contrôle s'effectue à distance via un système de surveillance basé sur le cloud qui saisit les rendements, enregistre et transmet les messages d'erreur. Des visites de contrôle régulières sur place permettent de vérifier l'état des installations et de prendre des mesures si nécessaire.

Pour une maintenance correcte, l'entreprise qui installe le système doit remettre au propriétaire une documentation conforme à la norme SN EN 62446-1:2016-04 "Systèmes photovoltaïques (PV) - Exigences pour les essais, la documentation et la maintenance - Partie 1 : Systèmes raccordés au réseau - Documentation, essais de mise en service et exigences d'essai". Cette documentation doit être déposée auprès des onduleurs, du tableau électrique AC et dans la voie d'intervention principale des pompiers.

Les installations photovoltaïques installées sur les toits et les façades se distinguent par leur accessibilité, leur construction et leur encrassement. Lors de l'accès aux objets, les concepts de sécurité basés sur les prescriptions de la SUVA doivent être respectés et des mesures contre les chutes doivent être prises lorsque cela est prescrit. Le contrôle et l'entretien de ces dispositifs anti-chute sont effectués par des entreprises certifiées par le fabricant.

7.2 Exigences relatives à l'exploitation

Un concept d'entretien doit être établi pour les installations en façade. Les exigences minimales suivantes s'appliquent :

Tableau 10 : Exigences relatives au fonctionnement de l'installation (représentation propre)

	Bâtiment de faible hauteur	Bâtiment de hauteur moyenne	Immeubles de grande hauteur
Surveillance	Recommandé	Obligatoire	Obligatoire
Inspection au moins tous les	5 ans (recommandé)	3 ans	2 ans

Après des événements exceptionnels tels que des orages, de la grêle, des tempêtes ou des tremblements de terre, un contrôle peut s'avérer nécessaire. Le type et l'étendue du contrôle sont déterminés sur la base des données de surveillance et des recommandations de spécialistes.

L'entretien, comme le nettoyage, ainsi que la réparation de composants défectueux sont effectués selon les principes habituels de la branche.

7.3 Mise hors service et démantèlement

Si la installation photovoltaïque présente des défauts qui mettent en danger la sécurité et ne peuvent être éliminés de manière économique, il convient d'arrêter tout ou partie de l'installation et, le cas échéant, de la démonter. Les modules PV intégrés dans les façades qui remplissent une double fonction doivent être mis hors service et peuvent être laissés en place comme protection contre les intempéries, dans la mesure où ils ne présentent aucun danger.

En cas de défauts mécaniques sur les façades PV, les pièces endommagées doivent être remplacées ou enlevées.

8 Annexe

8.1 Glossaire

Les normes et directives suivantes servent notamment de base au présent document. Le contenu de ces directives n'est pas reproduit intégralement dans le document, mais seulement résumé là où cela semble judicieux.

Tableau 11: Documents (représentation propre)

Abréviation	Document	Brève description
AEAI-BSR 14-15	Directive de protection incendie Utilisation de matériaux de construction	Le chapitre 3 de la directive de protection incendie pose des exigences concernant la matérialisation de l'enveloppe du bâtiment.
AEAI-BSR 13-15	Directive de protection incendie Matériaux et parties de construction	Définit les exigences relatives à la classification au feu des matériaux de construction.
AEAI-BSR 11-15	Directive de protection incendie Assurance qualité en matière de protection incendie	Définit les exigences en matière d'assurance qualité dans le domaine de la protection incendie.
AEAI-BSR 22-15	Directive de protection incendie Systèmes de protection contre la foudre	Définit les exigences relatives aux systèmes de protection contre la foudre.
AEAI-BSR 27-15	Directive de protection incendie Méthode de justification en matière de protection incendie	Règle l'application des méthodes de vérification en protection incendie en tenant compte des objectifs de protection de la norme de protection incendie et d'une approche globale.
AEAI-BSM 2001-15	Fiche d'information sur la protection incendie des installations solaires	Base du document sur l'état de la technique de Swissolar. Sans exigences spécifiques pour la façade PV.
Installations solaires STP	Document de l'état de la technique sur la notice de protection incendie AEAI Installations solaires (Swissolar)	Etat de la technique Papier pour l'installation de installations photovoltaïques sans exigences spécifiques pour les façades photovoltaïques.
Lignum 7.1	7.1 Murs extérieurs - construction et revêtement (Lignum 2015)	Document de l'état de la technique pour les revêtements muraux extérieurs en bois. L'expérience en matière de mesures de protection contre l'incendie avec des éléments de façade combustibles est utilisée pour les installations photovoltaïques.
NIN	Norme sur les installations à basse tension (SN 411000:2020)	Règle les bases de la sécurité des installations électriques en Suisse.
MB VHF	Protection incendie des façades suspendues ventilées par l'arrière (Enveloppe des édifices Suisse FA 5/12)	Fiche technique de la commission technique d'Enveloppe des édifices Suisse sur la protection incendie dans les façades ventilées.
SIA 260	Norme : SIA 260 "Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses".	Norme pour la conception de structures porteuses
SIA 261	Norme : SIA 261 Actions sur les structures porteuses	Norme pour le calcul des actions sur les structures porteuses
SIA 261/1	Norme : SIA 261/1 Actions sur les structures porteuses - Spécifications complémentaires	Spécifications complémentaires à la norme SIA 261 "Actions sur les structures porteuses".
SIA 2057	Fiche technique : SIA 2057 Construction en verre	Fiche technique sur la conception des éléments de construction en verre.
	Livre spécialisé sur les installations photovoltaïques (Christof Bucher)	Bases théoriques sur la technologie photovoltaïque et sa mise en œuvre dans le bâtiment.

8.2 Explication du dessin

La légende suivante s'applique à tous les dessins :

- Modules PV
- Fenêtre
- Mesure de protection incendie
- Câblage
-  Structure porteuse
-  Isolation

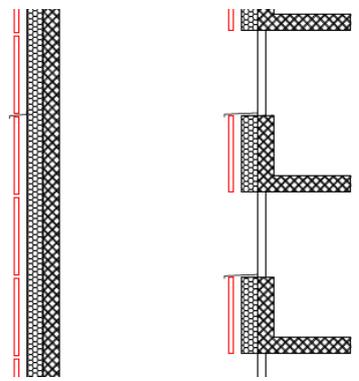
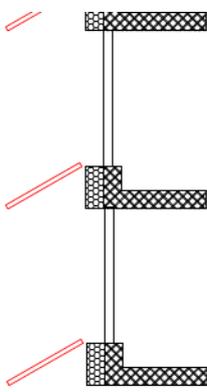
Figure 3: Légende des dessins (représentation propre)

8.3 Compléments aux exigences en matière de construction

8.3.1 Types de montage

Nous décrivons ici brièvement les deux principes de montage les plus fréquents, qui diffèrent considérablement en termes de protection contre l'incendie. Il peut également y avoir plusieurs principes de montage sur un même objet.

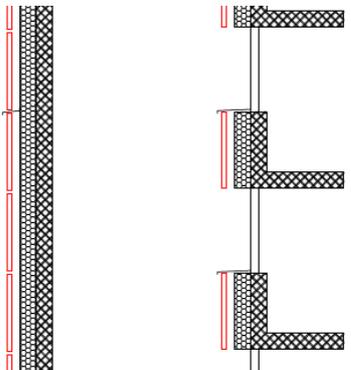
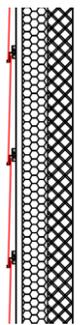
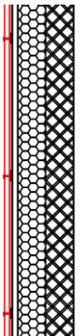
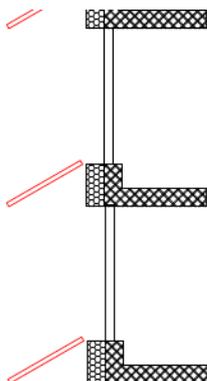
Tableau 12: Types de montage PV (représentation propre)

Désignation	Image de principe	Caractéristiques :
Montage affleuré		<ul style="list-style-type: none"> • Montage des modules photovoltaïques devant la couche d'isolation thermique • Montage des modules photovoltaïques avec une ventilation arrière • Types de montage fréquemment utilisés selon l'annexe ch. 8.3.2.
Montage en porte-à-faux		<ul style="list-style-type: none"> • Additif pour la construction de parois extérieures • Construction en porte-à-faux • ne fait pas partie de la construction de la paroi extérieure • Les modules photovoltaïques ne constituent pas un niveau de ventilation arrière

8.3.2 Montage systeme

Les systèmes de montage les plus fréquemment utilisés pour les façades photovoltaïques sont décrits ici dans les grandes lignes :

Tableau 13: Systèmes de montage (représentation propre)

Désignation	Image de principe	Caractéristiques :
Montage affleuré		<ul style="list-style-type: none"> • Sous-construction en aluminium • SSG (Structural Silicon Glazing) sous-construction collée avec équerre de reprise de charge sur le bord inférieur du module • Fixation de module suspendue • Fixation du module avec des supports vissés ou rivetés
Montage en écailles		<ul style="list-style-type: none"> • Montage de modules en écailles • Profil de montage vertical • Crochet de montage • Les modules sont insérés dans les crochets
Système d'insertion avec module encadré		<ul style="list-style-type: none"> • Système de montage en croix • Profilé horizontal pour la fixation du module dans le système d'insertion • Généralement utilisé avec des modules solaires encadrés • Construction en aluminium
Montage en porte-à-faux		<ul style="list-style-type: none"> • Le module doit être adapté au vitrage horizontal conformément à la norme SIA 2057. • Construction en porte-à-faux (p. ex. en acier) • Fixation du module en aluminium

8.3.3 Modules PV

Construction :

Le verre feuilleté se compose de deux vitres individuelles monolithiques et de la couche intermédiaire feuilletée avec les cellules solaires. Le composite peut être constitué d'une combinaison de différents types de verre, comme le verre flotté, le verre de sécurité trempé (ESG) ou le verre partiellement trempé (TVG). Les combinaisons de verre souvent utilisées pour les modules photovoltaïques sont les suivantes :

- Verre ESG/float pour les modules à couches minces, comme la technologie CIGS. Pour éviter les fissures de tension dans le verre float, les modules à couches minces doivent être maintenus mécaniquement sur toute leur surface à l'arrière.
- ESG/TVG est une combinaison de verre typique pour les modules photovoltaïques, qui atteint une résistance élevée à la flexion, aux chocs et aux impacts et garantit une capacité de charge résiduelle suffisante.
- Le TVG/TVG est une combinaison de verre typique pour le verre feuilleté de sécurité et peut être considéré comme une alternative au ESG/TVG. Le verre feuilleté permet d'obtenir la meilleure capacité de charge résiduelle.

Le risque de bris de verre spontané dû à des inclusions de sulfure de nickel dans le verre ESG peut être réduit au minimum grâce à un processus supplémentaire de stockage à chaud (HST).

Les matériaux appropriés pour la couche intermédiaire dans le verre feuilleté de sécurité sont entre autres (SIA 2057)

- Butyral de polyvinyle (PVB)
- Acétate d'éthylène vinyle (EVA)
- Ionomère

Type de verre :

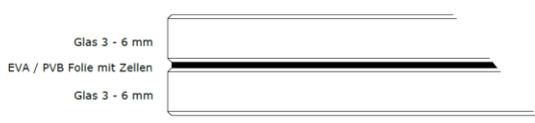
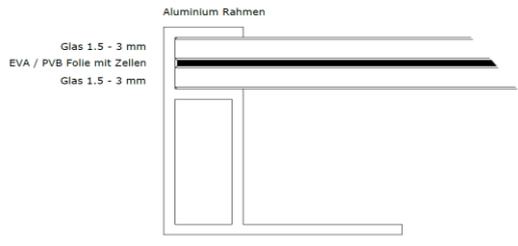
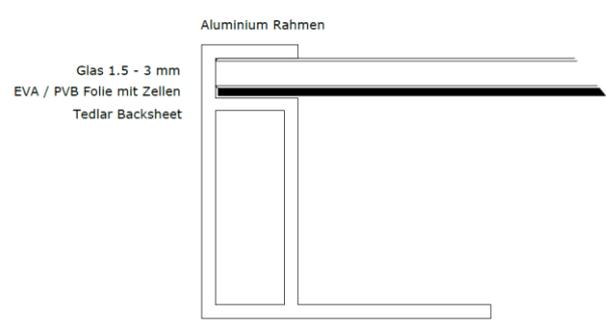
Pour la construction d'un module PV, on utilise généralement du verre blanc à faible teneur en fer. Ils se distinguent par les propriétés suivantes :

- Épaisseur du verre
- Degré de dureté
- Surface en verre (structurée, satinée, etc.)

En raison de son comportement à la rupture, le type de verre a une influence indirecte sur le comportement au feu et donc sur la classification du matériau de construction.

La structure des modules PV peut être divisée en 4 catégories.

Tableau 14: Structures des modules solaires (représentation propre)

<p>Verre-film sans cadre</p>  <p>Glas 3 - 6 mm EVA / PVB Folie mit Zellen Glas 3 - 6 mm</p> <p>Structure de module la plus utilisée pour les façades PV. Les cellules solaires sont encapsulées entre deux plaques de verre. Deux films EVA ou PVB d'une épaisseur d'environ 2 x 0,76 mm sont utilisés comme couche intermédiaire. Dans de rares cas, on utilise également du silicone comme couche intermédiaire. Les vitres sont en verre TVG ou en verre ESG.</p>	<p>Verre-film avec cadre</p>  <p>Aluminium Rahmen Glas 1.5 - 3 mm EVA / PVB Folie mit Zellen Glas 1.5 - 3 mm</p> <p>Pour réduire l'épaisseur du verre, l'assemblage bi-verre avec les cellules est entouré d'un cadre en aluminium. Le verre est généralement collé dans le cadre avec du silicone ou du ruban adhésif double face. Outre l'épaisseur réduite du verre, le stratifié ne se distingue pas de la structure sans cadre. Les vitres sont en verre TVG ou en verre ESG.</p>
<p>Dans une structure bi-verre, le film inflammable EVA ou PVB est recouvert d'un verre non inflammable. Seuls les bords de cette couche peuvent entrer en contact direct avec les flammes. Selon la durée de l'exposition au feu, un verre peut se briser, ce qui augmente la surface d'attaque du feu. En conséquence, cette structure entraîne une inflammation retardée du film. Selon l'état actuel des connaissances, les modules avec une structure bi-verre atteignent au mieux une classification des matériaux de construction selon la norme SN EN 13501-1 de B-S1-d0 (RF2). La preuve doit être demandée au fabricant.</p>	
<p>Verre-film sans cadre</p>  <p>Glas 3 - 5 mm EVA / PVB Folie mit Zellen Tedlar Backsheet</p> <p>Une alternative plus avantageuse consiste à remplacer la face arrière du verre par un film composite en aluminium et plastique (Tedlar). Comme cette structure présente des propriétés statiques nettement moins bonnes, elle est rarement utilisée dans les façades. Pour améliorer la statique, on utilise généralement un verre plus épais.</p>	<p>Film pour verre avec cadre</p>  <p>Aluminium Rahmen Glas 1.5 - 3 mm EVA / PVB Folie mit Zellen Tedlar Backsheet</p> <p>Structure de module la plus fréquemment utilisée pour les installations standard sur toiture. Cette combinaison n'est toutefois pas souvent utilisée pour les façades PV. La structure en verre et en film est entourée d'un cadre en aluminium.</p>
<p>Dans cette structure, une couche de plastique est directement orientée vers l'espace de ventilation arrière. Une flamme dans l'espace de ventilation arrière provoque une combustion des films.</p>	

Le dimensionnement de l'épaisseur du verre dépend de la dimension des modules photovoltaïques et du type de fixation. La structure du système est dimensionnée conformément à la norme SIA 260 "Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses". Il convient d'appliquer les valeurs dépendantes du site selon la norme SIA 261 "Actions sur les structures porteuses".

Dans la zone de la source d'incendie, il faut s'attendre à la chute du revêtement de façade après environ 10 minutes.

Couleur :

Les modules PV sont souvent teintés dans la façade pour un meilleur aspect visuel. Il existe différentes technologies pour ce faire.

Dans le cas de l'impression céramique, une encre céramique est appliquée sur le niveau 1 ou 2 du verre frontal au moyen d'une impression numérique, d'une sérigraphie ou d'un procédé d'impression au rouleau et est liée au verre de manière céramique pendant le processus de durcissement.

Il est également possible d'utiliser un film coloré ou imprimé. Il s'agit soit directement d'une couche intermédiaire colorée (comme décrit pour la structure du module), soit d'une couche de film supplémentaire.

Boîte de jonction :

La boîte de jonction a deux fonctions :

- Connexion des bandes de raccordement internes au module à un câble de raccordement DC avec fiche.
- Logement des diodes de dérivation pour protéger les modules en cas d'ombrage partiel

Les boîtes de jonction contribuent d'une part à l'incendie, car elles sont généralement en plastique, et d'autre part, elles constituent une source d'inflammation potentielle, par exemple en raison d'une diode de dérivation défectueuse, qui peut provoquer un arc électrique.

Actuellement, il existe deux types différents de boîtes de jonction

- Boîte de jonction répartie : ici, les diodes de bypass sont réparties dans de petites boîtes de jonction le long du module. Les câbles sont connectés à la première et à la dernière boîte de connexion.



Illustration 4: boîte de jonction répartie

- Boîte de connexion centrale : ici, toutes les diodes de bypass, y compris les câbles de connexion, sont centralisées dans une grande boîte de connexion.



Illustration 5: boîte de jonction centrale

8.4 Compléments Méthode de détection

8.4.1 Systématique

Dans le cas standard, les objectifs de protection économique sont fixés par la loi. Les exigences contenues dans les prescriptions de protection incendie visent à remplir ces objectifs de protection. Pour ce faire, des mesures conformes à l'état de la technique sont décrites en détail. La tâche de l'autorité de protection incendie est d'évaluer l'exhaustivité, la plausibilité et la traçabilité des concepts et des preuves de protection incendie dans le cadre des demandes de permis de construire. Il incombe aux propriétaires ou aux utilisateurs de veiller à ce que les objectifs de protection soient remplis et que la protection incendie structurelle et technique soit garantie en tout temps.

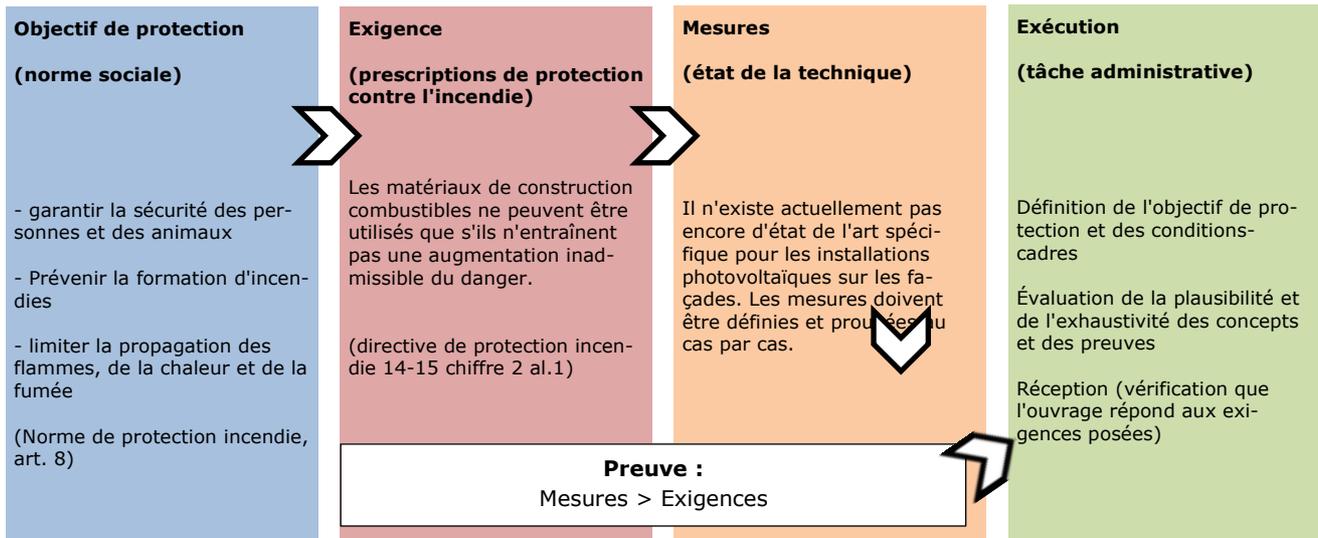


Figure 6: Système de protection incendie (représentation propre)

8.4.2 Assurance qualité

Selon la catégorie de bâtiment et de système, des exigences sont posées au niveau de l'assurance qualité en matière de protection incendie. Le projet doit être suivi par un responsable de l'assurance qualité pendant toutes les phases, de la planification à la remise au propriétaire. La mise en place d'une installation photovoltaïque en façade a des conséquences importantes sur la façade et, selon les cas, sur l'ensemble du concept de protection incendie du bâtiment. Il est donc exclu de limiter l'assurance qualité à la façade photovoltaïque.

L'organisation du projet doit être mise en place conformément aux directives AEAI "11-15 Assurance qualité en protection incendie", chiffre 5.3.2. Cela permet notamment de garantir une planification professionnelle, la coordination des différents intervenants et la documentation pour le propriétaire.

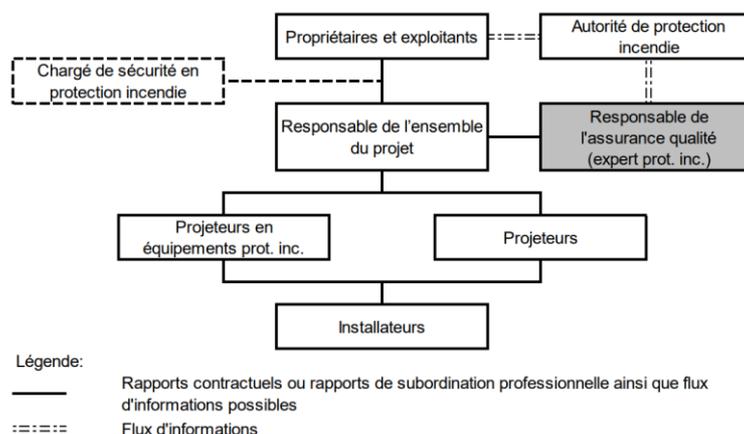


Figure 7: Organisation de projet DAQ 3 (schéma de l'AEAI-RSC "11-15 Assurance qualité en protection incendie" ch. 5.3.2)

8.4.3 Rapport de vérification

Le rapport de justification doit fournir des informations complètes, plausibles et compréhensibles sur les points mentionnés ci-dessous. Si l'état d'avancement du projet ne permet pas de se prononcer concrètement sur certains points, ceux-ci doivent être énumérés et les exigences minimales définies (p. ex. positionnement de l'onduleur, matérialisation des modules).

Données de l'objet

- Désignation de l'objet, rue et numéro, code postal et ville
- Client, maître d'ouvrage, auteur

Déclaration d'engagement

Par la déclaration d'engagement, les signataires s'engagent à respecter et à mettre en œuvre les résultats, les exigences et les restrictions figurant dans le rapport justificatif lors de la planification et de l'exécution, de l'exploitation, de l'entretien et du démontage. La déclaration d'engagement doit être signée au moins par les parties suivantes :

- Propriétaire (exploitant de l'installation)
- Direction générale du projet
- Personne responsable de l'assurance qualité en matière de protection incendie
- Planificateur spécialisé en PV

Principes de base

Les bases utilisées doivent être mentionnées avec leur titre, leur auteur et leur version/date. Les bases possibles pour la procédure de vérification sont

- Concept de protection incendie, y compris les plans de protection incendie
- Concept d'utilisation
- Plan de situation
- Plan de la façade
- Concept de protection incendie de la façade (y compris les mesures de protection constructives telles que les séparations horizontales ou autres)
- Schéma de principe d'une installation photovoltaïque
- Plans détaillés de la structure de la façade et de l'installation photovoltaïque
- Layout des modules photovoltaïques avec tolérance d'ombrage des modules photovoltaïques (diodes bypass, etc.)
- Plan de chaîne
- Plan de disposition des onduleurs, des boîtes de jonction, des autres composants actifs et des dispositifs de déconnexion
- Documents conceptuels pour la protection intérieure et extérieure contre la foudre

Cette liste n'est pas exhaustive.

8.5 Compléments à l'entretien

8.5.1 Surveillance

L'installation photovoltaïque doit être surveillée en permanence par un système de surveillance. La tension, le courant, la puissance et le rendement énergétique doivent être enregistrés et documentés en permanence. D'autres paramètres, comme la température, sont facultatifs.

8.5.2 Inspection

En raison de la complexité de l'installation dans la façade, la installation photovoltaïque doit être inspectée par un personnel spécialisé.

Contrôle optique : lors de la visite de contrôle, l'ensemble de l'installation est observé et les irrégularités et les salissures sont vérifiées. Pour les bâtiments élevés, le contrôle optique peut nécessiter l'utilisation de moyens auxiliaires tels que des drones équipés de caméras.

Contrôle mécanique : il convient de vérifier manuellement, par échantillonnage, la solidité de la sous-construction et le montage des modules PV. Il en va de même pour d'autres éléments tels que les chemins de câbles (en particulier les couvercles), les raccordements des conducteurs de protection contre la foudre et des conducteurs d'équipotentialité. L'accès limité aux éléments peut être pris en compte à cet égard.

Contrôle des appareils électriques : lors de ce contrôle, les onduleurs et l'installation AC correspondante doivent être contrôlés, en faisant attention à l'échauffement : si des éléments sont anormalement chauds/chauds, des décolorations sont visibles. Les appareils sont contrôlés pour voir s'ils présentent des traces de corrosion.

Mesures électriques : Les tensions et les courants des chaînes doivent être mesurés. La résistance de l'isolation doit être mesurée à l'aide d'instruments appropriés. L'état de l'installation, notamment les irrégularités, est consigné par écrit dans un procès-verbal, documenté par des photos et comparé avec les mesures précédentes.

L'ordonnance sur les installations électriques à basse tension (OIBT) détermine, en fonction de la catégorie de bâtiment, la fréquence à laquelle l'installation électrique doit être contrôlée par un organe de contrôle indépendant ou un organisme d'inspection accrédité.

Si des défauts sont constatés, ils doivent être corrigés rapidement. En cas de danger potentiel, l'installation doit être mise hors service et les éventuelles mesures supplémentaires nécessaires doivent être prises.

8.5.3 Contrôle après les événements

Les prises de vue thermographiques et les mesures des courbes caractéristiques peuvent aider à trouver l'erreur après un événement. Le générateur PV est photographié avec des caméras IR lorsque le rayonnement solaire est suffisant (au moins 500W/m²) et les images sont ensuite analysées.

8.5.4 Remplacement des parasurtensions

Les parasurtenseurs peuvent être détruits lors de la dissipation de grandes énergies. Ils ont alors rempli leur fonction et l'installation n'est plus protégée contre les surtensions. C'est pourquoi ils doivent être remplacés rapidement afin de rétablir la fonction de protection.

8.5.5 Nettoyage des modules PV

Les modules PV encrassés doivent être nettoyés exclusivement à l'eau.

Un concept d'entretien (matériel nécessaire et accessibilité) facilite le nettoyage et l'utilisation de machines de nettoyage. En cas d'utilisation de machines de nettoyage, celles-ci doivent être adaptées au nettoyage des modules PV. Les modules PV, leurs vitres et leurs revêtements ne doivent pas être rayés ou endommagés d'une autre manière. Les machines de nettoyage doivent être expressément adaptées au nettoyage des modules PV.

8.5.6 Remplacement de l'onduleur

La durée de vie des onduleurs (WR) est d'environ 10 à 15 ans. Elle est donc plus courte que celle des modules PV. Pendant la durée d'exploitation de l'installation photovoltaïque, il faut s'attendre à ce que les onduleurs soient remplacés. Dans la mesure du possible, les onduleurs défectueux doivent être remplacés par un appareil identique du même fabricant. Avant de monter le nouvel appareil, il faut vérifier que le générateur PV ne présente pas de dommages éventuels. Lors de la mise en service du nouvel appareil, les mêmes paramètres que l'ancien doivent être réglés. Le nouvel appareil doit être intégré dans le système de surveillance. Si aucun appareil identique n'est disponible, il convient de choisir un appareil adapté, en vérifiant la conception des chaînes et le raccordement AC et en les adaptant si nécessaire.

Les appareils défectueux doivent être réparés ou éliminés dans les règles de l'art. Le remplacement de l'onduleur doit être documenté dans les dossiers, en particulier le nouveau numéro de série doit être consigné.

8.5.7 Réparations générateur PV

Les modules peuvent être soumis à une charge réduite en cas d'endommagement du verre et doivent être sécurisés ou remplacés dans les 48 heures. Les modules PV défectueux doivent être remplacés par des modules PV identiques et éliminés dans les règles de l'art. De plus amples informations sur le remplacement des modules sont disponibles dans la fiche technique Swissolar n° 16 "Plage de compatibilité des modules PV avec des courants, électricités différentes dans le MPP". Pour les installations photovoltaïques de plus de 100kWp, il est recommandé de conserver environ 5% de modules PV en réserve. Si aucun module PV de même type n'est disponible, il est possible d'installer un module PV un peu plus puissant. Il faut alors veiller à ce que les connecteurs du câble de branche soient identiques. Le module doit être solidement fixé à la sous-construction.

Si un module PV est mis hors service, c'est-à-dire que le string contient moins de modules, tous les strings doivent être raccourcis en conséquence sur le même tracker MPP de l'onduleur.