



ASSOCIATION
DES PRODUCTEURS D'ÉNERGIE INDÉPENDANTS
UN GROUPEMENT PROFESSIONNEL DE LA SSES

Manuel pour l'autoconstruction d'installations photovoltaïques

Une documentation pour l'autoconstruction coopérative



Diego Fischer, Marlis Toneatti, Syril Eberhart, Simon Pannatier

Avec le soutien de



Manuel pour l'autoconstruction d'installations photovoltaïques

Une documentation pour l'autoconstruction coopérative

Diego Fischer, Marlis Toneatti, Syril Eberhart, Simon Pannatier

VESE – Association des producteurs d'énergie indépendants
Berne

Toutes les données ont fait l'objet de recherches approfondies. Les auteurs ne peuvent toutefois pas donner de garantie ni endosser une quelconque responsabilité par rapport au contenu de ce manuel.

Ce manuel a été réalisé avec l'appui d'EnergieSuisse. Les auteurs sont seuls responsables du contenu.

Traduction française et adaptation: Claude Fleischner

Les auteurs remercient chaleureusement Swissolar pour la relecture critique, ainsi que Beat Kohler pour la mise à disposition de matériel iconographique et Johanna Lott Fischer, Hans Eisenhut et Walter Sachs pour la relecture de la version originale.

Le manuel ainsi que les annexes sont gratuitement à disposition sous forme de fichier pdf à l'adresse www.vese.ch/manuel_autoconstruction

Afin de faciliter la lecture nous utilisons exclusivement la forme masculine qui représente aussi bien les personnes de sexe féminin que celles de sexe masculin.

Copyright: VESE 2018

VESE - L'Association des producteurs d'énergie indépendants

Aarberggasse 21, 3003 Berne

www.vese.ch - info@vese.ch



Préface

Depuis 2015, la Coopérative pour la transition énergétique (Energiewendegenossenschaft, EWG) de Spiez (BE), a construit environ 230 installations photovoltaïques en autoconstruction (situation à fin 2018). Voici comment cela fonctionne.

Un propriétaire, le maître de l'ouvrage, s'adresse à la coopérative, acquiert une part sociale et devient ainsi membre. Un spécialiste de la coopérative planifie l'installation photovoltaïque avec le propriétaire, puis la coopérative procure le matériel et d'autres coopérateurs travaillent ensuite, avec le maître de l'ouvrage, au montage de l'installation en suivant les instructions du spécialiste. Les entreprises locales sont sollicitées pour des tâches précises et importantes telles que le montage de l'échafaudage et les raccordements électriques. Grâce à l'autoconstruction, le coopérateur bénéficie pour son installation d'un prix nettement plus avantageux par rapport aux solutions clé en mains réalisées par les entreprises spécialisées. En contrepartie, il doit fournir 3 à 10 journées de travail non rémunéré, sur son propre toit, puis sur celui d'un autre coopérateur. Ce travail lui permet d'acquérir de précieuses connaissances sur le photovoltaïque qui lui seront utiles à l'avenir pour l'exploitation et l'entretien de son installation. Il met ainsi la main à la pâte pour assumer sa part de la transition énergétique en compagnie de personnes issues de professions et milieux sociaux les plus divers.

Il y a en Suisse 980'000¹ maisons familiales, ce qui représente un potentiel énorme pour l'autoconstruction d'installations PV. Il ne s'agit pas de concurrence aux installateurs professionnels, mais d'un complément.

L'autoconstruction permet à des ménages privés qui s'intéressent à la technique PV de s'impliquer; disposant peut-être plutôt de temps libre que de moyens financiers, ils peuvent ainsi acquérir une installation PV de qualité et participer en même temps à un projet communautaire motivant. L'autoconstruction est une activité en vogue. Il y a quelques années encore, il n'était question que de spécialisation et de professionnalisation alors qu'aujourd'hui nous voyons de nouveaux modèles économiques, professionnels et sociétaux, moins rigides, la flexibilité étant de mise. Les ressources inexploitées (telles que le temps disponible pour l'autoconstruction par exemple) sont mises à contribution et elles permettent, même à court terme, la mise en œuvre de groupes de création de valeur. Le fait d'œuvrer dans un domaine ne correspondant pas à son activité professionnelle habituelle n'est plus considéré comme de l'amateurisme, mais plutôt comme le développement de son horizon et l'acquisition de nouvelles compétences.

¹ Office fédéral de la statistique, *Statistique des bâtiments et des logements*, donnée de 2015.

Le travail au sein d'une organisation² communautaire à but non lucratif est considéré comme un enrichissement par rapport à l'activité lucrative dominante. Le partage de voitures, de logements, les organisations d'échange de temps, le jardinage urbain communautaire, etc. sont des exemples de ces nouveaux développements au sein de notre société.

Le but primordial de l'autoconstruction reste la transition énergétique. Le photovoltaïque y joue un rôle essentiel; il bénéficie d'un taux d'acceptation élevé, est facile à installer sur pratiquement n'importe quel toit, même s'il s'agit d'une surface très modeste. Le propriétaire d'une installation PV devient producteur d'énergie, c'est motivant et il n'est pas le jouet de la politique et des marchands d'énergie, mais un acteur de plein droit. L'autoconstruction permet à un nombre accru de personnes d'acquérir leur propre installation photovoltaïque. La collaboration avec les autres autoconstructeurs accroît aussi la confiance envers le processus de transition énergétique.

Nous traitons ici des différents thèmes importants pour l'autoconstruction d'installations photovoltaïques en coopération communautaire. Dans la première partie, il s'agit de préciser les aspects structurels et juridiques des différentes formes d'organisations, des questions relatives aux assurances, à la sécurité, à la qualité, aux impôts et à la formation. Une deuxième partie traite des principaux aspects techniques.

Le manuel est un fil conducteur donnant des références et des ressources pour la constitution et l'exploitation d'une organisation d'autoconstruction. Les auteurs se réfèrent essentiellement au modèle EWG qui fut la première coopérative d'autoconstruction en Suisse et dont les membres ont collaboré à la rédaction³. D'autres formes d'organisations et de procédés sont néanmoins possibles. Le principe de l'autoconstruction d'installations PV est encore beaucoup trop récent pour que l'on puisse parler ici d'un modèle idéal.



Fig. 1. Montage d'une installation en autoconstruction par la Coopérative EWG à Stettlen (BE), en mars 2017.

² Au chapitre 2 de ce manuel, nous verrons qu'il peut y avoir différents types d'organisations pour l'autoconstruction (association, coopérative, société commerciale,...). Hormis les passages où précisément ces différentes structures sont décrites, nous utilisons le terme générique d'organisation.

³ Pionniers en Suisse, les coopérateurs d'EWG à Spiez font des émules. D'autres organisations se sont constituées; nous en donnons la liste (non exhaustive) au chapitre 4.4.

Quatre points essentiels à respecter pour réussir l'auto-construction d'une installation photovoltaïque.



Eviter les chutes

Pour travailler sur un toit il est indispensable de respecter les normes de protection contre les chutes. Il faut donc impérativement faire appel à une entreprise spécialisée pour installer un échafaudage respectant les normes fixées par la Caisse nationale d'assurance (SUVA).



Le risque d'électrocution

Le soleil fournit beaucoup d'énergie sous forme d'électricité. En interconnectant deux modules standards on atteint déjà un niveau de tension potentiellement dangereux pour l'humain. Des personnes sans formation peuvent néanmoins exécuter sans danger certains travaux tandis que d'autres travaux, en fin de chantier, doivent impérativement être exécutés par un électricien au bénéfice d'une concession.



Le respect des prescriptions

En autoconstruction les choses ne se déroulent pas comme sur un chantier conventionnel. Toutes les prescriptions légales doivent cependant être respectées. Ces dernières servent surtout à éviter les accidents et les dégâts. En cas de doute, il ne faut pas hésiter à se renseigner auprès de personnes compétentes.



La qualité

Pour qu'elle fournisse durant des décennies du courant d'origine solaire, une installation PV doit être d'une qualité irréprochable. La tâche n'est pas pour autant insurmontable; des directives correctes et une exécution consciencieuse permettent aux non professionnels d'atteindre leur objectif. Ils contribueront ainsi à donner une image positive de l'énergie solaire.

Table des matières

Avant-propos.....	5
1. L'autoconstruction coopérative.....	11
1.1 L'organisation et la recherche du modèle adéquat.....	11
1.2 Quel est le potentiel d'autoconstruction?.....	12
1.3 Les critiques envers l'autoconstruction.....	15
1.4 La portée politique	15
2. L'organisation d'autoconstruction.....	17
2.1 Le modèle de la coopérative pour la transition énergétique.....	17
2.2 La création d'une organisation d'autoconstruction	19
2.2.1 Les conditions cadre	19
2.2.2 Check-list pour la constitution d'une organisation d'autoconstruction ...	20
2.3 Les différents types d'organisations	22
2.4 Les prestations offertes par l'organisation d'autoconstruction	23
2.4.1 L'achat de matériel et l'acquisition des prestations de service	25
2.4.2 L'autoconstruction d'une installation / L'organisation du travail.....	25
2.4.3 Les autres options offertes par l'autoconstruction	29
2.5 Les types d'organisations.....	30
2.5.1. Le modèle de base	30
2.5.2 Autres modèles d'organisation	32
2.6 La problématique de l'échange d'heures de travail.....	33
2.6.1 Les assurances sociales (AVS/AI, AC)	34
2.6.2 L'impôt sur le revenu	35
2.6.3 La taxe à la valeur ajoutée (TVA).....	35
2.6.4 L'assurance-accidents (AAP – AANP)	37
2.6.5 Autres obligations de l'employeur	39
2.6.6 Tableau récapitulatif	41
2.7 Les obligations de l'organisation d'autoconstruction	42
2.8 Le rôle, les droits et les devoirs du maître de l'ouvrage	44
2.9 Les planificateurs ou chefs de chantier.....	47
2.9.1 Définition	47
2.9.2 La gestion et la formation des planificateurs ou chefs de chantiers	47
2.9.3 Pour devenir planificateur	47
2.9.4 Le statut et les devoirs du planificateur indépendant	48
2.9.5 La formation de planificateur solaire de la Coopérative pour la transition énergétique.....	49
2.9.6 Contenu du cours théorique.....	50
2.9.7 Le mentorat des autoconstructeurs par le planificateur	50
3. Partie pratique	53

3.1	Les notions fondamentales concernant le chantier.....	53
3.1.1	Sécurisation du chantier, permis de construire et assurances	53
3.1.2	Les assurances.....	54
3.1.3	La responsabilité du maître de l'ouvrage.....	54
3.1.4	La sécurité nous concerne toutes et tous	55
3.1.5	Les comportements et équipements adéquats	55
3.1.6	La responsabilité du propriétaire en cas de dommage	55
3.1.7	Le chantier est un cas particulier	56
3.1.8	Echafaudage ou sécurisation individuelle.....	56
3.1.9	Mesures de sécurité pour le montage (dispositifs temporaires)	57
3.1.10	Les numéros d'appels d'urgence (téléphone)	60
3.1.11	Sécurité de l'ouvrage, dégâts directs et indirects à prévenir	60
3.2	Les phases successives, l'évolution du projet	62
3.3	La fixation à la toiture	66
3.3.1	Les types de toits.....	66
3.3.2	Les toits en pente: définitions selon la norme SIA 238.....	69
3.4	Variantes dans le montage des installations PV	70
3.4.1	Le montage de modules ajoutés sur toiture en pente.....	71
3.4.2	Le montage de modules intégrés sur toiture en pente.....	71
3.4.3	Le montage sur toit plat.....	72
3.4.4	Les bases du montage et les éléments nécessaires.....	73
3.4.5	L'attestation de conformité statique.....	77
3.4.6	Les toits comportant des revêtements en amiante.....	78
3.5	A-t-on besoin d'un permis de construire?	79
3.5.1	Conditions pour une installation sans permis de construire	79
3.5.2	Types d'installations soumises au permis de construire	79
3.5.3	Types d'installations non soumises au permis de construire	79
3.6	Notions de base en ferblanterie	80
3.6.1	Les fenêtres de toit (insertion dans une toiture existante)	84
3.6.2	Les supports de l'installation PV doivent être adaptés à la ferblanterie..	84
3.7	La protection contre la foudre.....	85
3.7.1	L'obligation de pose d'une protection contre la foudre	85
3.7.2	Les cinq variantes	86
3.8	Le dimensionnement électrique	89
3.8.1	Quelle est la production annuelle d'une installation PV?	89
3.8.2	Quelle sera la taille de l'installation?	89
3.8.3	L'installation électrique.....	90
3.8.4	Les onduleurs	92
3.8.5	L'ombre projetée	95

3.8.6	Mise à terre, limiteur de surtension, boîtier du courant continu, FI (disjoncteur à courant de défaut), gaines techniques	96
3.8.7	La gestion pour l'optimisation de l'autoconsommation	98
3.9	La sécurité par rapport à l'électricité	100
3.10	Le déroulement de la construction d'une installation simple, ajoutée en toiture	101
3.11	La sécurité de l'installation, les dangers	108
3.12	La mise en service et la réception de l'installation PV	113
4.	Annexes	115
4.1	Les documents de la Coopérative EWG Berne	115
4.2	Investissements de démarrage d'une coopérative d'autoconstruction	115
4.3	Check-list pour les échafaudages	117
4.4	Adresses et liens	119
4.5	Fournisseurs de matériel photovoltaïque en Suisse	120
4.6	Références	121



L'autoconstruction coopérative

1.1 L'organisation et la recherche du modèle adéquat

L'autoconstruction n'est pas un concept nouveau dans le domaine des énergies renouvelables. Dans les années 1980 déjà, des pionniers Autrichiens, puis dès 1990 des organisations Suisses ont développé avec succès des modèles pour la construction d'installations solaires thermiques. La particularité du concept présenté dans ce manuel consiste en une adaptation des principes de l'autoconstruction au photovoltaïque. Deux facteurs permettent ce nouveau développement: d'une part, les composants des installations photovoltaïques sont aujourd'hui standardisés au niveau mondial et la technologie, très simple, se prête même mieux à l'autoconstruction que pour le solaire thermique; d'autre part, depuis 2010 les prix ont chuté d'un facteur 5 au moins, ce qui a pour conséquence que le photovoltaïque est devenu économiquement compétitif en Suisse. La forte baisse du prix des modules a également eu pour effet que la part de l'investissement revenant au montage est proportionnellement plus importante, ce qui rend l'autoconstruction d'autant plus intéressante.

Comment peut-on soutenir et promouvoir l'autoconstruction d'installations PV? Théoriquement, chaque propriétaire d'un immeuble peut construire lui-même son installation PV. Mais il doit acquérir de nombreuses compétences pour en fin de compte ne construire qu'une installation. Vu que tout dépend de son propre niveau de formation, il prend le risque d'une imperfection ou d'une erreur de construction. Il ne s'agit donc pas d'une solution optimale.

Le but consiste à trouver un système grâce auquel le propriétaire peut fournir un maximum de prestations et dans lequel l'investissement et l'effort de chacun demeure évaluable. Toutes les prestations que l'autoconstructeur ne fournit pas lui-même sont fournies par une organisation d'autoconstruction qui veille à ce que l'installation soit irréprochable et que toutes les opérations où l'autoconstructeur n'est pas compétent soient parfaitement exécutés.

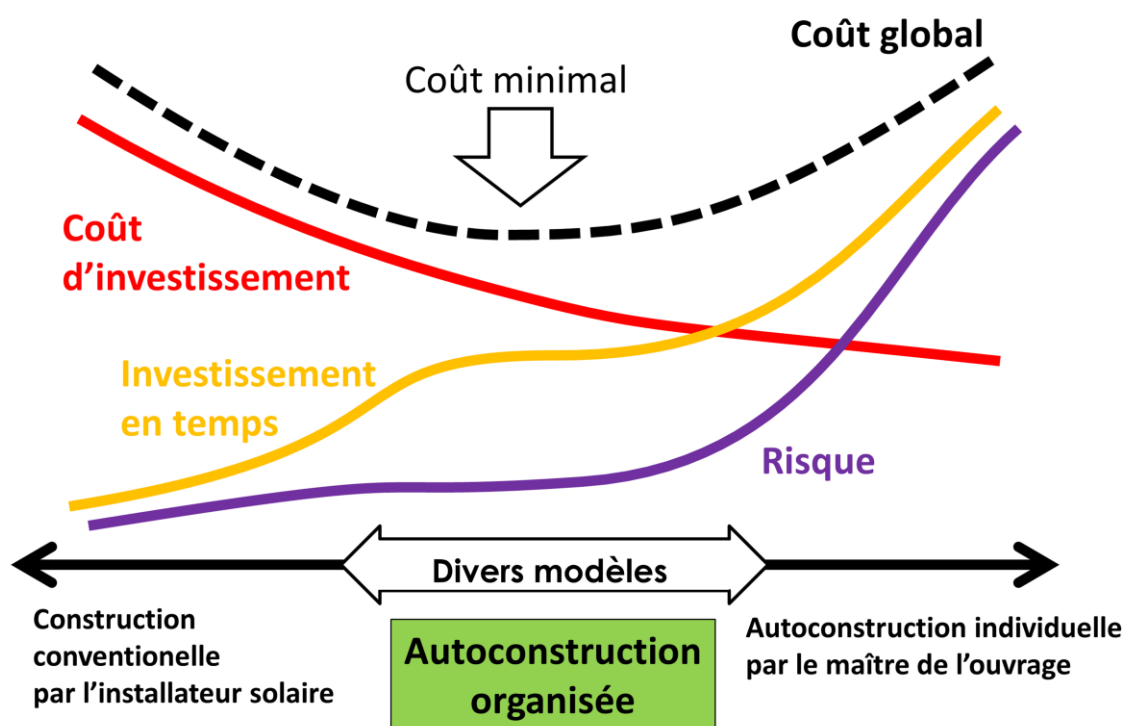


Fig. 2. L'objectif de l'autoconstruction consiste à rechercher un système optimal impliquant un minimum de frais pour le maître d'ouvrage.

Il en résulte une solution optimale présentant un résultat impeccable avec un engagement minimal en moyens financiers et autres. Tel est l'objectif essentiel de l'autoconstruction communautaire illustré par la figure 2.

Différentes approches sont possibles pour atteindre cette solution optimale. Nous avons déjà cité la Coopérative EWG; elle servira de fil conducteur pour ce manuel, mais nous évoquerons aussi d'autres types d'organisations.

1.2 Quel est le potentiel d'autoconstruction?

L'exemple d'EWG montre que le potentiel d'autoconstruction est important, même très important selon les circonstances.

Rappelons que dans les années 1990 l'autoconstruction d'installations solaires thermiques représentait par moments 15 % du marché suisse de modules thermiques⁴. Par la suite, cette proportion s'est réduite, pour des raisons en partie peu claires. D'une part, les prix sur le marché avaient baissé, de sorte que l'autoconstruction devenait moins attrayante et d'autre part le public cible était forcément limité. Du point de vue de la rentabilité économique, le thermique solaire était à l'époque globalement beaucoup moins intéressant que le photovoltaïque d'aujourd'hui. On était donc surtout motivé par un idéal. Par ailleurs, le recul peut aussi avoir été causé par des modifications d'ordre politique et social. On se souvient par exemple qu'en Suisse, entre 1995 et 2005, les forces progressistes en matière de politique énergétique étaient sous forte pression et que d'une manière générale l'intérêt porté à la cause environnementale n'était pas très grand.

La situation est aujourd'hui tout autre, tant du point de vue économique que politique ou social. Pour ce qui est de l'économie, le photovoltaïque a connu un déve-

⁴ Recensement du marché de l'énergie solaire, OFEN, 1996-2016

loppement fulgurant au cours de la décennie écoulée en raison de la loi allemande sur les conditions d'injection de courant. Les prix des modules ont été divisés par dix alors qu'en même temps leur rendement a augmenté. Le photovoltaïque a dépassé le solaire thermique grâce à des solutions plus simples et à l'injection de courant qui élimine les problèmes de surproduction. En Suisse, la réalisation d'une installation photovoltaïque permet aujourd'hui de produire du courant coûtant 10 à 15 centimes par kWh; ce prix est donc économiquement comparable au courant provenant du réseau⁵.

Du point de vue politique et social, la Suisse a introduit la Rétribution à prix coûtant (RPC) quelques années après l'Allemagne. En peu de temps, on a vu émerger en Suisse un véritable secteur du photovoltaïque dont le chiffre d'affaires annuel est aujourd'hui de 500 millions de francs environ. La catastrophe de Fukushima (2011) a eu pour conséquence le véritable démarrage de la transition en faveur des énergies renouvelables, et le photovoltaïque s'est vu attribuer un rôle essentiel dans la stratégie énergétique 2050. Le photovoltaïque présente un très grand potentiel, clairement défini, facile à planifier et à réaliser parce que les installations peuvent dans une très large mesure être réalisées sans procédures d'autorisation ni autres complications administratives.

Le photovoltaïque jouit aussi d'un taux d'acceptation élevé dans la société, contrairement à l'énergie éolienne et aux centrales hydroélectriques. De plus, les heureux propriétaires d'une installation PV qui se sont annoncés à temps pour la RPC ont réalisé une bonne affaire. Par ailleurs, des exploits comme ceux d'André Borschberg et Bertrand Piccard (*Solar Impulse 2*), de Raphaël Domjan (*Planet Solar*, etc.) ou le succès de l'entreprise *Tesla* ouvrent la voie aux technologies solaires d'avant-garde. D'autres évolutions de la société jouent probablement un rôle important dans le succès de l'autoconstruction; aujourd'hui de nouveaux modèles économiques sont considérés positivement, ce qui n'était pas forcément le cas il y a vingt ans. *Mobility*, *Uber* et *Airbnb* sont quelques exemples. (Pas forcément positifs à tous égards!)

D'autres tendances favorisent aussi l'autoconstruction. L'ancien modèle de société consistant à travailler à plein temps puis à dépenser tout son salaire en n'étant que consommateur est maintenant remplacé par une plus grande flexibilité entre un travail de salarié à temps partiel, le statut d'indépendant, le bénévolat et les loisirs. Alors que le photovoltaïque prêtait souvent à sourire il y a deux décennies, cette technologie est aujourd'hui prise au sérieux.

Il est difficile d'estimer le nombre d'installations solaires qui seront construites grâce aux communautés d'autoconstruction. Le potentiel pour la Suisse est très grand; de 100 GW_c environ selon une étude de Swissolar⁶, ce qui représente environ 150 % de toute la consommation d'électricité en Suisse. Les maisons familiales individuelles qui constituent la cible principale pour l'autoconstruction représentent 980'000 objets,

⁵ Cette compétitivité économique existe aussi pour les équipements PV conventionnels, installés sans autoconstruction. Le fait que malgré cette rentabilité économique on ne construise pas plus d'installations PV est dû à d'importantes réticences dans l'investissement d'un certain capital en raison des grandes incertitudes quant aux futurs tarifs pour l'achat de courant et surtout pour le paiement du courant injecté. Ces tarifs sont aujourd'hui largement inconnus, ce qui génère de l'attentisme chez les investisseurs et décideurs potentiels. L'insécurité concernant la RPC fut également un facteur handicapant durant une longue période.

⁶ "Potentiel solaire suisse, thermique et photovoltaïque sur les toits et façades", Swissolar, janvier 2017.

qui, avec un potentiel de 10 kW_c par installation donneraient 16,5 GW_c par an, soit environ 25 % de la consommation d'électricité en Suisse.

1,6 % de ce potentiel technique a déjà été réalisé, dont la moitié en tant qu'installations avec RPC. L'accroissement annuel est de 0,3 %. Cela représente environ 300 MW ou 9'000 installations par an⁷. Le développement annuel du volume du marché dépend de l'évolution des conditions cadre qui, quant à elles, déterminent la faisabilité d'une installation du point de vue technique. Cette faisabilité concerne aussi bien les questions d'ordre architectural ou les normes de protection des bâtiments classés, la rentabilité que l'intérêt et les capacités d'investissement du maître d'ouvrage. Swissolar a représenté le potentiel du marché de la manière suivante (fig. 3): une part seulement de cet énorme potentiel technique, théorique, concerne les projets réalisables en termes de développement. Il s'agit des projets qui, au-delà des critères techniques, tiennent compte des critères économiques, sociaux et qui respectent les lois sur la protection des monuments et sites. Dans la définition donnée par Swissolar, les critères sociaux relèvent essentiellement des possibilités financières des maîtres d'ouvrage.

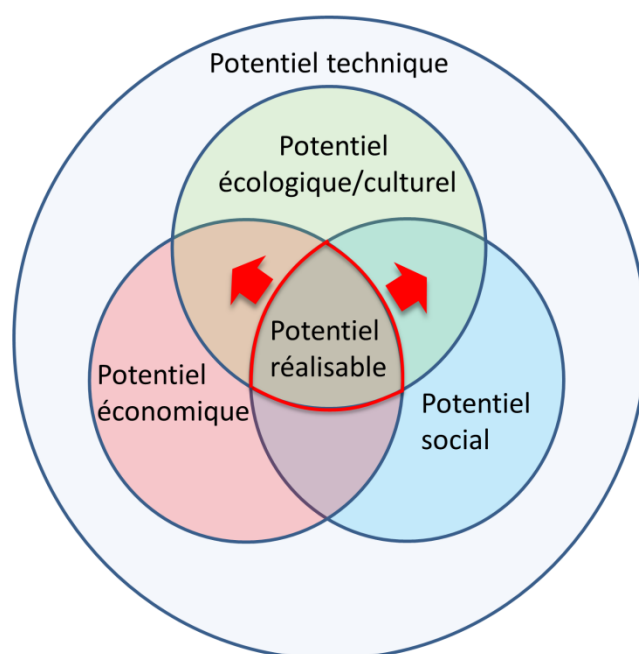


Fig. 3. Le potentiel d'installations photovoltaïques ("durables") réalisables et l'accroissement de ce potentiel grâce à l'autoconstruction (source: Swissolar, adapté par VESE)

Il apparaît en figure 3 que le marché ne peut couvrir qu'une petite part du potentiel technique. C'est précisément dans ce contexte que le potentiel d'autoconstruction doit être développé en déplaçant les limites entre le potentiel économique et le potentiel social (réduction du coût et encouragement des maîtres d'ouvrage). De nouvelles installations, dont la réalisation serait trop coûteuse en recourant à des installateurs conventionnels, viennent ainsi augmenter la production photovoltaïque globale.

⁷ "Recensement du marché de l'énergie solaire, 2016" OFEN, juin 2017

1.3 Les critiques envers l'autoconstruction

Certaines voix critiques s'élèvent toutefois contre l'autoconstruction. Ce fut déjà le cas dans les années 1990 au sujet du solaire thermique. Qu'en est-il de ces critiques?

En premier lieu, on prétend que les installations réalisées en autoconstruction seraient de mauvaise qualité parce que le travail n'est pas exécuté par des professionnels. L'autoconstruction s'appuie cependant sur des planificateurs et des chefs de chantiers formés et expérimentés qui assurent un suivi de la planification à la mise en service. Seul le montage est réalisé en autoconstruction, selon les instructions données. Comme le montre l'expérience de la communauté EWG, le principe de la répartition des tâches a fait ses preuves.

Deuxièmement on reproche aux organisations d'autoconstruction de mener une guerre des prix contre les installateurs établis et finalement de nuire ainsi à la transition énergétique. Les organisations d'autoconstruction sont certes acteurs sur le marché, mais elles s'adressent à un segment spécifique de ce dernier. Pour assurer le montage autonome de son installation, le maître de l'ouvrage doit manifester un intérêt pour l'opération, être à même de fournir un travail manuel sur le toit et être de plus disposé à consacrer quelques jours au montage de son installation puis de celle d'autres coopérateurs; en règle générale, il faut compter 3 à 5 journées de travail pour équiper une maison familiale. Tout un chacun ne peut pas faire preuve de ces disponibilités et le marché des spécialistes en installations photovoltaïques reste préservé.

Finalement on peut encore se poser la question de la situation juridique quant au temps de travail non rétribué échangé entre les coopérateurs. Ce genre d'activité se déroule effectivement dans un champ pas très clairement défini, se situant entre une activité rémunérée, le volontariat et une activité de loisirs, soulevant ainsi plusieurs questions complexes du point de vue fiscal et des assurances (voir chapitres suivants). Les communautés d'autoconstruction respectent toutefois strictement le cadre légal (dans la mesure où ce cadre est défini), ce qui permet de réfuter les arguments concernant la concurrence déloyale ou le non respect des lois et des normes sociales. L'autoconstruction n'est en fin de compte qu'une manière d'aider son voisin, ce qui est tout à fait dans les traditions suisses.

1.4 La portée politique

Il convient de ne pas sous-estimer l'importance des nouveaux modèles d'affaires en matière de photovoltaïque pour réaliser les objectifs fixés par la stratégie énergétique 2050 acceptés par le peuple suisse. La production annuelle d'électricité d'origine photovoltaïque est actuellement de 1'500 GWh environ (fin 2016). La loi révisée sur l'énergie, entrée en vigueur au premier janvier 2018, prévoit que les nouvelles énergies renouvelables produiront 4'400 GWh en 2020 et même 11'400 GWh en 2035⁸. Il sera de plus en plus important de pouvoir recourir à des modèles de développement alternatifs, tels que l'autoconstruction, pour atteindre les objectifs fixés à la production de courant d'origine solaire, et ce, malgré la suppression de la RPC. Nous souhaitons donc qu'à l'avenir l'autoconstruction soit reconnue en tant que contribution importante et qu'en conséquence elle soit encouragée, par exemple sous la forme d'une interprétation conciliante des questions relatives aux impôts et aux assurances sociales.

⁸ Loi sur l'énergie (LEne) du 30 septembre 2016, art. 2

Les points importants relatifs à l'autoconstruction

- L'autoconstruction ne représente pas une concurrence pour le secteur économique de l'énergie solaire; elle occupe simplement un segment du marché, permettant la construction d'installations qui ne pourraient pas être réalisées autrement.
- Le fait de construire collectivement renforce la notion de transition énergétique dans un esprit communautaire.
- L'autoconstruction permet à des maîtres d'ouvrage d'acquérir des installations photovoltaïques à des prix avantageux et de les monter eux-mêmes.
- Dans une communauté d'autoconstruction bien organisée, les risques et investissements sont réduits pour le maître de l'ouvrage; il en résulte un rapport optimal entre le coût et les gains apportés par l'installation.
- Du fait de son engagement dans la construction, le maître de l'ouvrage connaît bien les caractéristiques et le fonctionnement de son installation, ce qui lui sera utile durant toute la période d'exploitation.
- Lorsqu'elle est bien organisée, l'autoconstruction correspond tout à fait à un besoin dans la société d'aujourd'hui. Elle permet de rompre avec les chaînes de rentabilité habituelles et la division du travail traditionnelle. Le citoyen auto-construteur devient ainsi un acteur central, compétent et conscient de sa propre consommation d'énergie.



L'organisation d'autoconstruction

2.1 Le modèle de la coopérative pour la transition énergétique

A l'heure de la rédaction de ce manuel, la Coopérative pour la transition énergétique EWG est en Suisse le seul modèle d'autoconstruction d'installations PV ayant à son actif de nombreuses réalisations couronnées de succès. EWG sera donc notre fil rouge dans les explications qui suivent. Voyons comment cela fonctionne.

Si un maître d'ouvrage (propriétaire) souhaite construire une installation avec la coopérative, il lui suffit de devenir coopérateur, en faisant l'acquisition d'une part sociale (au moins) valant 500 francs.

Un certain nombre de planificateurs indépendants d'installations solaires font partie de la Coopérative EWG qui elle-même forme et qualifie des planificateurs. Chaque projet est suivi par un planificateur; il planifie et concrétise le projet avec le maître de l'ouvrage. Il est directement mandaté par ce dernier et rémunéré au tarif fixe de CHF 1'000.- par installation. A ce montant s'ajoutent 100 francs par kW_c dépassant les 10 kW_c.

Après la phase de planification, EWG adresse une offre au propriétaire/autoconstructeur. Cette offre comprend le coût du matériel, y compris une marge de 5 % pour la coopérative et pour l'intervention de l'électricien. Le maître de l'ouvrage doit commander et payer lui-même l'échafaudage. Le travail se fait en autoconstruction, par le maître d'ouvrage travaillant sur son propre toit, accompagné d'autres coopérateurs, les co-constructeurs.

Les travaux sont mis en route et coordonnés par le planificateur; la coopérative le rémunère pour cette fonction. L'autoconstructeur doit compenser, avant ou après la construction de sa propre installation, les heures de travail que les autres membres de la coopérative ont effectuées sur son chantier. Il faut ajouter à ce solde cinq heures au profit de la coopérative au titre d'heures "d'initiation au travail". La pratique montre que le coopérateur effectue environ 25 à 50 % de son temps de travail sur sa propre installation et 50 à 75 % sur d'autres chantiers de la coopérative. Il dispose d'un délai jusqu'à la fin de l'année civile suivante pour accomplir ses heures de compensation. S'il ne souhaite ou ne peut pas compenser ses heures par du travail il doit les payer au prix de 50 francs par heure. Cet argent sert à indemniser les coopérateurs qui effectuent un nombre d'heures supérieur aux heures dues, ce qu'ils font généralement parce qu'ils disposent du temps nécessaire et que cette activité leur plaît. Les planificateurs qui dirigent les chantiers sont également payés à partir de ces fonds. Le salaire horaire pour ces travaux est de 30 francs par heure.

L'expérience montre qu'environ 10 à 20 % des heures sont payées, et non compensées par du travail. Le système permet ainsi d'avoir toujours suffisamment de planificateurs sur les chantiers pour diriger les travaux (la figure 7 illustre le paiement du planificateur pour le montage). Les fonds obtenus par la marge sur le matériel, la différence entre les heures payées et les salaires horaires versés, et les cinq heures d'initiation pour chaque coopérateur, permettent à EWG d'acquérir de l'outillage, de financer la formation, la publicité, l'administration, les assurances et de garder une réserve pour d'éventuels problèmes de garantie.

Les parts sociales de 500 francs servent de liquidités à la coopérative, ainsi que de montant consigné pour les heures de travail non fournies ou non compensées par un paiement. Après avoir fourni toutes les heures de travail dues et payé toutes les factures, le coopérateur a la possibilité de se retirer de la coopérative; le montant versé pour sa part sociale lui sera alors restitué. La coopérative étant très récente, ce cas de figure ne s'est pratiquement pas produit jusqu'à présent.

En 2016, le nombre d'heures de travail gratuit était d'environ 5'000, alors que 1'000 heures ont été payées. Huit planificateurs indépendants travaillent pour EWG. Le chiffre d'affaires pour 2016 était de plus d'un million de francs. En juin 2017, la Coopérative EWG a reçu le "prix de l'entreprise bernoise pour les énergies nouvelles".

Evolution du nombre de coopératrices et coopérateurs

Entwicklung der GenossenschafterInnen

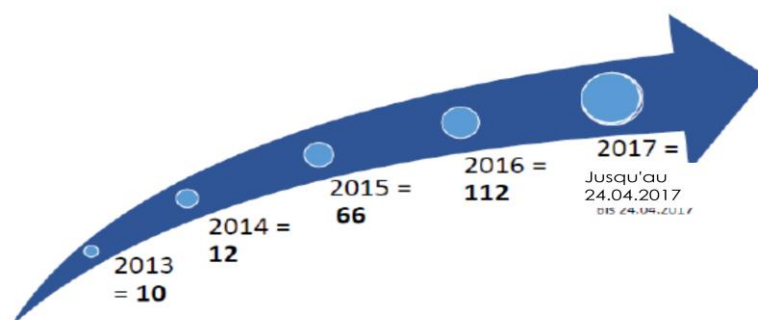


Fig. 4. Accroissement du nombre de membres dans la Coopérative EWG

La Coopérative pour la transition énergétique EWG (www.e-wende.ch)

En annexes à ce manuel (chapitre 4):⁹

- Les statuts de l'EWG (annexe 4.1)
- Le règlement de l'EWG (Annexe 4.2)
- Les conditions générales de l'EWG (annexe 4.3)
- Un modèle d'offre de l'EWG (annexe 4.4)

⁹ La version d'origine, allemande, de ce manuel comporte des annexes dont nous n'avons traduits que les éléments essentiels (chapitre 4). Les références à ce chapitre sont néanmoins maintenues.

2.2 La création d'une organisation d'autoconstruction

La constitution et l'exploitation d'une organisation d'autoconstruction telle qu'EWG est une entreprise qu'il ne faut pas sous-estimer. Il s'agit en fin de compte de construire des installations solaires de première qualité, qui doivent être tout à fait comparables à celles qui sont construites par les entreprises spécialisées. Afin d'atteindre ce but, la coopérative doit pouvoir compter, au sein même de l'organisation ou à l'externe si nécessaire, sur toutes les compétences indispensables à la réalisation des installations. Il faut par ailleurs aussi tenir compte du fait que la plupart des "constructeurs" n'ont pas, ou que très peu, de connaissances en la matière.

A l'inverse, deux facteurs rendent l'autoconstruction d'installations PV relativement facile: la simplicité de la technique photovoltaïque et la motivation des autoconstructeurs.

Pour ce qui est de la simplicité, la technique photovoltaïque est aujourd'hui facile à appliquer. Il y a quelques années seulement, il fallait la collaboration d'ingénieurs et les modules étaient très chers. Pratiquement chaque installation signifiait l'intégration de nouveaux types d'onduleurs et de systèmes de sécurité compliqués, à adapter les uns aux autres puis à tester avant d'être mis en service. Aujourd'hui par contre, tous les composants sont standardisés et compatibles. Qu'il s'agisse de la sécurité des prises, câbles et points de contacts, des modules à taille standardisée, des éléments de structure optimisés, faciles à monter et compatibles à 100 % ou encore des onduleurs modernes, tous ces composants répondent aux standards de sécurité internationaux et nationaux. Grâce aux micro-onduleurs et aux "optimiseurs" il est même possible de réaliser facilement des installations sans avoir à tenir compte des zones d'ombre occasionnelles. Une personne un tant soit peu intéressée par la technique peut ainsi acquérir en formation rapide, l'essentiel des connaissances nécessaires à la planification et à la construction d'une installation photovoltaïque (voir le chapitre 2.9 concernant la formation des planificateurs).

Qu'ils agissent comme maîtres d'ouvrage, comme constructeurs ou co-constructeurs sur les installations d'autrui, la motivation des autoconstructeurs est en général très élevée. Ils ne perçoivent pas leur tâche comme un travail de manœuvre mal payé mais comme une activité d'un genre nouveau en ayant pour objectif une prestation personnelle et directe pour un environnement meilleur. Dans cette perspective, ils s'acquittent généralement de leur travail de manière consciencieuse et fiable.

2.2.1 Les conditions cadre

Ces considérations générales nous permettent à présent d'aborder concrètement la constitution et le fonctionnement d'une organisation d'autoconstruction.

Il y a au départ un noyau de deux à cinq personnes qui doivent être aptes à constituer et à gérer une coopérative ou une association. La motivation pour le concept d'autoconstruction est évidemment primordiale. Il s'agit en premier lieu de donner à l'action une dimension sociale et d'entraide, alors que la recherche d'un gain matériel, bien que tout à fait légitime, ne devrait pas être au premier plan. Si la notion de profit est dominante, on peut craindre que tôt ou tard surviennent des difficultés, par exemple dans la pondération entre les intérêts de l'autoconstructeur et la marge que doit nécessairement réaliser l'organisation. En ce cas, il vaudrait mieux créer une entreprise solaire classique selon le schéma décrit ci-après, solution qui ne doit pas pour autant exclure la participation et les prestations personnelles du maître de l'ouvrage.

Idéalement, l'équipe doit comporter en son sein des personnes ayant des connaissances techniques (électrotechnique, construction, etc.) d'une part, et d'autre part un intérêt marqué pour des causes d'utilité publique, ainsi que de la facilité dans la gestion d'associations ou organisations. Le comité doit être suffisamment solide pour être à même de fournir, notamment au début, beaucoup de travail non rémunéré et pour faire face sans difficulté à de nombreux défis. Il doit aussi être capable d'entendre des critiques et d'essuyer des revers.

Il est très important que dès le départ l'on ait une relation directe et solide avec une personne expérimentée dans le domaine du photovoltaïque, à laquelle on puisse s'adresser en tout temps et de manière informelle. Ce spécialiste pourrait être, par exemple, une personne ayant déjà participé à une coopérative d'autoconstruction dans une autre région, ou un professionnel des installations solaires rejoignant la coopérative. Si les coopératives d'autoconstruction se multiplient, on peut imaginer une organisation faîtière nationale qui assurerait le soutien technique. Cette possibilité de recourir à une personne ou une organisation à même de fournir un soutien technique est essentielle en début de projet pour régler les questions de détail qui se présentent inmanquablement sur chaque chantier. La formation élémentaire des participants et même les connaissances fraîchement acquises des planificateurs sont ainsi utilement complétées.

Un ancrage local de l'activité d'autoconstruction permet de générer la confiance nécessaire à l'organisation naissante. De plus, le bouche à oreilles engendre de la publicité, un effet d'incitation pour d'autres projets et une collaboration naturelle avec les fournisseurs de prestations locaux, tels que les électriciens ou les loueurs et monteurs d'échafaudages.

Éléments indispensables pour la constitution d'une organisation d'autoconstruction

- **Equipe disposant d'un ancrage local**
- **Forte motivation pour le concept d'autoconstruction**
- **Dispositions pour l'engagement et la prise de responsabilités**
- **Accès direct et aisé à des spécialistes expérimentés dans les installations PV**
- **Dispositions à traiter les imprévus et à accepter la critique**
- **La motivation financière ne doit pas se situer au premier plan**
- **Expérience dans les activités d'intérêt public et dans le bénévolat**
- **Connaissances de base en matière technique et commerciale**

2.2.2 Check-list pour la constitution d'une organisation d'autoconstruction

Voici les points importants à respecter lors de la constitution de la coopérative ou de l'association d'autoconstruction

Travaux préparatoires

- Noyau de l'organisation, futur comité
- Discussion et définition du modèle choisi pour l'organisation
- Premiers contacts en vue de l'appui externe et de l'intégration des compétences spécifiques existantes

Constitution

- Statuts
- Assemblée constitutive et procès-verbal
- Election et organisation du comité
- Inscription au registre du commerce
- Ouverture d'un compte bancaire ou postal

Organisation

- Formation et accréditation du planificateur
- Etablissement des contacts avec les grossistes pour l'acquisition du matériel
- Rédaction des règlements et des conditions générales
- Assurances (RC et accident)
- Si des salaires seront versés: devoirs et charges incombant à l'employeur (AVS, assurance-accidents, CCT)
- Communication, publicité
- Acquisition de l'outillage (voir annexe)
- Premiers projets, test du déroulement du projet
- Contacts avec des entreprises spécialisées en électricité, idéalement en établissant un partenariat

Exploitation

- Organisation et optimisation de la progression du chantier
- Supervision et formation continue des planificateurs
- En fin d'année: comptes annuels, attestations de salaire, déclarations fiscales
- Assemblée générale ordinaire

Croissance de l'association

- Expansion géographique
- Professionnalisation de l'administration (rémunération des responsables)
- Intégration éventuelle des travaux d'installation électrique avec un titulaire d'une autorisation selon l'art. 14 OIBT¹⁰
- Négociation de conditions spéciales pour les achats de matériel
- Publicité
- Coopération avec d'autres organisations, synergies
- Adhésion à des associations faîtières: Swissolar, VESE, etc.

Aides à la constitution de l'association d'autoconstruction

En phase de démarrage, VESE ou les organisations d'autoconstruction existantes peuvent fournir de l'aide (www.vese.ch/selbstbau). Pour ce qui est de la formation technique, Swissolar organise divers cours théoriques et de perfectionnement (www.swissolar.ch). La formation pratique et l'encadrement des planificateurs peuvent souvent être organisés en collaboration avec les installateurs solaires locaux.

De nombreuses possibilités s'offrent en matière de communication et de publicité. Il est généralement facile de collaborer avec les autorités locales, les associations de

¹⁰ Ordonnance sur les installations à basse tension. Nous utilisons indifféremment l'expression "autorisation", qui figure dans la loi et le mot "concession" qui est également très courant.

protection de l'environnement et les organisations de consommateurs. Des comptes-rendus et articles dans les médias locaux suscitent l'attention.

2.3 Les différents types d'organisations

Les formes les plus évidentes sont l'association et la coopérative, car ces deux types d'organisations reposent en premier lieu sur l'entraide et la recherche du bien commun plutôt que le gain financier.¹¹

Par définition, l'association n'est en principe pas une société à but commercial ou lucratif; elle poursuit un "idéal". La coopérative peut par contre avoir un but commercial, il ne s'agit toutefois pas prioritairement de gains financiers mais de la promotion des intérêts communs des coopérateurs. L'entraide économique est par exemple au premier plan lorsqu'il s'agit du logement (coopératives d'habitation), du partage de voitures (*Mobility*) ou du commerce de détail (*Migros, Coop*). La coopérative n'a pas le droit de distribuer des bénéfices; les gains éventuels doivent être réinvestis dans la coopérative.

Les questions de responsabilité, de RC en cas d'incident sont importantes dans le cadre des organisations communautaires. Dans la plupart des cas, les problèmes qui peuvent survenir ont des conséquences financières. L'organisation peut être surendettée en raison de mauvaises affaires, ou alors, elle doit faire face à des prétentions en responsabilité civile à la suite d'un incident grave qui n'était pas couvert par une assurance. Si les moyens à disposition ne suffisent pas, l'organisation est en situation de surendettement. A l'exception du cas de la société simple, la responsabilité incombe en premier lieu à l'organisation elle-même et non à ses organes (comité, direction) ou à ses membres. En cas de surendettement et de faillite, les créances sont uniquement couvertes par la fortune de l'organisation, sans que les poursuites aillent au-delà. Les équipes dirigeantes et les membres sont donc couverts par rapport aux demandes des créanciers de la société (à moins que les statuts ne prévoient que dans un tel cas des remboursements puissent être exigés de la part des membres).

Par ailleurs, la responsabilité du comité (associations) ou de la direction (coopérative, Sàrl, SA) est un élément important. Les membres de ces entités sont responsables de la gestion et ils doivent éviter le surendettement. Mais dans la mesure où leur gestion ne relève pas de la négligence grave ou de l'acte criminel, ils ne peuvent pas, dans la grande majorité des cas, être poursuivis à titre personnel si malgré tout l'organisation est surendettée. Les contributions aux assurances sociales (AVS, etc.), font exception à cette règle. Si en cas de surendettement les contributions à l'AVS n'ont pas été versées, les membres de la direction font dans tous les cas l'objet de poursuites judiciaires et ils répondent ainsi solidairement, sur leur fortune personnelle, des contributions dues aux assurances sociales.

¹¹ Toutes les formes de sociétés peuvent être envisagées pour l'organisation d'une communauté d'autoconstruction (la société simple, l'association, la coopérative (art. 828 à 926 CO), la Sàrl ou la société anonyme). Le choix dépend du but que l'on se fixe, de la compatibilité avec le droit, des effets juridiques et du coût engendré par la constitution et l'exploitation de l'organisation. A l'exception de l'association (art. 60 à 79 CC), toutes les formes de sociétés sont régies par le CO. Dans les années 1990 et 2010, la forme de la société simple (art. 530 à 551 CO) a souvent été choisie par des petites communautés d'autoconstruction d'installations thermiques, qui ainsi se regroupaient jusqu'à ce que toutes les installations soient achevées (*Solarsupport, Sebasol*). Dans le cas de la société simple, il s'agit en général d'une organisation à durée limitée, créée dans un but précis par des personnes nominatives et sans objectif à long terme.

Les diverses formes d'organisations

- Les formes idéales sont l'association ou la coopérative.
- La coopérative est un peu plus compliquée à mettre en place, elle convient toutefois bien à la communauté d'entraide sans but lucratif.
- Dans ces deux types d'organisations la question de la responsabilité est identique; il est important que les membres du comité en aient connaissance.
- Dans certains cas exceptionnels, les membres du comité ou de la direction peuvent être personnellement responsables.



Fig. 5. Assemblée générale 2017 de la Coopérative pour la transition énergétique EWG

2.4 Les prestations offertes par l'organisation d'auto-construction

Le but des communautés d'autoconstruction consiste essentiellement à réaliser des installations PV à bon compte. Cependant, pour le maître de l'ouvrage, les avantages ne sont pas que d'ordre économique, ils sont aussi immatériels.

Avantages économiques

- Le travail de montage fourni par les membres de la communauté permet une économie considérable.
- Il en va de même pour l'achat de matériel (modules, onduleurs, matériel de fixation, etc.) qui se fait par l'intermédiaire de la coopérative.

Avantages immatériels

- La coopération personnelle au montage de sa propre installation et de celles des autres membres de la communauté constitue une activité nouvelle, passionnante, apportant son lot de satisfactions.
- On apprend beaucoup sur la technologie du photovoltaïque.
- La collaboration au sein de l'organisation apporte une satisfaction supplémentaire du fait des échanges avec les autres membres et du sentiment de participer concrètement à la transition énergétique.

Alors que les avantages immatériels s'expliquent par eux-mêmes, nous allons voir d'un peu plus près les avantages matériels.

Le tableau suivant (fig. 6) montre de manière exemplaire la différence de coût entre deux installations de 10 kW_c, l'une conventionnelle, l'autre réalisée en autoconstruction. Les prix de référence sont ceux du deuxième semestre de 2016.

Pour l'installation conventionnelle (*) les prix totaux ont été établis selon le calculateur solaire de Swissolar¹², respectivement sur une enquête de "ee-news/EZS-Preisumfrage" pour l'année 2015¹³. Pour une installation de 10 kW_c à poser sur une toiture, on obtient dans les deux cas un prix d'environ CHF 25'000.-, TVA comprise. Etant donné que les deux sources ne donnent pas de détail, les coûts totaux ont été répartis en fonction d'offres pour des installations d'un potentiel de 10 kW_c (**). Cette répartition a ensuite été comparée avec l'offre modèle de EWG de 2016, disponible sur internet (***) annexe 4.4).

Cette comparaison indique une économie de 30 % environ. Il apparaît en outre que l'économie concerne, à parts à peu près égales, le matériel (-17 %) et le coût du montage (-14 %). L'autoconstruction n'est donc pas seulement une bonne affaire parce que les intéressés participent au montage, mais aussi parce que le matériel peut être acquis à meilleur prix. La communauté d'autoconstruction est aussi une communauté d'achat au service de ses membres. Nous voyons certains points communs avec les coopératives de consommation que sont Coop et Migros.

	Installation clés en main (*)	Répartition, install. clés en main (**)	Autoconstr. selon EWG déc. 2016 (***)	Economie (ou surcoût)	+ / - en %
Modules	CHF 8'100.-	35 %	CHF 5'100.-		
Onduleurs	CHF 2'350.-	10 %	CHF 2'000.-		
Autre matériel et transport	CHF 4'750.-	20 %	CHF 3'500.-		
Marge de la comm. d'auto.			CHF 530.-		
Total pour le matériel	CHF 15'200.-	65 %	CHF 11'130.-	CHF -4'070.-	-17 %
Electricien	CHF 2'500.-	11 %	CHF 2'000.-	CHF -500.-	-2 %
Echafaudage / Assurances	CHF 1'000.-	4 %	CHF 2'000.-	CHF 1'000.-	4 %
Montage	CHF 3'200.-	14 %		CHF -3'200.-	-14 %
Planification et administr.	CHF 1'400.-	6 %	CHF 1'000.-	CHF -400.-	-2 %
Total sans TVA	CHF 23'300.-	100 %	CHF 16'130.-	CHF -7'170.-	-31 %
Total avec TVA	CHF 25'200.-		CHF 17'400.-	CHF -7'800.-	-31 %

Fig. 6. Comparaison des coûts entre une installation de 10 kW_c clé en main et une installation de même puissance réalisable en autoconstruction.

Retenons que la comparaison présentée dans ce tableau ne doit pas être considérée comme un exemple rigide et que de grands écarts peuvent intervenir, en plus ou en moins, tant pour l'autoconstruction que pour les installations conventionnelles. Le site ee-news/EZS-Preisumfrage fait également état de grandes disparités.

Deux avantages d'importance à peu près égale de l'autoconstruction:

- la communauté d'autoconstruction peut acquérir du matériel à prix avantageux;
- le maître de l'ouvrage participe au montage de son installation puis de celles des autres membres.

¹² <http://www.swissolar.ch/fuer-bauherren/planungshilfsmittel/solardachrechner>

¹³ PV-Preisumfrage 2015, ee-news.ch/Energie Avenir suisse, juin 2016

2.4.1 L'achat de matériel et l'acquisition des prestations de service

La communauté d'autoconstruction nous servant d'exemple achète son matériel (modules, onduleurs, matériel de fixation, câbles, etc.) chez les grossistes sur le marché national, tout comme le font les installateurs professionnels. En raison de l'importante concurrence, les prix ne diffèrent que peu sur le marché de gros, de sorte que le choix du fournisseur importe peu. Les grossistes accordent évidemment des rabais, qui ne sont toutefois que de l'ordre de quelques pourcent, en fonction de l'importance du chiffre d'affaires réalisé avec tel ou tel client.

La différence intéressante pour l'autoconstructeur résulte bien sûr du fait que la communauté d'autoconstruction ne prend qu'une très faible marge (ou pas de marge du tout) sur le prix du matériel (5 % pour EWG par exemple). Dans la construction conventionnelle de petites installations par contre, la marge sur le matériel peut facilement être de l'ordre de 20 % ou même plus¹⁴.

Si le domaine de l'autoconstruction devait prendre des dimensions plus importantes, nous aurions à coup sûr encore un important potentiel à exploiter dans l'acquisition de matériel. Si plusieurs coopératives pouvaient par exemple se regrouper pour acheter des quantités vraiment importantes, des réductions de coût seraient évidemment possibles.

Mais les achats en gros auraient aussi leurs points faibles; pensons au financement, au stockage et au risque que cela implique, à la limitation dans le choix des produits, à la logistique et à la suppression du service à la clientèle.

Les prestations de service des électriciens et des constructeurs d'échafaudages constituent un autre point important, la solution de facilité étant d'établir de nouveaux contacts pour chaque installation. Il en résulte une charge administrative et des coûts élevés parce que l'on ne génère pratiquement pas de volume dans l'affaire. Nous voyons ici aussi une bonne marge de réduction des coûts à l'avenir en intégrant les entreprises adéquates dans la communauté d'autoconstruction¹⁵.

2.4.2 L'autoconstruction d'une installation / L'organisation du travail

Une gestion optimale est le facteur essentiel et aussi le plus grand défi pour une autoconstruction bien organisée. Il s'agit de trouver une forme d'organisation qui permette d'une part l'engagement maximal de la part des autoconstructeurs et d'autre part le recours efficace à des spécialistes qualifiés qui veillent au bon déroulement du travail fourni par les autoconstructeurs, et cela sans aucun compromis afin que l'installation soit finalement parfaitement comparable à une réalisation de professionnels. Il faut aussi que la sécurité des participants et de l'installation soit assurée en tout temps; il en va de même avec le respect des prescriptions légales.¹⁶

¹⁴ Dans les deux modèles, les marges sur le matériel sont en relation avec la garantie. Celle-ci se limite généralement à la prestation de garantie du fournisseur précédent, donc du fabricant du matériel. Les auteurs de ce manuel sont d'avis que les marges élevées constatées sont difficilement justifiables.

¹⁵ La Coopérative EWG par exemple, dispose de plusieurs planificateurs qui sont des installateurs agréés selon l'art. 14 OIBT, et pour les raccordements AC elle essaye de recourir systématiquement à la même entreprise d'installations électriques, de niveau suprarégional.

¹⁶ Relevons que les professionnels du solaire admettent aussi l'autoconstruction sous la forme de la collaboration du maître de l'ouvrage, notamment lorsqu'il s'agit d'installations dans le domaine agricole ou artisanal.

Le rôle principal incombe au planificateur. Il est le spécialiste qui a acquis les connaissances nécessaires et il maîtrise aussi bien la planification que la conduite du chantier¹⁷. Son travail est rémunéré et il peut travailler en tant qu'indépendant ou comme employé d'une communauté d'autoconstruction.

Le planificateur endosse la responsabilité pour la construction de l'installation dès les premiers conseils et jusqu'à la mise en service; il exécute toutes les tâches inhérentes au projet qui ne peuvent pas ou que très mal être accomplies par les autoconstructeurs, qui eux, n'ont pas de formation. De plus, il donne des instructions à ces derniers, il les dirige dans leur travail, contrôle l'exécution et le résultat final.

L'engagement des planificateurs, leur formation (initiale et continue) sont des tâches critiques au sein des organisations d'autoconstruction, car le fonctionnement correct du chantier et finalement de l'installation repose sur eux seuls. Des précisions sont données au chapitre 2.9 de ce manuel.

Le planificateur travaille de manière indépendante. Il est néanmoins important qu'il puisse en tout temps s'adresser à d'autres spécialistes, planificateurs, organisations, fournisseurs ou entreprises spécialisées. L'organisation d'autoconstruction doit aussi veiller à assurer ces contacts.

Il est relativement facile de schématiser les différentes étapes de planification et de construction d'une installation PV ainsi que les tâches incombant à chacun des acteurs (fig. 7).

Tâche / Etape	Planificateur, chef de chantier, coopérative	Maître de l'ouvrage	Co-constructeurs de la coopérative	Autres employés de la coopérative	Intervenants externes
Conseils, planif. globale, offre	5 heures	Participation			
Autorisations, demandes de subventions	3 heures	Participation			
Planification de détail, commande du matériel	3 heures				
Planification du chantier et coordination	4 heures				
Echafaudage	Contrôle	Commande			Spécialiste
Montage: structure, modules, passages de câbles, onduleurs	Directives 8 heures	16 heures	48 h		
Raccordements électriques DC	Coord.			Si autoris. art. 14 OIBT	Electricien
Raccordements électriques AC	Coord.				Electricien
Mise en service, remise, documentation	2 heures				
Total	25 heures	16 heures	48 h		

Fig. 7. Etapes de réalisation d'une installation photovoltaïque. Les heures indiquées sont approximatives et se réfèrent à une installation de 10 kW_c sur toiture de tuiles, sans complications.

¹⁷ La dénomination de "planificateur" n'est en fait pas idéale, mais elle a fini par s'imposer.

- **Conseils et planification globale, offre.** Un planificateur examine l'emplacement de la future installation et discute les possibilités et options avec l'autoconstructeur (le propriétaire, futur maître de l'ouvrage). En fonction du résultat de la discussion, le planificateur établit un plan général et une offre, avec les variantes éventuelles (voir l'exemple d'une offre en annexe 4.4). Le projet démarre au moment où l'autoconstructeur prend sa décision. En passant la commande, l'autoconstructeur accepte les conditions générales et les éventuels règlements de la coopérative.
- **Autorisations et demandes de subventions.** L'accord du distributeur local d'électricité est indispensable pour l'injection de courant dans le réseau. Par ailleurs, l'installation doit être annoncée aux autorités communales, même si aucune autorisation n'est nécessaire (chapitre 3.5). D'autres tâches concernent les demandes de subventions (rétribution unique, subventions locales), la certification et la vente de certificats de garantie d'origine. Ces tâches sont exécutées conjointement par le planificateur et le maître de l'ouvrage.
- **Planification de détail et commandes.** Dès que les autorisations ont été obtenues, le planificateur établit le plan détaillé et il commande le matériel nécessaire. En général, le propriétaire règle l'ensemble du matériel en prépaiement.
- **La planification et la coordination.** Elles s'étendent sur toute la phase de construction. La coordination de l'engagement de l'autoconstructeur et des co-constructeurs, ainsi que la coordination avec les intervenants externes sont les points importants.
- **Echafaudage.** Les travaux sur la toiture ne peuvent démarrer qu'après la pose de l'échafaudage. Même dans l'autoconstruction, l'échafaudage doit toujours être l'affaire du spécialiste.¹⁸ C'est la condition pour que le chantier réponde aux normes de la SUVA, qu'il soit sécurisé et que l'on puisse y accéder sans danger. Dans l'exemple de la Coopérative EWG, l'échafaudage est commandé et payé directement par le maître de l'ouvrage. Ce procédé est facilité du fait que le maître de l'ouvrage est en principe sur place. L'autoconstructeur devrait cependant quand même pouvoir compter sur un appui, notamment dans l'évaluation du coût. Le cas échéant, la coopérative peut aussi s'occuper de la question. Dans tous les cas, le planificateur doit vérifier l'échafaudage avant le début des travaux et s'assurer qu'il est conforme.
- **Le montage.** C'est le moment de l'intervention des autoconstructeurs, du maître de l'ouvrage et de ses collègues de la coopérative.¹⁹ Concrètement, il s'agit des travaux suivants:

¹⁸ On constate (figure 6) que la sécurisation du chantier à tendance à être moins chère si la tâche est confiée à un professionnel. C'est sans doute parce qu'une partie des entreprises d'installations solaires disposent de leur propre matériel d'échafaudage.

¹⁹ Dans le cadre d'une organisation d'autoconstruction, il peut y avoir, d'un chantier à l'autre, de très grandes différences dans les échanges d'heures de travail entre le maître de l'ouvrage et les autres membres constructeurs; dans certains cas cet échange d'heures constitue un élément très important, alors que dans d'autres cas il se peut que le maître de l'ouvrage soit bel et bien soutenu par l'organisation, mais qu'en fin de compte il assume lui-même le travail de montage, avec par exemple l'aide d'amis et des membres de sa famille. L'échange d'heures de travail exerce d'une part un effet sur le caractère social de l'organisation d'autoconstruction, mais d'autre part, et même s'il n'y pas de circulation d'argent entre les parties prenantes, il y a des questions complexes en matière de fiscalité et de prestations sociales (voir à ce sujet le chapitre 2.6, ainsi que l'expertise Edelmann (www.vese.ch/selbstbauhandbuch)).

- montage de la sous-structure sur le toit (supports des modules),
- pose et fixation des modules sur la sous-structure,
- interconnexion des modules (chaînes, câbles DC),
- pose des gaines techniques pour les câbles de la toiture aux onduleurs (qui se trouvent par exemple à la cave),
- pose des onduleurs.

Remarque importante: A l'exception de l'interconnexion des modules, les prescriptions en vigueur interdisent aux non professionnels tout travail sur les conduites électriques. Cette tâche est réservée à l'électricien.

Intervenant comme directeur des travaux et chef de chantier, le planificateur donne les instructions nécessaires. Il ne doit pas forcément être présent en tout temps; il donne simplement les instructions initiales et indique les étapes successives de travail. Dès qu'il constate que les autoconstructeurs sont autonomes, sa présence n'est plus indispensable. Il doit cependant pouvoir intervenir à tout moment si nécessaire. Cette disponibilité du planificateur doit également être rémunérée. Dans le cas de la Coopérative EWG la présence sur le chantier n'est toutefois pas rémunérée comme forfait de planificateur, ce dernier étant un employé de la Coopérative. D'autres modèles peuvent évidemment être envisagés.

- Raccordements électriques. Ces travaux doivent être faits par un électricien au bénéfice d'une concession; il peut être mandaté par le maître de l'ouvrage ou la coopérative. Il faut simplement veiller à une bonne coordination pour éviter des complications et des coûts supplémentaires. S'il y a une personne titulaire d'une concession, cette dernière peut réaliser le câblage en courant continu (DC) de l'installation. A la fin du chantier, l'installation doit être vérifiée par un contrôleur indépendant (rapport de sécurité, OIBT).
- Mise en service, réception, documentation. Après le raccordement électrique effectué par le spécialiste, l'installation subit un dernier contrôle puis elle est mise en exploitation. Une documentation adéquate doit être remise au maître de l'ouvrage.

Dans le tableau (fig. 7) nous avons relevé le nombre approximatif d'heures de travail nécessaires pour la construction d'une installation de 10 kW_c posée sur une toiture existante. Nous relevons donc 25 heures payées au planificateur par rapport à 64 heures non payées fournies par les autoconstructeurs. Cette répartition n'est probablement pas très différente de ce qu'elle est dans le secteur professionnel du solaire où l'on engage aussi en grand nombre des auxiliaires sans formation spécifique pour le montage. Que valent donc les autoconstructeurs, sans formation, par rapport aux auxiliaires engagés dans la branche?

- Les autoconstructeurs sont en général très motivés; cela peut compenser un certain manque d'expérience.
- Une partie au moins des autoconstructeurs a de l'expérience dans les domaines de la construction ou de la technique, raison pour laquelle ils se lancent finalement dans l'autoconstruction. En cours de chantier, ces participants un peu plus expérimentés que les autres auront tout naturellement des rôles de leaders.
- Du fait de la participation à plusieurs chantiers résultant de l'échange d'heures de travail selon le modèle EWG, l'autoconstructeur sera amené à exécuter plusieurs fois le même type de travail. Il acquiert ainsi de l'expérience et nous avons en fin de compte un transfert de connaissances de chantier en chantier.

Sur la base des estimations en heures données en figure 7, le montage nécessite 72 heures (8+16+48). Pour un salaire horaire moyen de CHF 30.- auquel on ajoute 25 % de charges sociales pour l'employeur (assurances sociales, part de vacances, administration), le coût du montage dans une entreprise conventionnelle est de CHF 2'700.-. Ceci confirme à peu près le poste équivalent dans la répartition des coûts en figure 6.

- **C'est au planificateur, formé et rémunéré, qu'incombe le rôle clé dans l'autoconstruction. Il conçoit l'installation, donne des instructions aux autoconstructeurs, surveille et coordonne le projet du début à la fin. Sa collaboration avec le maître de l'ouvrage est essentielle.**
- **Pour des questions de responsabilité il est important d'externaliser le montage de l'échafaudage. En confiant cette tâche à un spécialiste on évite tout compromis en matière de sécurité et on peut se concentrer pleinement sur le montage.**
- **Les autoconstructeurs, à savoir le maître de l'ouvrage et les co-constructeurs effectuent la part mécanique du montage, en suivant les indications du planificateur.**
- **A l'exception de l'interconnexion des modules, tous les raccordements électriques ne peuvent être exécutés que par un électricien détenteur d'une concession ad hoc.**

2.4.3 Les autres options offertes par l'autoconstruction

Le modèle d'autoconstruction décrit précédemment est celui d'EWG. En matière d'organisation pour l'autoconstruction, il y a évidemment des variantes tout aussi valables et l'avenir nous dira quel type d'organisation est idéalement applicable à tel ou tel environnement. Voici trois variantes:

Intégration plus forte que dans le modèle EWG (plus de tâches et de responsabilités pour l'organisation d'autoconstruction).

La planification, les travaux liés aux raccordements électriques et le montage de l'échafaudage peuvent être pris en charge par l'organisation d'autoconstruction et proposées comme prestation forfaitaire au maître de l'ouvrage qui n'aura plus qu'un interlocuteur et pourra ainsi se consacrer au travail de montage. A l'inverse, l'organisation doit assumer les tâches supplémentaires et aussi prévoir des marges sur les coûts afin de s'assurer contre les risques éventuels, ce qui en retour, augmentera aussi le coût pour le maître de l'ouvrage.

Intégration moins forte que dans le modèle EWG (moins de tâches et de responsabilités pour l'organisation d'autoconstruction).

L'organisation d'autoconstruction peut aussi externaliser des tâches supplémentaires, telles que la relation avec l'électricien ou même la commande de matériel. L'organisation pourrait se limiter à spécifier le matériel nécessaire mais laisser au maître de l'ouvrage le soin de la commande, de la vérification de la livraison et du paiement. L'organisation serait ainsi libérée de la responsabilité est des questions de garantie pour le matériel.

Une autre possibilité consisterait à fournir du volontariat sur d'autres chantiers (donc pas pour sa propre installation). Dans ce cas, l'organisation se bornerait à mettre à disposition de l'autoconstructeur une liste de co-constructeurs volontaires auxquels il aurait à s'adresser pour les engager. L'organisation ne serait alors plus responsable

de l'activité des co-constructeurs et les questions relatives aux impôts et aux assurances sociales ne se poseraient probablement pas car il ne subsisterait dans ce cas de figure qu'une obligation morale de compensation des heures de travail (voir au chapitre 2.5 les modèles d'organisation).

En allant encore plus loin, on peut imaginer un modèle où l'organisation se limite à transmettre des plans, des adresses de fournisseurs et la liste des co-constructeurs potentiels; l'organisation serait ainsi très largement déliée de toute responsabilité.

L'entreprise d'autoconstruction

Une "entreprise d'autoconstruction" constituerait une autre possibilité. Il s'agirait d'une entreprise à but commercial qui offrirait des installations photovoltaïques comme les autres entreprises spécialisées, mais en proposant systématiquement au maître de l'ouvrage de collaborer au montage. Dans ce cas de figure, on pourrait en principe aussi intégrer un échange d'heures de travail entre les différents clients de l'entreprise. Il ne s'agit toutefois pour l'instant que d'un concept qui n'a pas encore trouvé d'application pratique.

- **Le modèle de la Coopérative EWG fait ses preuves depuis 2015, avec la construction de plus de 200 installations.**
- **D'autres formes d'organisation sont possibles, dans lesquels le maître de l'ouvrage prend plus ou moins de responsabilités. L'avenir nous dira quels sont les modèles ayant le plus de succès.**

2.5 Les types d'organisations

Dans le modèle d'autoconstruction donné par la Coopérative EWG, nous constatons qu'au moins cinq personnes physiques ou morales différentes interagissent sur un même projet: le maître de l'ouvrage, l'organisation d'autoconstruction, le planificateur indépendant, les co-constructeurs (constructeurs-coopérateurs) et les artisans ou entreprises externes. Pour que le tout puisse fonctionner, il est indispensable que les relations juridiques soient clairement établies. Malheureusement, il n'est pas facile de régler cette question parce qu'en raison de l'échange d'heures de travail, l'autoconstruction ne correspond à aucun modèle courant. Il en résulte des insécurités on ne peut pas dire d'emblée quelle est la meilleure forme d'organisation pour l'autoconstruction. Disons qu'il y a plusieurs solutions, présentant toutes des avantages et des inconvénients.

2.5.1. Le modèle de base

Considérons premièrement le modèle EWG du canton de Berne, qui est aussi appliqué par la Coopérative EWG de Winterthour, tel que décrit au chapitre 2.1. Sur mandat de VESE, ce modèle d'organisation a été analysé et évalué à l'été 2017 par un expert juriste spécialisé (M. Edelmann). Selon l'expertise, la relation entre le maître de l'ouvrage, les co-constructeurs et la coopérative peut être décrite comme suit: La coopérative vend au maître de l'ouvrage une installation photovoltaïque en autoconstruction. La vente comprend la livraison de matériel et la fourniture de prestations de travail sous la forme de conduite de chantier et de co-constructeurs. En retour, le maître de l'ouvrage verse à la coopérative le montant correspondant au matériel (mais il ne paie pas les heures de travail fournies). Vu sous cet angle, les co-constructeurs sont employés par la coopérative, rétribués par des notes de crédit. Sur le plan juridique, le fait que la comptabilisation des heures de travail échangées

se fasse toujours par l'intermédiaire de la coopérative est déterminant, aussi bien pour le maître de l'ouvrage que pour les co-constructeurs.

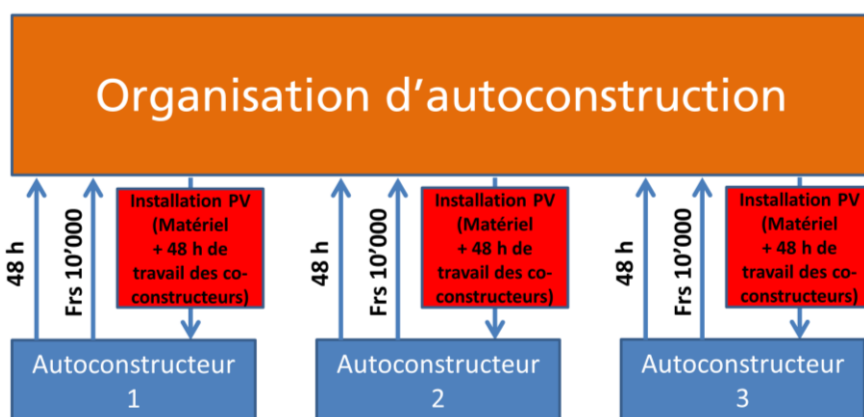


Fig. 8. Modèle EWG avec échange d'heures de travail par l'intermédiaire de la Coopérative.

Les échanges d'heures de travail impliquent plusieurs conséquences pour la coopérative auxquelles on ne s'attend en principe pas. Dans le chapitre 2.6 nous décrivons en détail les questions relatives à l'AVS, la fiscalité, la TVA et l'assurance- accidents.

Quelques points essentiels:

- Si l'organisation pratique l'échange d'heures de travail comme la Coopérative EWG, les coopérateurs/co-constructeurs sont en situation d'employés par rapport à la coopérative. Il en résulte les règles habituelles d'un rapport employeur-employé. La coopérative a la responsabilité du choix des co-constructeurs, de leur donner les instructions nécessaires et, le cas échéant, l'équipement indispensable. A l'inverse, les co-constructeurs ont l'obligation d'exécuter leur travail consciencieusement, comme doit le faire tout employé. La coopérative fonctionnant d'une certaine manière comme employeur des co-constructeurs, il est important de veiller à ne pas confier l'autoconstruction à des personnes ne présentant pas les aptitudes requises (voir l'expertise de M. Edelmann).
- L'organisation vend une installation photovoltaïque au maître de l'ouvrage. Dans les conditions générales et règlements il faut absolument définir de quelle manière sera traité un problème pouvant survenir durant la période de garantie qui selon la loi est de deux ans. Par ailleurs, certains produits sont vendus avec une garantie pouvant aller jusqu'à 25 ans, c'est souvent le cas pour les modules et les onduleurs. Mais il s'agit de garanties données par le fabricant; et au-delà de la durée légale de deux ans, une démarche pour une prestation en garantie est en général difficile, parfois coûteuse et l'issue en est incertaine.
- Assurances. Les personnes physiques et morales impliquées peuvent s'assurer contre les prestations en responsabilité civile. La conclusion d'une assurance en ce sens est vivement conseillée, alors même que l'on ne peut jamais être absolument certain que tous les cas de figure seront couverts, ou, au contraire que certains risques ne feraient pas l'objet d'une double couverture. Les comportements relevant d'une négligence grave sont par exemple généralement exclus.
- La question de la responsabilité se pose lorsqu'un incident survient. Les questions de responsabilité sont toujours complexes et il n'y pas de réponse toute faite, car chaque cas se présente dans des circonstances différentes (voir l'expertise de M. Edelmann).

Recommandations

- Si une organisation d'autoconstruction engage des co-constructeurs, elle porte, comme tout employeur, une responsabilité pour ces personnes, même si ces co-constructeurs ne sont rémunérés que par des "crédits d'heures de travail". L'association ou coopérative se doit d'être parfaitement informée sur cette question.
- L'organisation d'autoconstruction doit conclure les assurances nécessaires, notamment pour les cas d'accident et de responsabilité civile.
- Les prestations de garantie doivent être clairement décrites, par exemple dans les conditions générales.

2.5.2 Autres modèles d'organisation

Dans le modèle EWG, les co-constructeurs ont un statut qui n'est pas très éloigné de celui d'employé de la coopérative (bien qu'ils ne soient pas rétribués avec de l'argent). Il en résulte plusieurs questions et la coopérative doit s'assurer en conséquence (RC, accidents, etc.). A cela s'ajoutent les questions relatives aux impôts et à la TVA en rapport avec la valeur supposée des heures de travail (voir chapitre 2.6.3).

C'est pourquoi des alternatives à l'engagement de co-constructeurs font actuellement l'objet d'une évaluation. Deux options sont étudiées:

Echange d'heures de travail dans le modèle "peer-to-peer"

Selon ce modèle, la coopérative se limite à servir d'intermédiaire pour les co-constructeurs. Le maître de l'ouvrage est seul responsable des co-constructeurs et de leur intervention sur son toit. La coopérative se limite à une activité de conseil et de soutien, les prestations fournies et dues étant comptabilisées. Idéalement, le système permet aussi de prévoir la compensation financière des heures de travail non fournies, comme dans le modèle EWG. Ces heures peuvent aussi être fournies par des employés salariés de la coopérative qui apportent le soutien nécessaire au maître de l'ouvrage. La coopérative pourrait même demander une contribution pour rémunérer son rôle d'intermédiaire.

Ce système de "peer-to-peer" est nouveau et il n'a pas encore été évalué en détail ni testé dans la réalité. Mais il est d'ores et déjà évident qu'un modèle "peer-to-peer" représente par rapport à EWG plus de contraintes pour le maître de l'ouvrage, car ce dernier devient l'employeur des co-constructeurs. Dans un autre sens, l'évitement de la TVA représente un avantage.

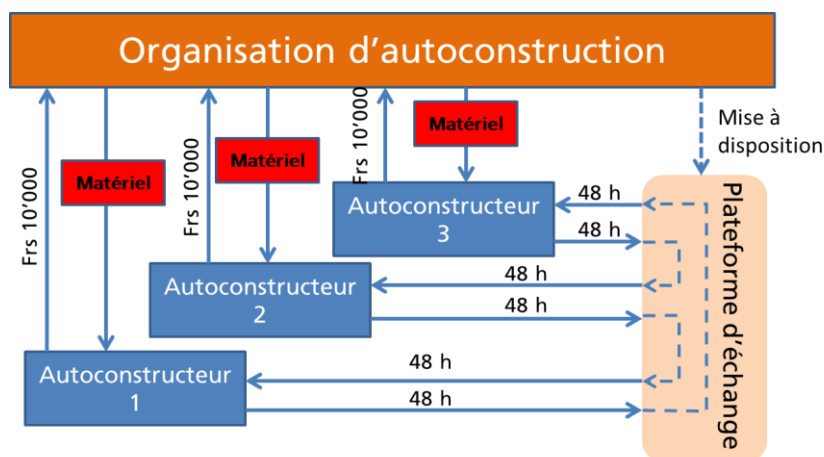


Fig. 9. Variante avec le modèle d'échange d'heures de travail "peer-to-peer"

Collaboration à titre volontaire sur d'autres chantiers (modèle "d'association d'auto-construction")

Dans ce modèle d'organisation, il n'y a pas d'obligation de compenser les heures de travail fournies sur le chantier du maître de l'ouvrage par d'autres personnes; la collaboration est donc une question de volontariat. Il n'y a pas de relation commerciale du type prestation et contreprestation. Il n'y a pas de statut d'employé et pas de problèmes liés au fisc ou aux contributions sociales. Il est toutefois difficile de percevoir dans quelles conditions un modèle basé sur le volontariat pourrait être couronné de succès à long terme.

Les pistes pour d'autres modèles d'organisation

- **Echange d'heures de travail "peer-to-peer". L'organisation se limite à mettre les partenaires en relation.**
- **Collaboration sur d'autres chantiers sur la base du volontariat ("association d'autoconstruction").**

Remarque importante:

Toutes ces réflexions ne prétèrent en aucun cas le concept et l'efficacité de l'auto-construction communautaire en tant que telle. Il s'agit seulement, en fonction du système juridique suisse qui n'est actuellement pas adéquat en la matière, de trouver une solution permettant de réaliser dans de bonnes conditions cadre et en autoconstruction le plus grand nombre possible d'installations photovoltaïques.

2.6 La problématique de l'échange d'heures de travail

Le principe de l'autoconstruction en communauté repose sur des heures de travail échangées et non rémunérées. Ce travail non rémunéré est complété par du travail rémunéré fourni par divers intervenants tels que les planificateurs indépendants, d'éventuels employés de la coopérative, l'électricien et le fournisseur et monteur de l'échafaudage.

Pour tous les intervenants professionnels la situation est claire par rapport à la loi, aux assurances sociales et accidents ainsi qu'en matière fiscale. Il s'agit d'une relation ordinaire entre entreprises; il en va de même si la coopérative verse des salaires.

Pour les heures de travail échangées et donc non rémunérées nous devons par contre faire face à un vaste champ d'incertitudes. Il est étonnant de constater qu'en Suisse environ la moitié du travail globalement fourni n'est pas rémunéré²⁰ et qu'un grand nombre de ces heures est effectué dans des associations, où de manière informelle les membres se partagent les tâches en échangeant des heures de travail.

Par opposition aux travaux non rémunérés, tels que dans des associations par exemple, l'échange d'heures de travail pour l'autoconstruction prend la forme d'une relation d'affaires. C'est notamment le cas dans la Coopérative EWG. Pour chaque heure de travail fournie sur un chantier autre que le sien, l'autoconstructeur s'attend à une contre-prestation sous la forme d'une heure de travail fournie sur son propre chantier. Du point de vue de la loi, il importe peu que la contre-prestation ne soit pas

²⁰ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/travail-remuneration/travail-non-remunere.html>

fournie en liquide, mais en heures de travail. Il s'agit d'une prestation appréciable en argent.

Dans l'échange d'heures de travail il faut donc prendre en considération les assurances sociales (AVS, AI,...), l'imposition du revenu, la TVA, l'assurance-accidents et même les rapports entre employé et employeur (chapitre 2.6.1 et suivants).

Il n'y a pas de problème si le maître de l'ouvrage est seul à travailler sur son propre chantier. Ces heures ne sont imposables fiscalement que si le maître de l'ouvrage est lui-même entrepreneur dans une branche annexe (couvreur, électricien, etc.). Dans ce cas, le travail fourni en autoconstruction peut être considéré fiscalement comme une prestation en nature dans la rubrique des revenus. Les cotisations AVS et même la TVA (pour autant que cet entrepreneur y soit soumis) sont applicables. Dans les autres cas, le travail est considéré comme activité de loisirs et donc non professionnelle et non imposable.

La situation est différente dès lors que des heures de travail sont échangées entre les participants à la coopérative d'autoconstruction et le maître de l'ouvrage. Dans ce cas, le maître de l'ouvrage acquiert par exemple un crédit d'heures de travail par son activité sur d'autres chantiers, ce crédit étant ensuite converti en heures de travail fourni sur son propre chantier par les autres membres. Il s'agit donc d'une sorte de commerce de troc. Ce commerce est en principe soumis aux contributions sociales, à l'impôt sur le revenu et à la TVA (si soumis).

Au sens de la loi, le troc est traité comme une activité commerciale dans laquelle des marchandises sont échangées contre de l'argent. La valeur pécuniaire du troc est évaluée. La valeur d'une heure de travail en autoconstruction pourrait être de CHF 30.- par exemple.

Trois domaines sont concernés dans la pratique: les contributions sociales, l'impôt sur le revenu et la TVA. L'assurance-accidents fait partie des obligations de l'employeur; si les co-constructeurs sont considérés comme des employés, ils doivent être assurés contre les accidents par l'employeur.

Il s'agit donc non seulement de savoir si les contributions aux assurances sociales sont obligatoires mais aussi de déterminer à qui incombe le devoir de répondre aux exigences légales.

Ci-après, les trois formes d'organisations décrites au chapitre 2.5 sont examinées sous cet angle.

2.6.1 Les assurances sociales (AVS/AI, AC)

Jusqu'à un revenu de CHF 2'300.- par an et par employeur, l'employé n'est pas soumis à la contribution à l'AVS. Etant donné qu'une installation solaire standard pour une personne privée ne nécessite pas plus de 50 heures de travail échangées, que le salaire virtuel est de CHF 30.- par heure, le revenu virtuel est de CHF 1'500.-, montant qui n'est donc pas soumis à l'AVS. La limite théorique se situe donc à 75 heures de travail échangées (CHF 2'300.- divisé par CHF 30.-).

La pratique montre que la marge laissée par les autorités est encore plus grande. Dans le cas de la "bourse au temps" de St-Gall (www.zeitboerse.ch) les cotisations à l'AVS ne doivent être versées qu'au-delà de huit heures de travail régulièrement échangées chaque semaine. Cela représente donc une "franchise" annuelle de 400 heures, à condition toutefois que l'on n'échange pas des prestations correspondant à sa propre activité professionnelle.

En comparaison à ce cas, l'échange d'heures pour la construction d'une installation photovoltaïque représente un volume nettement moindre et il s'agit d'une activité limitée dans le temps. Il y a donc très peu de risques qu'une agence AVS cantonale prenne la décision de soumettre l'échange d'heures à l'AVS, ce d'autant plus que la franchise annuelle est de CHF 2'300.- *par employeur*. Le cas échéant, il faudra toutefois obtenir dans chaque canton une décision sur le non assujettissement à l'AVS.

2.6.2 L'impôt sur le revenu

Contrairement aux normes pour l'AVS, il n'y a pas de montant minimal au-dessous duquel on ne serait pas assujéti à l'impôt sur le revenu. Tout revenu est donc en principe imposable. Pour diverses raisons, on peut cependant envisager que les administrations fiscales cantonales renoncent à l'imposition.

- Le coût administratif engendré serait trop élevé par rapport aux recettes fiscales attendues.
- Il ne s'agit pas d'argent, mais d'un échange et d'un crédit d'heures de travail dont la valeur devrait d'abord être déterminée avec précision.
- Les montants qui seraient dus par les contribuables concernés et les organisations sont minimes.
- Le type d'organisations concernées est proche de la notion d'utilité publique.

La "bourse d'échange de temps" saint-galloise mentionnée précédemment a été dispensée d'imposition sur le revenu au motif que l'opération serait trop compliquée et coûteuse. Dans le canton de Berne, l'administration fiscale a également dispensé d'impôt la coopérative EWG; telle était du moins la situation à l'été 2017.

Il faudra observer si d'autres cantons suivent les exemples de St-Gall et de Berne.

S'il devait y avoir des décisions contraires ou des complications, une des possibilités consisterait à faire de l'échange d'heures de travail une activité volontaire. Les heures effectuées sur d'autres chantiers que le sien propre ne seraient alors plus un revenu potentiellement imposable, car elles n'auraient plus de valeur de crédit d'heures (voir au chapitre 2.5 le modèle d'association d'autoconstruction). Le fonctionnement à grande échelle selon ce modèle paraît toutefois problématique.

Les heures de travail échangées ne sont pas automatiquement libérées de l'impôt sur le revenu et des contributions sociales. Les administrations fiscales et caisses de compensation cantonales sont les seules instances à même de donner une réponse claire.

2.6.3 La taxe à la valeur ajoutée (TVA)

Comme pour l'AVS, la TVA n'est applicable qu'à partir d'un chiffre d'affaires annuel minimal; pour la TVA il est de CHF 100'000.-.

La TVA peut être due sous deux aspects:

Assujettissement de l'organisation d'autoconstruction

Si l'organisation d'autoconstruction gère un nombre considérable de constructions, le matériel à lui seul représente un montant de plus de CHF 100'000.- par an (p.ex.: 20 installations à CHF 5'000.- de matériel). L'organisation sera de ce fait assujéti à la TVA. Il ne s'agit pas d'un problème en soi, car le montant de la TVA est récupéré en

facturant le matériel dont le coût intrinsèque n'est donc pas augmenté. Si l'organisation propose d'une part l'échange d'heures de travail en autoconstruction et le matériel d'autre part ces deux prestations sont soumises à la TVA, de même que les heures fournies par les co-constructeurs. Le fait qu'il ne s'agisse d'un crédit d'heures et non de paiement en liquide ne joue cependant aucun rôle du point de vue de la TVA. Dans le cas de la Coopérative pour la transition énergétique de Winterthour, l'Administration fédérale des contributions a considéré ces heures comme un "troc" ajouté au chiffre d'affaires soumis à la TVA et évalué à CHF 30.- l'heure, soit le prix de référence pour le salaire horaire payé aux autoconstructeurs. A relever que les heures que le maître de l'ouvrage effectue sur son propre chantier ne sont pas prises en compte puisque ces heures ne sont pas gérées par l'organisation. VESE a mandaté les experts indépendants de *BCS Steuerexperten* pour une analyse de cette problématique; il en résulte que l'appréciation faite par l'AFC est juste du point de vue juridique et qu'elle n'est pas attaquable. Les experts précisent toutefois que dans le cas de modèles d'organisation alternatifs l'assujettissement à la TVA peut être évité le cas échéant.

La perte financière ainsi subie par l'organisation n'est pas chiffrable. Si l'on admet que pour chaque kW_c installé il faut huit heures de travail, dont deux sont fournies par le maître de l'ouvrage, il faudrait compter six heures à CHF 30.-, soit CHF 180.- par kW_c, ce qui représente CHF 14.- de TVA par kW_c (au taux de 7,7 %). En d'autres termes, CHF 140.- environ pour une installation de 10 kW_c, soit 1 à 2 % de coût supplémentaire. L'attractivité du système d'autoconstruction n'est donc pas grandement impactée du fait de l'assujettissement des heures de travail à la TVA.

- **L'argument du montant de faible importance ne compte pas dans le cas de la TVA. Dès que le chiffre d'affaires annuel franchit la limite des CHF 100'000.- toutes les ventes et prestations sont en principe imposables. La question déterminante consiste alors à savoir si les heures échangées et non-payées sont soumises à la TVA. Tout semble indiquer que ce soit effectivement le cas.**
- **Les heures de travail échangées qui sont fournies avec l'installation font partie du chiffre d'affaires de la coopérative et comptabilisées au prix de CHF 30.- l'heure.**
- **Les heures que le maître de l'ouvrage fournit sur sa propre installation ne sont pas comptabilisées dans le chiffre d'affaires de l'organisation et ne sont de ce fait pas soumises à la TVA.**
- **Des modèles d'organisation alternatifs dans lesquels l'échange d'heures de travail ne se fait pas par l'intermédiaire de l'organisation mais directement entre les personnes concernées permettent d'éviter la TVA; il en va de même si la compensation d'heures est faite sur une base purement volontaire (voir chapitre 2.5).**

Assujettissement des co-constructeurs

Si l'autoconstructeur est déjà soumis à la TVA parce qu'il est entrepreneur et si son activité professionnelle est dans un domaine proche du montage d'installations solaires, les heures de travail échangées pourraient faire partie du chiffre d'affaires soumis à la TVA. Ce cas de figure sera très probablement une rare exception. Il appartiendra à l'autoconstructeur soumis au paiement de la TVA par ailleurs de décider si ces heures doivent être déclarées comme chiffre d'affaires ou non.

2.6.4 L'assurance-accidents (AAP – AANP)

La question de l'assurance-accidents dépend également du type d'organisation d'autoconstruction. Selon l'expert M. Edelmann, il y a une relation d'employeur à employé entre les coopératives (EWG de Spiez et de Winterthour) et les co-construteurs. Cela implique une conséquence directe au niveau de l'assurance-accidents, car on ne peut plus compter sur l'assurance-accidents non professionnels (AANP) des co-construteurs qui doivent donc être assurés pour les accidents professionnels en tant qu'employés de la coopérative, même s'ils ne perçoivent qu'un crédit d'heures de travail en guise de salaire.

Selon l'art. 73 de la Loi sur l'assurance-accidents (LAA) les entreprises du secteur de la construction doivent obligatoirement être assurées auprès de la Caisse nationale d'assurance-accidents (SUVA). Les coopératives étant déjà assurées pour leurs employés, les heures de travail échangées peuvent être déclarées dans les décomptes annuels sous la rubrique des salaires non soumis à l'AVS. La norme des CHF 30.- par heure va également servir de base dans ce décompte. L'expertise (R. Ursenbacher) sollicitée par VESE recommande vivement cette déclaration afin de prévenir toute absence de couverture en cas d'accident.

Pour la coopérative EWG, sise dans le canton de Berne, le coût engendré par la déclaration de ces salaires supplémentaires représente en 2017 1,76 % de la masse salariale. Pour une installation de 10 kW_c et CHF 1'800.- de main d'œuvre (60 h à CHF 30.-), les 1,76 % de frais d'assurance-accidents représentent CHF 32.- de coût supplémentaire²¹. Ces coûts sont faibles par rapport à l'excellente couverture offerte par la SUVA.

L'assurance du maître de l'ouvrage qui travaille sur sa propre installation est une autre question. Selon l'expertise Edelmann, son statut n'est pas très clair. D'une part, il travaille sur son propre chantier en sa qualité de propriétaire et d'autre part, il effectue des travaux en suivant les instructions du planificateur, ce qui risque de le faire passer au statut d'employé. Pour sa couverture en cas d'accident, il est sans doute préférable qu'il n'accepte aucune instruction de la part du planificateur, mais des conseils et qu'ensuite il effectue son travail sous sa propre responsabilité. Il exerce ainsi une activité de loisirs et il est couvert par son assurance-accidents non professionnels (AANP).

Il faut dans tous les cas vérifier si les planificateurs exerçant au titre d'indépendants n'ont pas omis leur propre assurance-accidents parce que les indépendants ne sont pas obligatoirement assurés pour les cas d'accidents professionnels, les frais de guérison devant être couverts par la caisse maladie. Par ailleurs, le planificateur indépendant peut, s'il le souhaite, conclure une assurance contre la perte de gain.

L'assurance-accidents dans le modèle EWG

- **Il est vivement recommandé que la coopérative déclare auprès de la SUVA les heures de travail échangées en tant que salaires non soumis à l'AVS. Les co-construteurs seront ainsi assurés.**
- **Le travail du maître de l'ouvrage sur son propre chantier est une activité de loisirs couverte en principe par l'assurance-accidents non professionnelle. Il doit en tout**

²¹ Les montants des primes SUVA sont variables et fixées en fonction des activités et de l'historique des accidents de chaque entreprise. Le taux de 1,76 % ne peut donc pas être repris sans autre.

cas vérifier s'il est assuré contre les accidents non professionnels par son employeur ou par sa caisse-maladie.

- **Les planificateurs indépendants doivent également être couverts par une assurance-accidents.**
- **Si elle emploie du personnel, l'organisation d'autoconstruction doit obligatoirement assurer auprès de la SUVA les personnes qui travaillent sur les chantiers et qui perçoivent un salaire.**

Autres modèles d'organisations

Qu'en est-il de l'échange d'heures de travail entre particuliers (dans le modèle "peer-to-peer")?

Dans ce cas, le maître de l'ouvrage est l'employeur car il "engage" et occupe d'autres particuliers comme employés et il les rétribue au moyen de crédits d'heures de travail. Il s'agit d'une situation comparable à celle d'un jardinier par exemple et ce dernier doit absolument être couvert par une assurance-accidents²².

Les employés des secteurs de la construction et du second œuvre sont en principe obligatoirement assurés par la SUVA, mais il y a une exception: les chantiers à caractère unique dépendant d'un employeur et qui nécessitent moins de 500 heures de travail²³ ne peuvent pas être assurés auprès de la SUVA. Cette limite de 500 heures n'est généralement pas atteinte pour des chantiers privés²⁴, d'où la nécessité d'assurer les employés auprès d'une assurance privée selon la LAA.

Mandaté par VESE, Fairsicherung a essayé de trouver un assureur privé qui serait prêt à assurer ce risque. Sur une dizaine d'assureurs contactés, aucun n'était intéressé de proposer une assurance. Ce constat a été présenté à la Caisse supplétive LAA (www.ersatzkasse.ch/fr). Cette caisse a reconnu l'impossibilité d'assurer dans le privé, et a déclaré que les co-constructeurs mandatés par un maître d'ouvrage privé serait dorénavant assuré d'office et gratuitement par elle, pour autant que la valeur des heures travaillées soit en-dessous de CHF 2'300.- par an et co-constructeur. Ceci a été confirmé par écrit à Fairsicherung, qui a par la suite édité une fiche informative «Merkblatt Unfallversicherung und Selbstbau von Solaranlagen» qui résume l'entier de la situation.²⁵

Si mandatés par un maître d'ouvrage privé, des co-constructeurs sont couverts par la Caisse supplétive LAA (www.ersatzkasse.ch/fr), jusqu'à une valeur d'heures maximale de CHF 2'300.- par personne (ce qui correspond à 75 heures aux environs). Cette couverture est gratuite. Uniquement en cas d'accident, des primes seront dues.

²² Au cas où le collaborateur serait déjà employé ailleurs pour au moins 8 heures hebdomadaires, il serait aussi couvert pour les accidents non professionnels. Cette assurance couvre en principe toutes les activités hors du contexte professionnel, même dans le cas de travaux rémunérés sur un chantier privé. Dans ce cas, il est toutefois recommandé que l'employeur annonce cette activité pour ne pas créer, en cas d'accident, une situation de conflit qui serait presque inévitable (voir aussi le chapitre 2.6.5, devoir de fidélité).

²³ LAA, art. 66, al. 6d et OAA art.89

²⁴ 500 heures correspondent à une installation de 83 kW_c environ (500 h divisées par 6 h par kW_c), ce qui représente une taille supérieure aux habituelles installations en autoconstruction.

²⁵ Disponible sur www.vese.ch/selbstbau

Qu'en est-il de l'association d'autoconstruction où les co-constructeurs fournissent un travail de volontaire, non rétribué?

Curieusement, la question de l'assurance-accidents est plus simple à résoudre lorsqu'il s'agit d'un travail rémunéré que pour le volontariat. On pense premier lieu que l'assurance-accidents non professionnelle (AANP) s'applique pour le travail non rémunéré, mais on ne peut cependant pas exclure le risque que l'AANP ne paie pas en justifiant sa décision par le fait qu'il y a quand-même une rémunération cachée ou l'attente d'une contre-prestation.

La couverture des cas d'accidents des collaborateurs volontaires, qui travaillent sans aucune contre-prestation contractuelle sur un chantier d'autoconstruction : ils sont couverts par leur assurance-accidents non professionnelle AANP.

Que se passe-t-il si un accident survient et qu'il n'y a pas de couverture?

Il y a deux cas de figure. Si la personne accidentée, en tant qu'employé, était sur le chantier ou en route pour se rendre sur le chantier, c'est la Caisse supplétive LAA (www.ersatzkasse.ch/fr/) qui prend le cas en charge. La caisse paye les frais, mais elle se retourne ensuite contre l'éventuel employeur défaillant, qui devra supporter les primes spéciales (rétroactives et pénalités).

Si l'accident est survenu durant les loisirs de l'accidenté, les frais sont supportés par l'AANP ou la caisse maladie pour les personnes sans activité professionnelle (étudiant, rentier, ...).

2.6.5 Autres obligations de l'employeur

Nous avons vu que dans le modèle EWG tout comme dans le modèle peer-to-peer, l'autoconstructeur œuvrant sur un chantier autre que le sien est considéré comme un employé. Si l'autoconstructeur est en même temps employé dans une autre entreprise, il y a une relation juridique entre son activité d'autoconstructeur et son activité principale chez son employeur habituel. L'employé a un devoir de fidélité; dans sa nouvelle activité, l'autoconstructeur ne doit causer aucun préjudice à son employeur habituel.

Dans l'autoconstruction, nous serions en présence d'un cas de concurrence à l'employeur habituel, si par exemple le co-constructeur était en même temps l'employé d'une entreprise réalisant des installations solaires. La seule possibilité pour l'autoconstructeur consisterait à obtenir le consentement de son employeur régulier.

Si le co-constructeur devait systématiquement et de manière répétée dépasser le nombre d'heures hebdomadaires conventionnel ou s'il devait contrevenir à d'autres prescriptions du droit du travail, cela constituerait également une entrave au devoir de fidélité. L'employeur régulier serait lésé du fait que le participant à l'autoconstruction ne serait plus à même de fournir la prestation attendue. Comme toutefois l'autoconstruction est en règle générale une activité ponctuelle limitée dans le temps, on peut admettre que ce point ne présente pas de risque de conflit, à moins que l'autoconstructeur ne se comporte vraiment de manière trop maladroite envers son employeur.

Si par contre, plutôt que d'y consacrer ses loisirs (soirées, fins de semaine), l'autoconstructeur devait travailler sur le chantier pendant ses vacances, nous serions en présence d'un cas de conflit typique. Les vacances, durant lesquelles l'employé perçoit son salaire, sont des périodes à consacrer au repos, à la récupération. Un travail

rémunéré ne correspond pas à cet objectif et il ne peut pas être envisagé sans l'accord de l'employeur, au risque de rompre le devoir de fidélité. En situation extrême, l'employeur pourrait même exiger le remboursement du salaire perçu pendant les vacances. On peut toutefois considérer que le potentiel de conflit est peu important, mais le cas échéant il est en tout cas conseillé d'informer son employeur d'un projet d'autoconstruction durant les vacances. Par ailleurs, il n'est sans doute pas judicieux qu'un employé surmené ou même au bord de l'épuisement envisage de consacrer ses vacances à un projet d'autoconstruction.

Restrictions pour les personnes salariées (principes fondamentaux)

- **Le projet d'autoconstruction ne doit pas entraver la relation avec l'employeur habituel.**
- **Il ne doit pas péjorer les prestations de l'employé dans son travail habituel.**
- **L'employé n'a pas le droit de concurrencer son employeur.**
- **L'employeur doit donner son accord pour un travail rémunéré pendant les vacances.**

2.6.6 Tableau récapitulatif

Type d'organisation	Modèle de l'EWG	Echange direct d'heures de travail entre les autoconstructeurs (peer-to-peer)	Volontariat dans une association
Employeur (celui qui engage les co-constructeurs, qui les rémunère et qui donne les instructions)	La coopérative	Le maître de l'ouvrage	L'association gère les engagements non rémunérés, mais elle veille à ne pas être l'employeur
L'employé (rémunéré sous forme de crédit d'heures de travail)	Les co-constructeurs	Les co-constructeurs	Pas de norme par rapport à ce cas
Prélèvement des cotisations AVS sur les heures de travail par l'employeur	Non, si le nombre d'heures de travail échangées et payées reste inférieur à 75 heures par an et par co-constructeur	Non, si le nombre d'heures de travail échangées et payées reste inférieur à 75 heures par an et par co-constructeur et pour le maître de l'ouvrage (*)	Non
Certificat de salaire et imposition des heures de travail échangées en tant que revenu	En principe oui, mais imposition peu probable parce qu'il s'agit d'un montant minime	En principe oui, mais imposition peu probable parce qu'il s'agit d'un montant minime	Non
Assurance-accidents	SUVA, aussi pour les heures de travail échangées et non rémunérées	Caisse supplétive LAA (www.ersatzkasse.ch/fr), jusqu'à une valeur d'heures maximale de CHF 2'300.- par pers.	Activité associative non rémunérée qui est couverte par l'AANP
Assujettissement des heures de travail échangées à la TAV	Oui, pour autant que le chiffre d'affaires dépasse CHF 100'000.-	Non, à moins que le co-constructeur soit lui-même assujetti comme entrepreneur, indépendant, etc.	Non
Influence sur le devoir de fidélité envers l'employeur	Oui	Oui	Non

(*) Les 75 heures correspondent à la franchise AVS de CHF 2'300.- par an en admettant un salaire horaire de CHF 30.-.

2.7 Les obligations de l'organisation d'autoconstruction

Qu'elle soit une association ou une coopérative ou structurée d'une autre manière, l'organisation d'autoconstruction est juridiquement une personne morale et elle agit en tant que telle. Les points suivants sont importants du point de vue pratique:

Statuts. Les statuts sont contraignants pour le fonctionnement de l'organisation. Ils doivent être approuvés par l'assemblée générale, datés et signés.

Registre du commerce. Les coopératives doivent être inscrites au Registre du commerce (les frais, uniques, sont de CHF 500.- à 1'000.- selon les cantons). La fondation fait l'objet d'une publication dans la Feuille officielle suisse du commerce et la coopérative se voit attribuer un numéro IDE de la Confédération. Pour les associations, l'inscription au Registre du commerce est facultative.

Responsabilité. L'organisation est responsable à hauteur de sa propre fortune. Selon les circonstances, ses organes (membres de l'administration) peuvent également être rendus responsables sur leur fortune personnelle; ce n'est toutefois pas le cas pour les membres ordinaires (membres de l'association, coopérateurs ou actionnaires). Il n'y a pas de distinction entre l'association, la coopérative ou la société anonyme sur ce point. (Pour l'assurance en responsabilité civile voir les chapitres 2.9.4 et 3.1.2)

Comptabilité. Une personne morale a l'obligation de tenir une comptabilité commerciale en bonne et due forme; cela inclut l'obligation de conserver les pièces justificatives et tous documents durant dix ans. Les statuts précisent le cas échéant le type de révision. A titre d'exemple on trouvera dans la version allemande de ce manuel le rapport et le bilan annuels de la coopérative EWG (chapitre 4).

Imposition du bénéfice et de la fortune commerciale. Les coopératives et les associations doivent remplir des déclarations d'impôt pour les autorités cantonales et fédérales. Si le résultat annuel de l'organisation présente un bénéfice, ce dernier est imposable. Il y a cependant différents montants déductibles, tels que les cotisations des membres de l'association par exemple.

Taxe sur la valeur ajoutée. Dès que le chiffre d'affaires annuel dépasse CHF 100'000.- l'organisation est assujettie au paiement de la TVA. Si par exemple l'achat de matériel est effectué par l'intermédiaire de l'organisation et que l'on équipe des toits pour 100 kW_c, soit 10 à 20 installations par année, les CHF 100'000.- seront atteints et la TVA doit d'emblée être prévue.

Devoirs de l'employeur. Dès qu'il y a paiement de salaires, divers devoirs incombent à l'employeur:

- Assurance-accidents. Si les salaires ne concernent pas que l'administration mais aussi les monteurs d'installations photovoltaïques, l'organisation doit conclure une assurance-accidents auprès de la SUVA²⁶.
- Sur la base de la part représentée par les travaux de montage, la SUVA détermine et communique à l'organisation un montant global de salaires et une classe de risques. Si seuls des postes administratifs et de planification doivent être pris en compte, l'assurance-accidents peut aussi être conclue auprès d'une compagnie privée.

²⁶ L'assurance auprès de la SUVA est obligatoire pour toutes les entreprises du secteur du bâtiment et du second œuvre.

- Annonce à la Caisse cantonale de compensation AVS et paiement des contributions sociales (AVS/AI, AC, etc.).
- A partir d'un revenu annuel de CHF 21'150.- les employés doivent être affiliés à une caisse de pensions (2^e pilier).
- En vertu de l'Arrêté du Conseil fédéral du 01 janvier 2014, tous les travailleurs dans le domaine du montage des installations solaires doivent être au bénéfice de la CCT de la branche suisse des techniques du bâtiment. Le but de la CCT est d'assurer un standard minimal pour tous les employés de la branche. Il s'agit notamment d'éviter que des entreprises étrangères soient actives en Suisse à des prix de dumping. Selon la CCT, le salaire horaire minimal pour des monteurs sans formation était en 2017 de CHF 20,48 et de CHF 27,12 pour des monteurs au bénéfice d'une formation et de cinq ans d'expérience. Si l'organisation d'autoconstruction verse ces salaires, elle répond déjà à l'un des points essentiels de la CCT. La convention comprend encore de nombreuses clauses supplémentaires qui vont au-delà des minimas imposés par le Code des obligations. Si une organisation (entreprise, coopérative, association) est partie prenante à la CCT, elle doit verser des contributions mensuelles obligatoires par entreprise et par collaborateur et un montant de CHF 10'000.- doit être déposé au titre de caution. Pour l'instant, il n'est toutefois pas clair si et dans quelle mesure les organisations d'autoconstruction et les autoconstructeurs qui ne travaillent que dans un contexte limité, à temps partiel, et souvent sur des chantiers uniques, doivent verser une caution et des cotisations en vertu de la Loi²⁷. Si l'organisation d'autoconstruction devient membre de Swissolar, la caution et les contributions de l'employeur à la CCT seront versées par Swissolar.
- **Contrats de travail.** Il n'y a pas d'obligation légale de signer un contrat de travail; sans contrat de travail, les dispositions du Code des obligations sont applicables.
- **Certificats de salaire.** En fin d'année, il faut établir un certificat de salaire pour chaque employé auquel un salaire a été versé. A défaut, l'organisation peut être accusée de fraude fiscale.
- **Employés étrangers.** Si ces derniers n'ont pas de permis de séjour des prescriptions particulières sont applicables (permis de travail, impôt à la source, etc.). (Voir à ce sujet l'expertise Edelmann.)

Lorsque des **mandats sont confiés à des indépendants**, il faut toujours vérifier si ces derniers ont effectivement un statut d'indépendant pour l'AVS (il faut demander une copie de la décision de l'agence AVS). Même en présence de cette décision il y a

²⁷ Selon un Arrêté fédéral, des contributions obligatoires aux frais d'exécution et de formation doivent être versés à la Commission paritaire nationale (CPN). Il s'agit pour les entreprises d'un montant de base de CHF 20.- par mois, de CHF 25.- par employé et par mois et pour les salariés également de CHF 25.- par mois. De plus, une caution unique de CHF 10'000.- doit être déposée; son remboursement peut être exigible. La difficulté pour les organisations d'autoconstruction est que les planificateurs salariés et les autoconstructeurs qui fournissent des heures de travail complémentaires ne sont en général actifs que durant quelques heures par an (40 heures échangées ou 5 jours par an correspondent à 2,5 % d'EPT et ces heures sont le plus souvent réparties sur plusieurs mois. Une charge de 2 fois CHF 25.- par mois et par employé serait alors totalement disproportionnée. L'art. 20.6 de la CCT prévoit quand même une libération des cotisations pour un emploi à temps partiel de moins de 40 %. Cet article n'a toutefois pas été déclaré contraignant par le Conseil fédéral; la question reste donc en suspens. On ne sait pas si employeur et employé doivent réellement verser CHF 25.- par mois chacun pour ces travaux occasionnels représentant un volume quasi insignifiant.

un risque que le statut d'indépendant ne soit que fictif, si des mandats sont confiés régulièrement et sur une longue période. En cas de doute, il vaut mieux procéder à un engagement. Les remboursements de frais aux membres de la direction et autres membres de l'organisation ne sont pas considérés comme des salaires.

Les remboursements de frais aux administrateurs et membres de l'organisation ne sont pas considérés comme des salaires.

Du point de vue de la loi, l'organisation d'autoconstruction a les mêmes droits et devoirs que toute autre entreprise.

Font partie de ses devoirs:

- **L'inscription au Registre du commerce pour les coopératives ou associations réalisant un chiffre d'affaires annuel supérieur à CHF 100'000.- (art. 61 CC).**
- **L'obligation de tenir une comptabilité.**
- **L'assujettissement à la TVA à partir de CHF 100'000.- de chiffre d'affaires annuel.**
- **Obligations en tant qu'employeur: assurance-accidents, contributions aux assurances sociales, certificats de salaire.**

Le Conseil fédéral a approuvé un Contrat collectif de travail (CCT) contraignant pour le secteur du montage d'installations solaires. Une organisation occupant des employés ou des co-constructeurs effectuant des heures de travail à échanger et qui travaillent au montage des installations est, de fait, soumise à cette CCT.

2.8 Le rôle, les droits et les devoirs du maître de l'ouvrage

Comme pour n'importe quel autre chantier, c'est le maître de l'ouvrage qui décide de la commande et du montage d'une nouvelle installation photovoltaïque. Il en va de même pour l'autoconstruction, sauf que le maître de l'ouvrage est en général aussi actif sur le chantier. Cette situation présente des avantages et des inconvénients.

- **Avantage:** en cas d'imprévu des décisions peuvent être prises rapidement.
- **Inconvénient:** deux décideurs sont présents sur le chantier, le chef des travaux, du côté de l'organisation d'autoconstruction et le maître de l'ouvrage en sa qualité de commanditaire.

Il faut donc établir des règles claires avant le début du chantier pour faire face à d'éventuels imprévus.

Par ailleurs, les droits et devoirs du maître de l'ouvrage sont définis dans le droit de la construction, le droit des mandats et le droit des contrats d'entreprise. Bien que ces droits et devoirs ne soient pas précisés aussi clairement que les tâches des planificateurs et des employés, ils découlent quand même de l'interaction de toutes les parties prenantes. La règle fondamentale est la suivante: *Toutes les parties se trouvent du même côté, poursuivent le même but, à savoir la construction irréprochable d'une installation photovoltaïque fonctionnant parfaitement.*

Les devoirs²⁸

"Les devoirs de diligence, de protection, d'information et de conseil font notamment partie des prestations que doit fournir le maître de l'ouvrage (description de la prestation à fournir, définition de l'objectif, etc.). Dans le domaine de la planification, le planificateur doit savoir exactement quelles sont les prestations attendues de la part du mandant, ou les prestations qu'il est en droit d'attendre. Si le descriptif des prestations fourni par le mandant est incomplet le mandataire ne peut pas fournir correctement la prestation attendue..."

Dans le cas de l'autoconstruction d'une installation photovoltaïque le maître de l'ouvrage doit donner les précisions suivantes:

- Quelle est la puissance à produire (en kW_c)?
- Quelle est la surface disponible?
- Quel type de modules choisir?
- Quel type d'onduleur(s) choisir?
- Quel sera l'emplacement des onduleurs?
- Où et comment sera posée la ligne amenant le courant aux onduleurs?
- Quelles sont les entreprises tierces à engager (échafaudage, électricien, etc.)?

Il va de soi que le maître de l'ouvrage ne peut et ne doit pas prendre ces décisions seul. L'organisation d'autoconstruction et le planificateur lui apportent leur soutien.

"Il n'est pas rare que des dépassements de délais et de coûts interviennent à la suite des décisions ou du comportement du maître de l'ouvrage ou de tiers. Les planificateurs ont alors généralement à supporter les conséquences du retard; sous la pression du maître de l'ouvrage ils doivent s'efforcer de remplir correctement leur mandat dans un délai restreint. Le maître de l'ouvrage doit donc éviter toute décision qui aurait pour conséquence une exécution incomplète ou du retard dans l'activité du planificateur, ou encore qui pourrait entraîner une faute de ce dernier. Il pourrait s'agir par exemple d'une organisation déficiente ou de pressions pour obtenir des prix plus favorables sur le matériel, etc."

Il est rare que de tels incidents surviennent dans le cadre de l'autoconstruction. Mais si une installation devait être soumise à autorisation (voir chapitre 3.5) il faut tenir compte d'un délai pour la procédure d'autorisation dans la planification globale. Nous conseillons d'entrer en contact avec l'autorité en charge des constructions avant de transmettre une requête pour l'autorisation de construire.

*"Le contrat de planification repose sur le principe de confiance entre les parties. Cela présuppose que les parties se respectent et agissent en toute loyauté les unes envers les autres."*²⁹

Les relations respectueuses font partie des principes de base sur le chantier. Le cas échéant, maître de l'ouvrage et la direction des travaux doivent intervenir pour régler des situations conflictuelles.

²⁸ Source: "Les devoirs contractuels du maître de l'ouvrage", Dr Mario Marti / MLaw Marlies Blees, avocats, Etude Kellerhals, Berne

²⁹ Quinto/Maffioletti/Ess, in „Handbuch zum Bauwesen“, Kurer/Quinto/Maffioletti [Edit.], pg. 85

Les droits

Les droits du maître de l'ouvrage prennent tout leur sens si des défauts apparaissent ou si le budget n'est pas respecté.

L'objectif final est évidemment de livrer une installation n'affichant aucun défaut. Mais des erreurs peuvent quand même survenir sur n'importe quel chantier et le maître de l'ouvrage a le droit de signaler des défauts et d'exiger la remise en état.

Les droits fondamentaux du maître de l'ouvrage sont:

- les retouches (remise en état immédiate);
- le rabais (sur le montant facturé, opération difficile en autoconstruction car le prix du matériel est dû quoi qu'il en soit et seul le nombre d'heures facturées pourrait être réduit);
- la réhabilitation (démontage et retour de toute l'installation; ne peut être envisagé qu'après avoir vainement accordé un délai suffisant pour les retouches);
- le respect des coûts annoncés (pour une prestation offerte dans un cadre donné).
- Comme nos installations ne sont pas couvertes par un contrat d'entreprise selon la norme SIA 118, le maître de l'ouvrage doit annoncer les défauts immédiatement après l'achèvement de la construction, sous peine de ne plus pouvoir faire valoir son droit aux retouches.

Dans le système d'autoconstruction, le maître de l'ouvrage a également des droits et devoirs.

Les devoirs

- **La définition exacte de la taille, du type et de l'emplacement de l'installation.**
- **Le choix de toutes les entreprises impliquées (en plus du groupe d'autoconstruction).**
- **La décision quant aux délais.**
- **L'organisation du chantier (sécurisation, relations entre les participants).**

Les droits

- **Le droit d'obtenir une installation impeccable.**
- **Retouches, remédiation aux défauts (si nécessaire).**
- **Respect du budget.**

2.9 Les planificateurs ou chefs de chantier

2.9.1 Définition

La Coopérative pour la transition énergétique, qui a servi de modèle pour ce manuel, a créé le rôle du "planificateur". Ce rôle n'implique pas seulement la planification de l'installation, le planificateur peut aussi coordonner, initier et contrôler les travaux sur le chantier. Il n'est donc pas que le planificateur du solaire, il est aussi chef de chantier. Dans ce manuel et à défaut d'une désignation plus précise, nous utilisons également le nom de "planificateur" lorsqu'il s'agit du chef de chantier.

2.9.2 La gestion et la formation des planificateurs ou chefs de chantiers

Les planificateurs ou chefs de chantiers jouent un rôle clé dans le système d'autoconstruction. Tant lors de la planification que dans les instructions données aux autoconstructeurs pour le montage; la qualité et le succès dépendent grandement de ce rôle.

L'organisation d'autoconstruction doit donc porter toute son attention sur le choix et la formation du planificateur.

Le succès de l'autoconstruction repose à 95 % sur le planificateur, le seul professionnel sur le chantier.

C'est surtout dans sa phase initiale que l'organisation d'autoconstruction doit se soucier de trouver un nombre suffisant de planificateurs pour pouvoir démarrer son activité.

Une bonne formation de base, de solides notions théoriques et pratiques sont indispensables. La formation théorique peut être acquise à l'interne ou lors de cours, organisés par Swissolar par exemple. C'est toutefois la pratique qui est déterminante; avant de pouvoir travailler de manière autonome, les nouveaux planificateurs doivent avoir la possibilité d'acquérir de l'expérience sous le regard de collègues expérimentés. Dans cette perspective, les nouvelles organisations d'autoconstruction pourraient collaborer avec des organisations existantes.

Les planificateurs, qui assurent en principe seuls la conduite du chantier jusqu'à la fin de l'installation, doivent pouvoir compter sur l'appui de spécialistes dès que survient un problème; ils doivent être à même de réagir rapidement et sans complications administratives. Ces connaissances spécifiques peuvent être communiquées par une personne expérimentée au sein de l'organisation, des fournisseurs ou une entreprise spécialisée dans le solaire et associée à l'organisation.

La formation continue des planificateurs est importante également. La technique et les prescriptions légales évoluent d'année en année. En veillant à des réunions régulières des planificateurs et à leur formation continue, l'organisation d'autoconstruction assure des prestations optimales dans la durée.

2.9.3 Pour devenir planificateur

Toute personne motivée, disposant d'une certaine compréhension de la technique, peut en principe devenir planificateur. Si cette personne a achevé une première formation on admet qu'elle connaît le monde du travail, les questions liées à l'orga-

nisation et aux normes de qualité. Une formation de base dans le domaine de l'électricité n'est pas indispensable, la flexibilité et la disponibilité sont par contre des critères importants. Le planificateur ne devrait pas être occupé à plus de 80 % ailleurs, car il ne serait alors pratiquement plus possible de planifier sérieusement les projets et de conduire correctement les chantiers. Des personnes qui exercent une profession à plus de 80 % ne devraient donc pas être prises en considération. Sur l'ensemble de l'année, le planificateur devrait compter sur une occupation à 20 % pour la planification d'installations photovoltaïques tout en ayant une certaine liberté dans la répartition de son temps de travail sur l'année.

Il est aussi important que le planificateur soit le plus flexible possible quant à sa disponibilité. Dès qu'un projet est lancé, il doit être en mesure de prendre en charge le chantier, de donner des instructions aux autoconstructeurs, de diriger les travaux et d'en contrôler l'avancement. Il doit donc être disponible les jours de chantier, généralement du lundi au samedi. Il n'est pas rare que des retards soient dus aux conditions météorologiques et pour fixer des délais il faut en principe s'en remettre aux désirs du client. Le planificateur doit donc disposer d'une certaine flexibilité dans son activité principale.

Le planificateur ou chef de chantier doit...

- ... être très motivé pour l'autoconstruction,
- ... comprendre la technique,
- ... avoir accompli une première formation professionnelle,
- ... avoir accompli une formation de planificateur, notamment du point de vue pratique,
- ... être très flexible pour assurer la direction du chantier en cours de semaine et le samedi,
- ... ne pas dépasser un taux d'occupation de 80 % pour son activité principale,
- ... assurer un taux d'occupation de 20 % pour son travail de planificateur.

2.9.4 Le statut et les devoirs du planificateur indépendant

Un planificateur indépendant peut constituer une entreprise individuelle, une personne morale (Sàrl, S.A., etc.). Il doit alors respecter les obligations en conséquence.

Le planificateur indépendant assure pour lui-même la responsabilité pour

- être couvert par une assurance-accidents;
- les assurances sociales (AVS/AI, maladie);
- l'assurance en responsabilité civile, et à ce sujet il est important que l'organisation d'autoconstruction vérifie et obtienne la certification que le planificateur dispose d'une couverture RC correcte avant de lui confier le contrat;
- la comptabilité, les impôts, la TVA.

Deux questions importantes se posent quant à la collaboration entre le planificateur et l'organisation d'autoconstruction.

- Le planificateur a-t-il vraiment le statut d'indépendant?
- Son activité de planificateur pour l'organisation est-elle reconnue en tant qu'activité indépendante?

Quant à la première question, pour être reconnu comme indépendant le planificateur doit être reconnu comme tel par la caisse AVS de son canton de résidence. S'il

s'agit d'une Sàrl ou d'une S.A., cette question ne se pose pas. Si, comme dans le modèle EWG, le planificateur est dans chaque cas directement mandaté et payé par le maître de l'ouvrage, il remplit les conditions pour agir en tant qu'indépendant.

Pour la deuxième question, si un indépendant, même reconnu comme tel par la caisse AVS, est régulièrement mandaté, on peut éventuellement être en présence d'une pseudo-indépendance. Le mandant doit alors renoncer à confier des mandats et engager la personne en question. Comme dans le cas précédent, la question ne se pose pas s'il s'agit d'une Sàrl ou d'une S.A.

- **Planificateurs indépendants. Ils doivent être rendus attentifs aux dispositions spéciales s'appliquant aux indépendants.**
- **Les points importants sont l'affiliation à l'AVS, l'assurance-accidents et l'assurance en responsabilité civile.**

2.9.5 La formation de planificateur solaire de la Coopérative pour la transition énergétique

La Coopérative EWG a mis sur pied son propre système de formation. Toute personne qui souhaite devenir planificateur d'installations solaires pour cette coopérative doit passer par la formation donnée à l'interne. Les personnes qui ont déjà effectué des travaux dans ce domaine peuvent, après discussion avec le directeur de la coopérative, suivre un cycle fortement restreint.

Etant donné que la formation officielle de planificateur d'installation solaire n'existe pas, la Coopérative EWG a développé son propre concept de formation qui se déroule sur 200 heures environ. Une partie théorique de 14 heures permet d'acquérir les principales bases théoriques. Puis vient une phase pratique de deux jours au cours desquels on apprend les premiers travaux pratiques. Le reste de la formation se fait selon le principe du "learning by doing". Au cours des trois premiers projets, on est suivi pas à pas par un planificateur EWG expérimenté.

Pour les futurs planificateurs, la formation donnée par la Coopérative EWG est gratuite, mais le forfait de planificateur qui est dû pour les trois chantiers accompagnés revient à la Coopérative. Le nouveau planificateur travaille donc gratuitement sur ces trois chantiers de formation pratique.

Durée globale de la formation:

- Cours théorique (14 h) + partie pratique (15 h), avec documentation
- 6 à 8 séances de premiers conseils (dont 3 séances accompagnées), (16 h)
- Planification complète de 3 projets (accompagné), (75 h)
- Conduite complète de 3 chantiers (accompagné), (60 h)
- Connexion internet et smart home de 3 projets (25 h)

La Coopérative EWG donne régulièrement des cours théoriques³⁰. Swissolar offre également, sur deux jours, un "cours de base sur le courant solaire"³¹.

³⁰ Informations et inscriptions sur info@e-wende.ch

³¹ www.swissolar.ch/fuer-fachleute/bildung/swissolar-solarstrom-kurse

2.9.6 Contenu du cours théorique

Première partie: Aperçu de l'évolution du marché des technologies

- Aperçu du développement antérieur, actuel et futur du photovoltaïque
- La technologie
- Les degrés d'efficacité
- Les prix
- Les rétributions, et subventions
- Aperçu des différentes technologies

Deuxième partie: composants et fonctionnement

- Composition d'une cellule et d'un module photovoltaïques
- Comment le module est-il produit?
- Comment le module fonctionne-t-il? Comment la lumière est-elle transformée en courant électrique?
- Quel est le degré d'efficacité théorique maximal? Pourquoi?
- Conception et principe de fonctionnement d'un onduleur
- Comment le courant continu est-il transformé en courant alternatif? Qu'est-ce que le courant continu et le courant alternatif?

Troisième partie: détails d'un projet, calculs, planification

- Calcul du rendement, de la puissance, du prix et des subventions ou rétributions
- Le déploiement d'une installation solaire
- A quoi faut-il être attentif lors de la planification? (orientation, ombres projetées, etc.)
- L'interconnexion des modules
- Les systèmes de montage
- Quels sont les travaux administratifs à accomplir (formulaires à remplir)?

Quatrième partie: ombres projetées, température et rayonnement

- Effets de l'ombre et de l'ombrage partiel
- Que se passe-t-il exactement dans les chaînes, les modules et les onduleurs
- Comment cela influence-t-il la puissance?
- Quelles sont les solutions alternatives?
- Comment les modules réagissent-ils aux différences de température et de rayonnement?

La formation de planificateur ou de chef de chantier (exigences minimales)

- Cours théorique de deux jours environ (16 périodes de 45 minutes)
- Planification et construction de trois installations en suivant les instructions d'un planificateur expérimenté

2.9.7 Le mentorat des autoconstructeurs par le planificateur

Les autoconstructeurs sont en général très motivés et ils travaillent consciencieusement. Le planificateur doit néanmoins prendre très au sérieux son rôle de chef de chantier afin que le travail puisse être accompli de manière efficace et dans une atmosphère agréable, sans stress.

Il est important que le chef de chantier évalue les différents participants afin de les engager au mieux selon leurs compétences. Certains autoconstructeurs ont acquis de l'expérience sur les chantiers précédents et sont donc à même de travailler de manière indépendante. Il faut par contre absolument prendre suffisamment de temps pour instruire et accompagner les nouveaux autoconstructeurs au cours des premières opérations qui leur sont confiées; on évitera ainsi des situations de stress.

Par ailleurs, le planificateur ne doit pas perdre de vue la dynamique du groupe. Il doit notamment veiller à impliquer correctement le maître de l'ouvrage et propriétaire de la maison, ce dernier pouvant au début être inquiet ou destabilisé lorsqu'il voit que des inconnus inexpérimentés commencent à découvrir son toit et qu'avec force bruit et poussière, ils entaillent certaines tuiles.

Partie pratique

3

3.1 Les notions fondamentales concernant le chantier

3.1.1 Sécurisation du chantier, permis de construire et assurances

La sécurisation de la parcelle et du chantier³²

Dès l'acquisition d'une parcelle, le maître de l'ouvrage a l'obligation de veiller à la sécurité de toute personne circulant sur sa parcelle. Durant toute la phase de construction, il doit tout mettre en œuvre pour éviter des dégâts et des situations dangereuses.

Ce devoir d'assurer la sécurité pour tout déplacement peut aussi être reporté sur le chef de chantier ou l'entreprise mandatée par le maître de l'ouvrage. Fondamentalement, c'est le propriétaire qui répond des lésions et dommages touchant des personnes ou des objets s'ils sont survenus sur le chantier et la parcelle. Pour exclure la responsabilité du propriétaire, **il ne suffit pas**, d'apposer par exemple une affiche mentionnant: "**Chantier interdit. Les parents sont responsables de leurs enfants**".

Le maître de l'ouvrage, soit celui qui initie le chantier est donc (co-)responsable pour tous les dommages qui en résultent, également pour les dommages qui touchent son immeuble. Cela ne délie évidemment pas les planificateurs et les coopérateurs de leur devoir de vigilance, mais il est vivement recommandé, notamment pour des installations d'une certaine taille et pour celles qui sont intégrées à la toiture, d'envisager la conclusion d'une assurance couvrant la responsabilité du maître de l'ouvrage.

Annonces et demandes auprès des autorités

Dans la plupart des cas, la pose d'une installation photovoltaïque, ne nécessite pas l'octroi d'une autorisation. Les règles précises à ce sujet sont données au chapitre 3.3.4.

Si une autorisation devait quand même être nécessaire, il appartient au maître de l'ouvrage de procéder à la requête et de gérer avec les autorités compétentes la question des règles à observer et des documents à fournir. Un planificateur de la coopérative, s'il maîtrise les procédures, peut apporter son soutien au propriétaire.

³² <http://www.architektsuche.de/bauherrenreichtpflichten.php#pflichtenwaehrendbau>
(allemand)

3.1.2 Les assurances

Comme nous l'avons vu précédemment, il faut veiller à la couverture des risques par les assurances en fonction de l'importance du projet de construction.

Les assurances suivantes doivent être prises en considération:

Assurance en responsabilité civile du maître de l'ouvrage. Couvre les risques résultant du projet de construction (exemple typique: la tuile tombant du toit).

Assurance de protection juridique. Il faut lire attentivement des conditions générales d'assurances, car les assurances RC ne couvrent pas son propre projet de construction.

Le maître de l'ouvrage a l'obligation de prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter les accidents.

Avant et pendant toute la durée du chantier, le maître de l'ouvrage et/ou le chef de chantier ou planificateur ont l'obligation de prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et la conformité du chantier.

La question des éventuelles autorisations doit être réglée avant le début du chantier. L'autorité compétente doit être informée de l'ouverture du chantier. La date doit correspondre avec la conclusion des assurances nécessaires. Si en cours de chantier on constate que le site est pollué (p. ex.: par de l'amiante), l'autorité compétente doit immédiatement être avertie. Le maître de l'ouvrage doit veiller tout spécialement à la sécurité du trafic, à la prévention des accidents et à la sécurisation du chantier.

3.1.3 La responsabilité du maître de l'ouvrage

"Les chantiers comportent de nombreux dangers. Le maître de l'ouvrage, le planificateur, l'entrepreneur et les travailleurs sont tous responsables ..." ³³



Fig. 10. hausinfo.ch... sécurité sur les chantiers³⁰

³³ <https://www.hausinfo.ch/fr/home/droit/responsabilites-securite/securite-sur-les-chantiers.html>

3.1.4 La sécurité nous concerne toutes et tous

Tous les intervenants doivent être impliqués pour sécuriser le chantier; cela concerne aussi bien les entrepreneurs et planificateurs que les autoconstructeurs. Tous doivent veiller au respect des normes de sécurité. En cas de doute, concernant par exemple la protection contre les chutes, les installations doivent faire l'objet d'une expertise. La sécurité passe avant tout. Hormis le danger de chute, le matériel déposé dans la zone de chantier présente aussi un danger. Il est donc indispensable d'avoir de l'ordre.

3.1.5 Les comportements et équipements adéquats

Avant le début du chantier, tous les autoconstructeurs qui y prendront part doivent être informés des règles de comportement et être équipés correctement. Par comportement adéquat, on entend, p. ex.: le fait de ne pas prendre de risques inutiles, de maîtriser ses déplacements sur le toit, de ne pas laisser traîner des outils, etc.

Pour l'équipement personnel, il faut surtout de bonnes chaussures, des habits adéquats qui ne soient pas flottants (risque de s'accrocher), des gants et, selon le chantier, un casque de protection. Une ceinture porte-outils peut aussi être utile.

Les planificateurs doivent être régulièrement formés quant aux questions relatives à la sécurité. Ce sont eux qui doivent veiller au respect des normes de sécurité par les autoconstructeurs. Si nécessaire, ces derniers doivent être rendus attentifs aux exigences de sécurité et en cas extrême de non respect des normes, l'accès au chantier doit leur être refusé.

3.1.6 La responsabilité du propriétaire en cas de dommage

"Du verglas sur le chemin menant à la maison, une coulée de neige provenant du toit ou une rampe d'escalier mal fixée. Le risque d'accident est faible, mais s'il se produit, cela peut être très grave... et coûteux."



Fig. 11. Risques d'accidents

"(rh) Qui est responsable si un visiteur tombe dans un escalier nettoyé mais encore humide, si le facteur glisse sur le chemin d'accès verglacé menant à votre porte d'entrée ou si la voiture du voisin est ensevelie sous un amas de neige tombé de votre toit? Le Code des obligations répond très clairement à cette question: «Le propriétaire d'un bâtiment ou de tout autre ouvrage répond du dommage causé par des vices de construction ou par le défaut d'entretien.»

Quelques exemples de vices de construction ou de défauts d'entretien:

- marches d'escalier en mauvais état;
- tuiles détachées de la toiture;
- tapis glissants;
- verglas sur les accès à une maison;
- puits, trappes, tranchées et étangs de jardin non sécurisés;
- piscine insuffisamment clôturée."

3.1.7 Le chantier est un cas particulier³⁴

"Le Tribunal fédéral a considéré que des immiscions dues à des travaux de construction dans un secteur densément bâti sont légitimes si elles ne peuvent pas être évitées ou ne pourraient l'être qu'à un coût disproportionné. Les nuisances doivent être tolérées par le voisinage. A défaut, il ne pourrait plus y avoir de chantier dans certains secteurs. Le voisin n'a pas la possibilité d'intenter une action pour omission. (ATF 114 II 230)."

La sécurité et la protection

- **Le maître de l'ouvrage porte la responsabilité en toutes circonstances. Chaque intervenant est coresponsable.**
- **Tous les intervenants ont l'obligation de porter des habits de protection.**
- **L'ordre et une bonne organisation permettent d'éviter des accidents.**
- **Les planificateurs doivent régulièrement se former en matière de sécurité.**

3.1.8 Echafaudage ou sécurisation individuelle



En autoconstruction sur une toiture, il est indispensable de monter un échafaudage pour disposer d'une protection anti-chutes irréprochable. Il ne doit y avoir aucun compromis en ce domaine. Bien qu'il soit possible de s'assurer individuellement avec un baudrier et des cordages, nous déconseillons cette solution.

La protection contre les chutes, qui devrait déjà être installée lors de la prise des premières mesures, est absolument indispensable pour toute la durée du chantier.

- Un dispositif de protection est obligatoire à partir d'une hauteur de chute de 3 m; s'il y a risque de glissade, si le revêtement est lisse ou si la pente est forte, cette limite est à 2 m.
- Pour le montage d'une installation PV, il faut en règle générale installer une protection globale (garde-corps, échafaudage ou équipement comparable).
- Idéalement, il faut aussi prévoir le contrôle et l'entretien du dispositif de protection.
- Une formation est nécessaire pour la protection individuelle par baudrier et cordage et seuls les équipements approuvés pour les chantiers sont autorisés.
- Un contrôle de l'échafaudage s'impose avant tout accès (EWG dispose d'une "check-list").
- Si l'échafaudage ne répond pas aux exigences, l'accès au toit est interdit, même pour une simple visite.

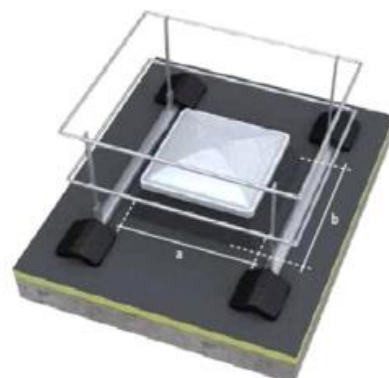
³⁴ <https://www.hausinfo.ch/fr/home/droit/responsabilites-securite/securite-sur-les-chantiers.html>

Puits de lumière et lucarnes

- Une protection globale (garde-corps, filet, grillage, vitrage de sécurité) est indispensable pour les puits de lumière et les lucarnes.



Puits de lumière avec grille de protection³⁵



Garde-corps³⁶

- Sur les toitures qui présentent un risque de rupture, une protection globale n'est nécessaire que si une installation photovoltaïque y est construite. Le coût de la sécurisation du toit entre dans le décompte de l'installation PV; cela contredit l'argument fréquemment utilisé selon lequel les mesures de sécurisation du toit seraient de toutes manières nécessaires. (CAS P+S, hslu)³⁷

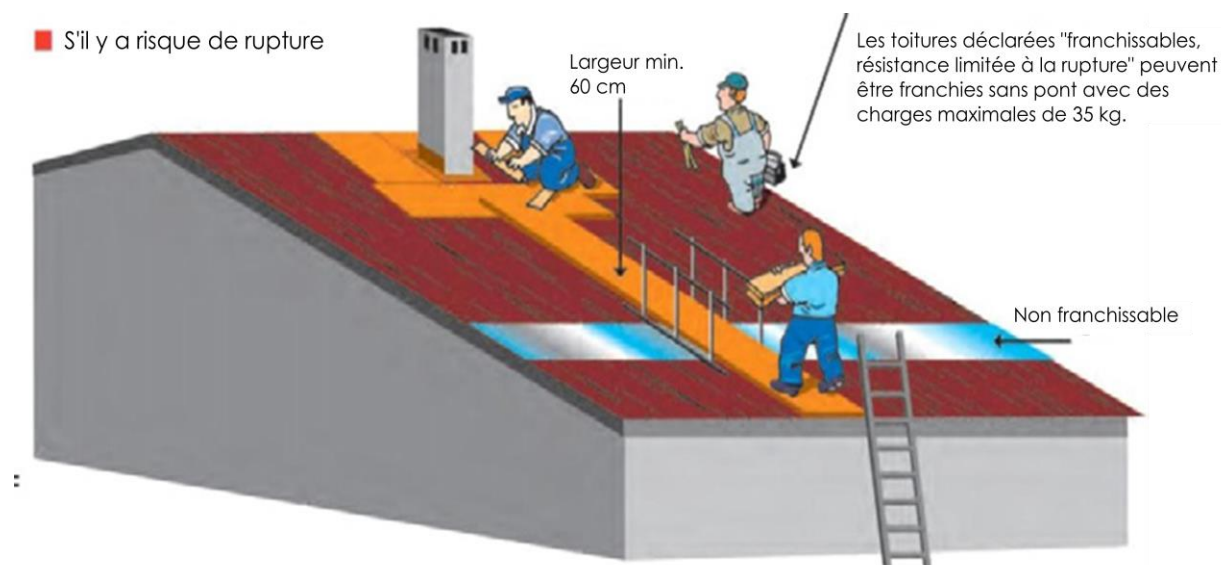


Fig. 12. Mesures à prendre s'il y a un risque de rupture du toit

3.1.9 Mesures de sécurité pour le montage (dispositifs temporaires)

Si on envisage du travail pour plus de deux hommes-jour, et/ou si la hauteur de chute est supérieure à 3 m, une protection globale est indispensable, ce qui peut signifier:

³⁵ SUVA "Intervenir en toute sécurité sur les toits"

³⁶ HES-LU, documentation pour le CAS prévention et santé dans la construction

³⁷ HES-LU, documentation pour le CAS prévention et santé dans la construction

- échafaudage de façade avec pont de ferblantier,
- protection latérale pour les toits plats,
- pour les toits en pente, protection du côté des pignons et paroi de retenue du côté du chéneau,
- "... des protections résistantes contre les chutes, solidement fixées, doivent être installées à l'endroit des ouvertures dans la toiture." (*Energie solaire: intervenir en toute sécurité sur les toits. SUVA*)
- L'accès au toit doit être sécurisé; les échelles ne sont pas admises! Les accès possibles sont: une tour escalier provisoire, un escalier à l'intérieur de l'immeuble ou un escalier fixé à la façade.

Sécurisation du chantier pour toits plats (0° à 10°), dès 2 hommes-jours

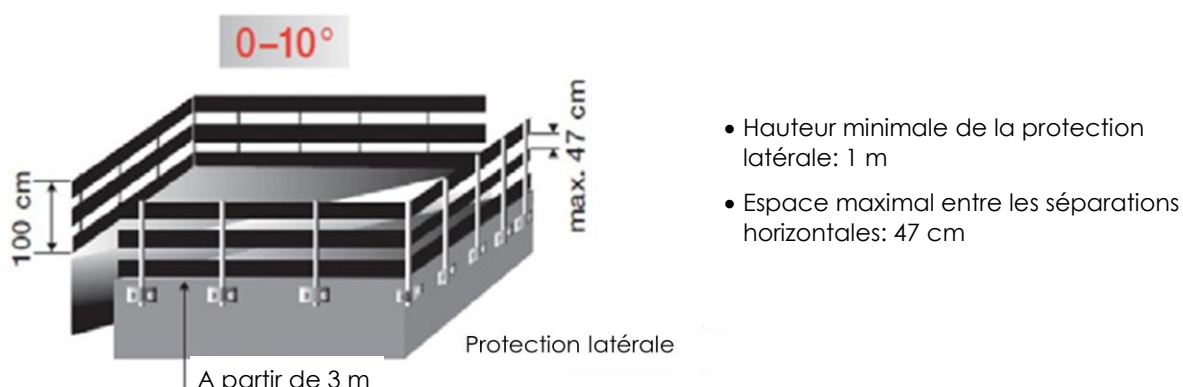


Fig. 13. Source: CAS P+S, hslu³⁸

Sécurisation du chantier pour toits en pente jusqu'à 25°

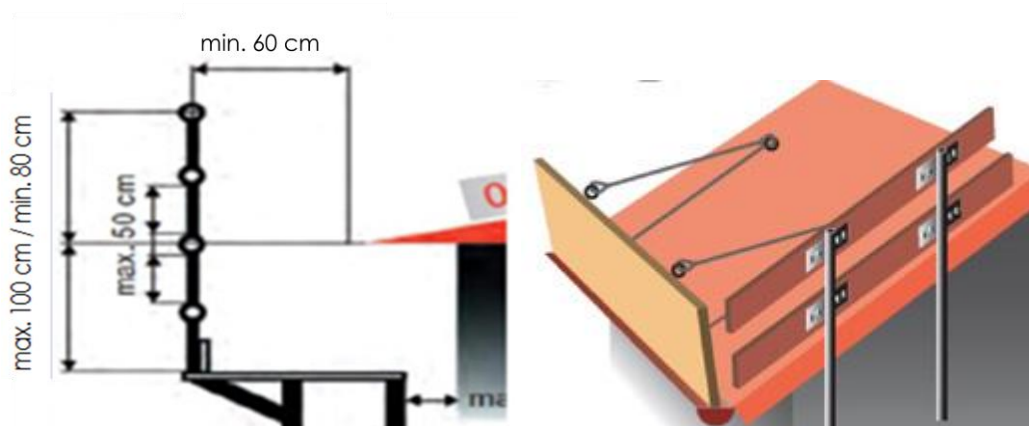
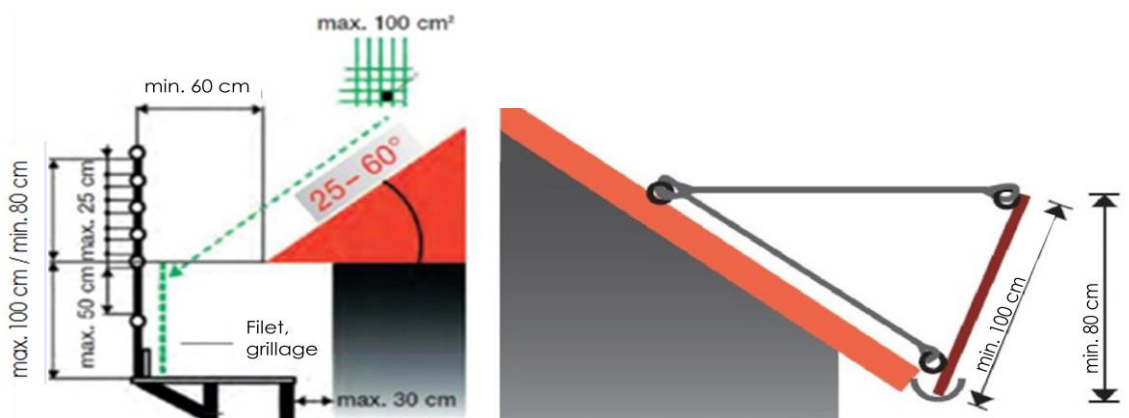


Fig. 14. Echafaudage avec pont de ferblantier, garde-corps et paroi de retenue³⁵

³⁸ HES-LU, documentation pour le CAS prévention et santé dans la construction

Sécurisation du chantier pour toits en pente de 25° à 60°



Pour les pentes supérieures à 40°, des mesures de sécurité supplémentaires telles qu'un filet de retenue ou un assurage par baudrier et corde sont nécessaires en complément aux dispositifs décrits au paragraphe précédent. (CAS P+S, hslu)³⁹

Sécurisation du chantier pour toits en pente de plus de 60°



- Echafaudage ou nacelle de chantier

Protection contre les chutes et sécurité

La protection des personnes est évidemment le facteur primordial. Il convient donc d'installer un échafaudage sûr et de veiller à une information correcte de tous les intervenants.

Références

- SUVA, "Intervenir en toute sécurité sur les toits"⁴⁰
- SUVA, "Neuf règles vitales pour les travaux en toitures et façades",⁴¹
Dépliant SUVA Pro. Il faut commander un nombre d'exemplaires suffisant et en remettre un à chaque intervenant.

Pour les planificateurs et chefs de chantiers, le support pédagogique portant le même titre est incontournable. Les check-lists qu'il comporte doivent être suivies dès la préparation du chantier.

Autres règlements et directives:

- Loi fédérale sur l'assurance-accidents (LAA, RS 832.20)
- Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (OTConst, RS 832.311.141)

³⁹ HES-LU, documentation pour le CAS prévention et santé dans la construction

⁴⁰ SUVA

⁴¹ SUVA

Documentation sur Internet:

- "Installations sur toitures en fibrociment amianté", SUVA, document n° 33068.F
- "Toitures résistant à la rupture ou à résistance limitée à la rupture", SUVA, document n° 33027.F
- "Petits travaux sur les toits - Identification des dangers et plan de mesures", SUVA, document n° 67018.F
- Directive ESTI, "Photovoltaïque solaire (PV) - Systèmes d'alimentation électrique", document n° 233, version 0914 f

3.1.10 Les numéros d'appels d'urgence (téléphone)

- Ambulance, secours médical n° **144**
- Feu n° **118**
- Hôpital n°
- Médecin de famille, généraliste n°
- Police n° **117**
- REGA (Garde aérienne suisse de sauvetage) n° **1414**

3.1.11 Sécurité de l'ouvrage, dégâts directs et indirects à prévenir

Le chef de chantier (le planificateur ou une autre personne) doit veiller à plusieurs points par rapport à la sécurité de l'ouvrage et aux dégâts directs ou indirects à prévenir.

Tâches précédant le début du chantier:

- Inspection de la toiture et déterminer le type de montage en fonction de sa structure (à voir au chapitre 3.3.1).
- Vérifier si la sous-couverture est bien plane, déterminer le type de matériau et son état. Si on constate que la sous-couverture est endommagée, il faut aviser le maître de l'ouvrage, et, le cas échéant après examen par un spécialiste neutre, décider si un assainissement de la toiture est nécessaire.
- Si, pour des questions de statique, on doit utiliser des vis qui perforent la sous-couverture, il faut évaluer quels seront les dégâts potentiels. Il peut s'avérer indispensable d'étanchéifier les trous après percement.
- Les lucarnes (p.ex.: Velux) doivent être protégées et éventuellement couvertes. Les fenêtres ou coupoles en toiture ne sont pas construites pour résister aux charges. Il est facile de réaliser une protection adéquate, à l'aide d'une planche de coffrage par exemple, et en veillant à avoir un espace suffisant par rapport aux coupoles.
- Il faut protéger les cadres des lucarnes et les points de liaison qui traversent la toiture.
- Ne pas endommager les poutres en tôle ou en plomb. Maintenir les rails de montage à une distance suffisante (effectuer un croquis représentant le toit, avec indication des distances).
- Tester la stabilité de la couverture. Des tuiles anciennes, de qualité précaire peuvent représenter un risque accru de rupture et entraver ainsi l'étanchéité du toit. Il faut vérifier si des tuiles de remplacement sont disponibles.

- Pour les toitures de plus de 60 ans il faut se poser la question d'un assainissement. Selon le matériau utilisé, on admet une durée de vie de 50 à 80 ans pour la couverture.
- En cas d'incertitude et si des dommages sont constatés durant le chantier, notamment si les effets sur l'étanchéité de la couverture ne sont pas clairs, il faut faire appel à un couvreur.
- Pour les toits plats il faut vérifier la qualité et le type des matériaux. Dans toute la mesure du possible, il ne faut pas porter atteinte à la couverture existante, surtout si l'étanchéité est parfaite. On trouve aujourd'hui des systèmes de montage intégrant la charge nécessaire à la résistance au vent et qui peuvent de ce fait être posés sur le toit sans autre. Pour des installations de grande taille comportant une charge additionnelle élevée, il faut faire appel à un ingénieur.
- Fixer le délai d'exécution et prévoir l'intervention des autoconstructeurs (le cas échéant du planificateur).
- Réserver le matériel (outillage) pour le chantier.
- Déterminer avec le maître de l'ouvrage la place de stockage pour le matériel et préciser les modalités de nettoyage de fin de chantier.

Pendant la durée du chantier:

- Réception de l'échafaudage (le cas échéant, par le planificateur, le chef de projet).
- Vérifier l'accessibilité du toit (stabilité, cheminement au sec, etc.).
- Donner aux autoconstructeurs les instructions nécessaires quant au comportement lors de travaux sur le toit (port du casque, manipulation du matériel, etc.).
- Donner aux autoconstructeurs les instructions nécessaires pour l'utilisation de l'outillage.
- Présenter le déroulement du chantier aux autoconstructeurs.
- Marquer l'emplacement de la structure supportant les modules.
- Assistance lors du fraisage des premières tuiles, le cas échéant fraiser toutes les tuiles.
- Au cas où la hauteur des crochets ou leur positionnement devait poser problème, chercher des solutions alternatives le plus rapidement possible.
- Accompagner et vérifier le montage des modules.
- Contrôle du travail des autoconstructeurs.
- Contrôle des conditions de sécurité sur le chantier, du comportement des autoconstructeurs.
- Tenue du répertoire des heures d'autoconstruction.

3.2 Les phases successives, l'évolution du projet

Dès que la faisabilité d'une installation est établie, on peut passer à la phase d'exécution du projet. Il vaut la peine de suivre toujours le même déroulement dans la réalisation des projets PV. Les nombreuses tâches administratives présentent par contre un aspect négatif; c'est aussi ce dont se plaignent les professionnels des installations solaires. Afin de travailler efficacement, il convient de structurer clairement le déroulement du projet et de préparer tous les éléments nécessaires aux tâches administratives. A cet effet, la Coopérative EWG utilise des "check-lists" et un dossier pour le suivi du projet, sauvegardé dans un "cloud", et qui contient tous les documents indispensables⁴². Swissolar a également édité un fil conducteur très utile pour le suivi des projets PV (Swissolar, *Guide pratique pour la planification, la réalisation et l'exploitation d'installations PV*).

La Coopérative EWG propose la structure suivante pour la gestion administrative du projet (*en italique: les documents indispensables*).

- 1) Première entrevue
- 2) Planification
 - a) *Formulaires pour relever les offres de matériel*
 - b) *Tableau⁴³ pour la planification des engagements des autoconstructeurs*
 - c) *Devis (avec prix approximatif), sous forme de tableau*
 - d) *Offre définitive, sous forme de tableau*
 - e) *Règlement de la coopérative*
 - f) *Contrat entre le client et le planificateur*
- 3) Annonce IPE ([Directive ESTI n° 219, version 1017 f](#))
 - a) *Annonces IPE aux différents distributeurs d'électricité*
 - b) *Formulaire vide, utilisable pour tous les distributeurs*
- 4) Annonce de mise en service
 - a) *Annonce de mise en service et possibilité de choix chez Swissgrid (formulaires dans un classeur séparé)*
 - b) *Formulaire pour l'annonce à la commune*
- 5) Annonce de l'installation et documentation
 - a) *Documentation technique pour l'installation; un modèle comme document principal, avec les annexes*
 - b) *Liste de tous les documents techniques qui doivent être annexés*
- 6) Décompte
 - a) *Exemple de comptabilisation (classeur avec une feuille de calcul pour chaque compte)*
- 7) Certification par Swissgrid
 - a) *Formulaire de certification*

⁴² Le dossier "Projektabwicklung" (en allemand) peut être obtenu gratuitement sur demande à l'EWG (info@e-wende.ch).

⁴³ Classeur et feuilles de calcul Calc, Excel ou autres.

Liste des tâches lors de la première entrevue

Tâche	Effectué
Mesurer la surface du toit ou se référer à un plan fiable / Repérer les obstacles / Ne pas oublier les ouvertures en toitures et les raccords / Identifier ce qui doit être protégé lors du montage de l'installation	☐
Mesurer l'écartement entre chevrons / Choisir la longueur de vis à utiliser / Les crochets conviendront-ils? / (Ce point peut également être vu lors de la deuxième visite, notamment dans les cas où le client n'est pas sûr de s'engager.)	☐
Y a-t-il des ombres projetées; un système SolarEdge sera-t-il nécessaire?	☐
Prendre des photos des fusibles d'entrée et des fusibles concernant l'utilisateur, de l'emplacement prévu pour les onduleurs, des numéros des compteurs et du récepteur de télécommande, du tableau électrique.	☐
Repérer et examiner le tracé prévu pour la gaine technique du toit au tableau électrique.	☐
Pente du toit / Orientation / Hauteur maximale / Type de couverture	☐
Type de modules et d'onduleurs souhaités / Quelles sont les priorités du maître de l'ouvrage? (performance, provenance, aspect visuel, etc.)	☐
Motivation du maître de l'ouvrage pour l'autoconstruction.	☐
Délai souhaité pour la réalisation.	☐
Répondant(s)	☐
Qui se charge de (faire) construire l'échafaudage?	☐
Qui se charge de mandater un électricien?	☐
Cas particuliers: Un permis de construire est-il nécessaire?	☐
Le permis est-il sollicité par le maître de l'ouvrage / par la coopérative?	☐

Liste des tâches pour le déroulement pas à pas de la planification

La chronologie des données se réfère au classeur "Conduite de projet EWG" contenant des modèles pour toutes les opérations. Cette version française, comporte une simple traduction des intitulés des documents, tableaux et feuilles de calcul.

Dans la colonne "Quand", les données se réfèrent à des semaines ou mois précédant ou suivant la construction proprement dite.

Tâche	Quand	Fait	Observations
Première entrevue		☐	Conseils au client sur place, relevé des données de base.
Offre avec prix indicatif		☐	Offre approximative, compléter au cours de la première entrevue une feuille "planification/devis"; envoyer ensuite le fichier au client.
Le client donne son accord; le projet peut démarrer.		☐	
Demander des offres pour le matériel		☐	Feuille "planification/relevé des offres pour le matériel", à envoyer aux fournisseurs.
Etablir l'offre définitive		☐	Feuille "planification/offre", à envoyer au client avec l'offre du fournisseur.
Le client confirme le contrat		☐	Il suffit d'une confirmation écrite du client, par courriel, déclarant qu'il veut démarrer le projet.

Reporter dans le calendrier les délais de livraison et d'installation.		○	Chaque coopérative d'autoconstruction gère son propre calendrier dans lequel chacun reporte les délais qui le concernent.
Annonce de l'IPE ⁴⁴	Dès la confirmation du contrat	○	Feuille "Annonce IPE" à adresser au distributeur d'électricité local.
Annonce à l'administration communale	- 1 mois	○	Feuille "Annonce à l'administration communale" A adresser à qui de droit (police des constructions).
Demande de permis de construire	Si nécessaire, dès la confirmation du contrat	○	Requête du maître de l'ouvrage.
Facture pour avance sur frais	Dès la confirmation du contrat; délai de paiement de 3 mois.	○	Feuille "Facture pour avance sur frais". Y reporter tout le matériel, selon l'offre du fournisseur.
Validation du plan par l'ESTI	Seulement pour les installations > 30 kW _c ; - 2 mois	○	Site internet de l'ESTI
Annonce pour la RPC ou RU	- 1 mois	○	https://pronovo.ch/fr/ Par courrier postal avec l'annonce de l'installation et droit d'option, à Swissgrid.
Annonce l'installation avec RPC	- 1 mois	○	Document pdf chez Swissgrid "Annonce de l'installation"
Formulaire pour le droit au choix pour la RPC (- 1 mois)	- 1 mois	○	Document pdf chez Swissgrid "Annonce de l'installation" / "Droit au choix"
A-t-on informé l'électricien? Lui faire parvenir les instructions nécessaires	- 1 mois	○	Document pdf "Documents pour l'annonce de l'installation / Tâches de l'électricien"
A-t-on planifié l'engagement de la main-d'œuvre?	- 2 semaines	○	EWG met à disposition des nouvelles coopératives sa base de données en ligne. Celle-ci permet d'adresser en un clic un courriel à tous les autoconstructeurs qui seront informés des dates pour lesquelles on recherche de la main d'œuvre. Après l'achèvement de l'installation, les heures et le projet sont saisis dans la base de données. info@e-wende.ch .
A-t-on commandé l'échafaudage?	- 3 semaines	○	
Documentation pour l'installation	- 2 semaines	○	Document "Installation modèle".doc" La première page comporte une liste de toutes les annexes nécessaires. Les modèles figurent dans le même classeur.

⁴⁴ IPE = Installation de production d'énergie

Annonce de l'installation	- 2 semaines	○	Doit être faite par l'électricien. Envoi à ce dernier, par courriel, de toute la documentation concernant de l'installation.
Demande de subside communal	- 1 semaine (s'il y a lieu)	○	Se renseigner auprès de l'administration communale. Les cas positifs sont rares.
Construction de l'installation	0	○	Le planificateur dirige le chantier.
Courriel en fin de construction	+2 semaines	○	Document " <i>Certification de fin de chantier</i> " à envoyer au maître de l'ouvrage.
Certification de sécurité AC et DC	+1 mois	○	Mandater un contrôleur pour la validation DC et un électricien pour la validation AC. Envoyer le pv de certification à l'électricien et au maître de l'ouvrage.
Certification RPC	+1 mois	○	Document " <i>Certification</i> " pdf A envoyer à l'exploitant du réseau local (Groupe E, Romandie Energie, Viteos, etc.)
Avis d'achèvement des travaux	Seulement pour les installations de > 30 kW _c	○	Est envoyé automatiquement par l'ESTI
Décompte final et contribution à la coopérative	+1 mois	○	Feuille " <i>Modèle pour le décomptes</i> " Décompte final et facture pour la planification
Saisie de l'installation dans l'administration de la coopérative (le cas échéant aussi chez EWG).	+ 1 mois	○	Saisie et report de l'installation et des heures de travail dans la base de données, éventuellement sur internet.

3.3 La fixation à la toiture

3.3.1 Les types de toits

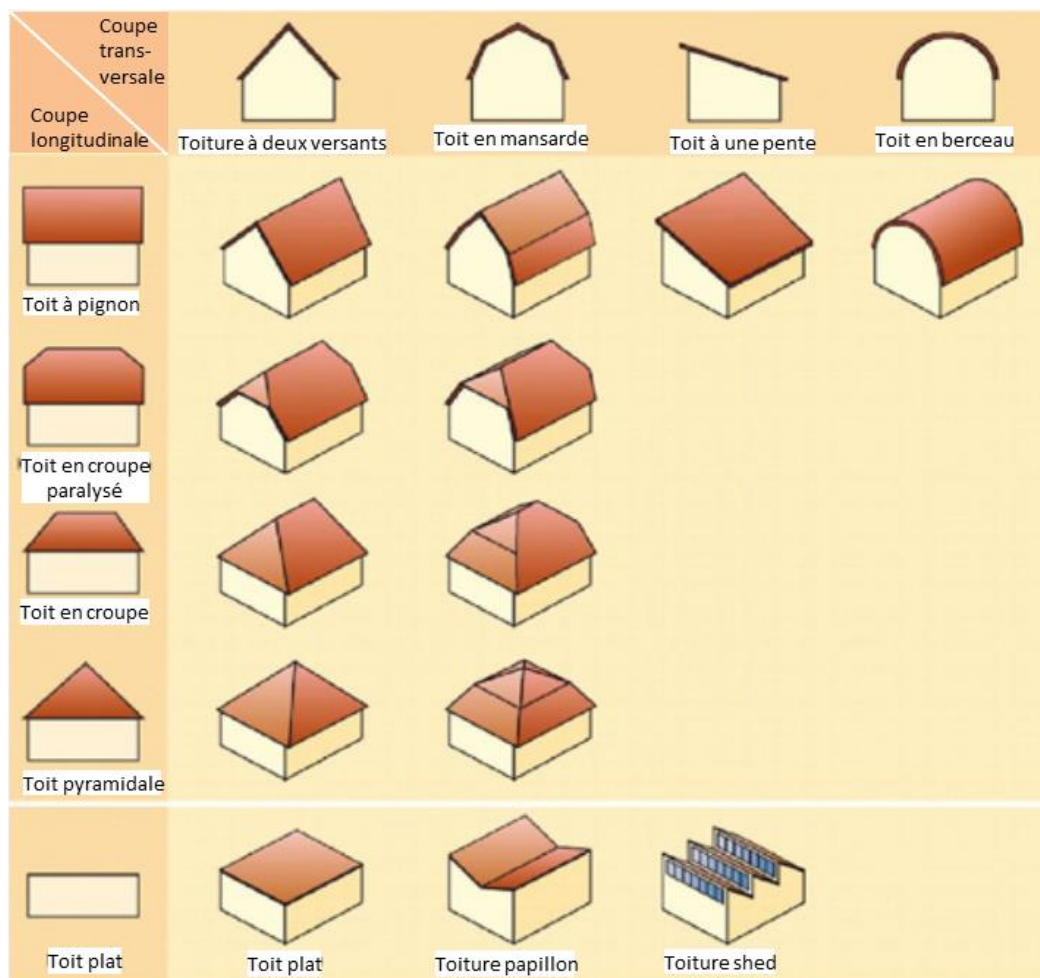
Que doit supporter un toit?⁴⁵

- La chaleur, jusqu'à 70°
- Le froid, jusqu'à -30°
- Le vent jusqu'à une vitesse de 150 km/h
- Des charges de neige et de glace, jusqu'à 1'200 kg/m²
- La grêle
- Le feu
- Il doit offrir une isolation thermique et acoustique

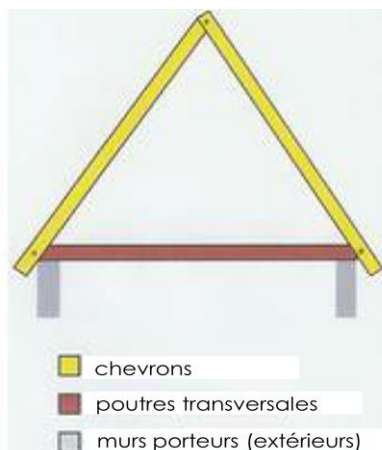
Les différentes formes de toitures⁴⁶

Classement selon la pente

- Les toits plats: < 5°
- Les toits plats à faible pente: 5 à 22°
- Les toits à pente normale: 22 à 45°
- Les toits à forte pente: > 45°



Toiture à chevrons⁴⁷



Toiture à pannes



Aménagements sur la toiture⁴⁸

Il ne s'agit que d'une sélection des toitures les plus fréquentes en Suisse.



Lucarne



Lucarne en pignon



Chien assis



Lucarne en pointe

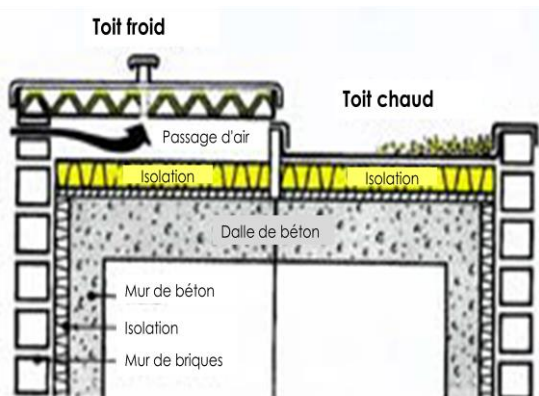
⁴⁷ Source: S DGS – Deutsche Gesellschaft Solarenergie

⁴⁸ Source: www.11880-dachdecker.com/ratgeber/dachgauben

Structures de toit

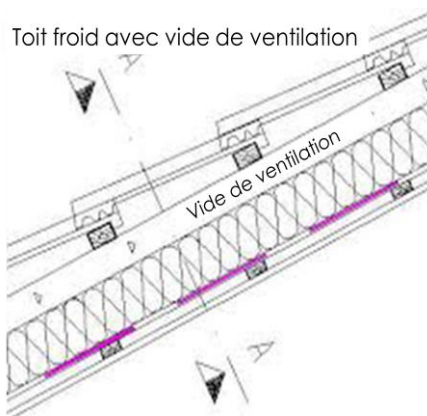
Toit plat⁴⁹

Toit froid et toit chaud



Toit en pente⁵⁰

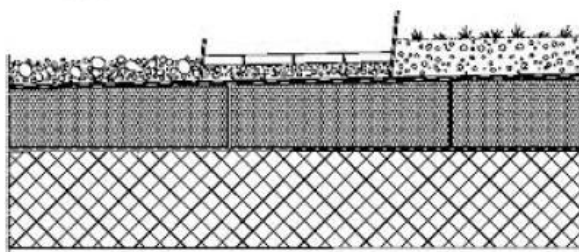
Seul le toit froid est autorisé



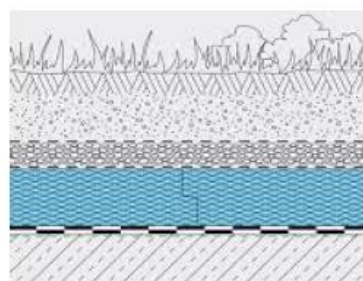
Un toit froid, qu'il soit plat ou en pente, doit toujours être ventilé par dessous. L'espace de ventilation permet l'assèchement des éléments s'il y a condensation ou pénétration d'eau en cas de fortes intempéries. Par ailleurs, une bonne ventilation minimise l'échauffement de la couverture, ce qui améliore le fonctionnement des modules PV. Un toit chaud n'est pas ventilé. En Suisse, on ne construit plus de toits en pente sans ventilation parce que le risque de dégâts, dus à la diffusion de vapeur est trop élevé.

Par contre, les toits plats sont en Suisse plutôt rarement des toits froids.

Les toits plats les plus courants



Le toit compact⁵¹



La toiture inversée⁵²

Dans une structure de toit compacte la couche d'étanchéité est au-dessus de l'isolation; dans la toiture inversée, elle est au-dessous (sur la dalle de béton par exemple). Pour le montage des installations photovoltaïques, cela signifie qu'une atteinte à la couche d'isolation est pratiquement exclue sur une toiture inversée, alors que sur une toiture compacte, il faut porter une attention toute particulière à cette question.

⁴⁹ www.11880-dachdecker.com/ratgeber/dachgauben

⁵⁰ <http://www.bau-doch-selber.de/bautipps/das-dach>

⁵¹ www.11880-dachdecker.com/ratgeber/dachgauben

⁵² idem

3.3.2 Les toits en pente: définitions selon la norme SIA 238

Toit en pente (ou toit incliné)

Toit comportant une pente qui permet une couverture avec tuiles en emboîtement (ou couverture en écailles). La pente est de 15° au moins, selon la construction de la sous-toiture et le type de couverture.

Pare-vapeur

Une couche avec une résistance à la diffusion de $S_D \geq 130 \text{ m}$, soit $R_D \geq 200 \text{ m}^2 \text{ Pa/mg}$ protège l'isolation thermique de l'humidité provenant de l'intérieur du bâtiment.

Espace de ventilation

L'air extérieur parcourt un vide entre deux couches.

Sous-toiture

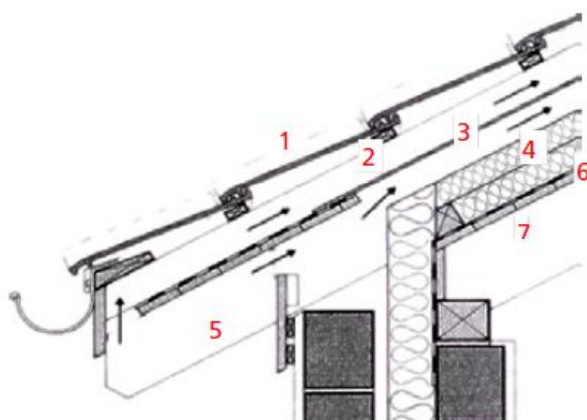
Couche séparée de la couverture, destinée à l'écoulement de l'eau.

Couche d'isolation

Destinée à améliorer l'isolation; conductivité thermique $\leq 0,1 \text{ W/mK}$.

Résistance au vent

Couche isolante sur le côté froid, résistante au vent.



1. Couverture
2. Lattage et contre-lattage
3. Sous-toiture
4. Isolation entre les chevrons
5. Chevrons
6. Pare-vapeur / Etanchéité à l'air
7. Habillage intérieur

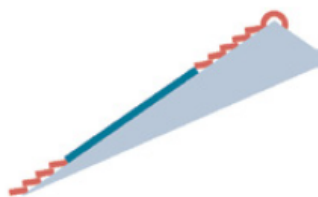
(Illustration: www.dux-spengelrei.ch)

Lors du montage d'une installation photovoltaïque il faut veiller, dans toute la mesure du possible, à ne pas endommager la sous-toiture; sa fonction est de protéger l'isolation de tout contact avec de l'humidité lors de précipitations. Les charges couramment admises et les forces de vent estimées permettent aujourd'hui de fixer une installation ajoutée en toiture au contre-lattage. S'il n'est pas possible de fixer l'installation aux chevrons, il faut faire appel à un professionnel pour examiner et évaluer l'étanchéité du toit.

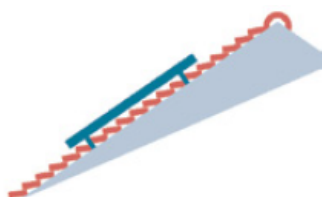
Ces questions ne se posent pas pour les installations intégrées, car ces dernières ne sont réalisées qu'en cas de rénovation de la toiture ou sur des constructions nouvelles. Pour les installations intégrées, il est important de veiller à une ventilation suffisante à l'arrière des modules (en règle générale, 1 cm par mètre de largeur du toit).

3.4 Variantes dans le montage des installations PV⁵³

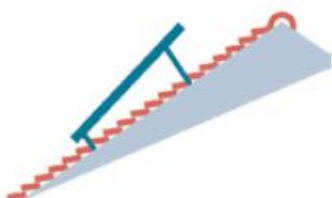
Toit en pente



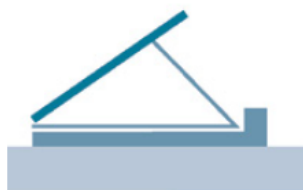
Sur un toit en pente, les installations photovoltaïques **intégrées** apparaissent comme faisant partie de la construction. L'intégration est particulièrement bonne si les modules remplacent les éléments de couverture habituels tels que les tuiles ou le fibrociment. Même pour les toitures complexes il est possible de trouver des solutions avec une bonne intégration des modules photovoltaïques.



Les modules **ajoutés** sont installés au moyen d'éléments d'ancrage sur la toiture existante; la hauteur supplémentaire est alors de 15 à 20 cm.

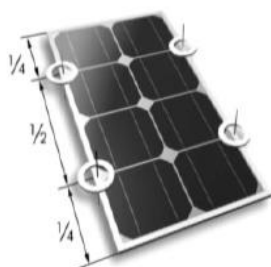


Des supports fixés à la toiture permettent de disposer les modules selon l'angle d'exposition idéal.



Toits plats

Sur les toits plats, les modules solaires peuvent être posés **à plat ou sur des supports**. L'installation sera orientée vers le sud et, s'il y a des supports, selon un angle d'inclinaison idéal.



Remarques sur le montage⁵⁴

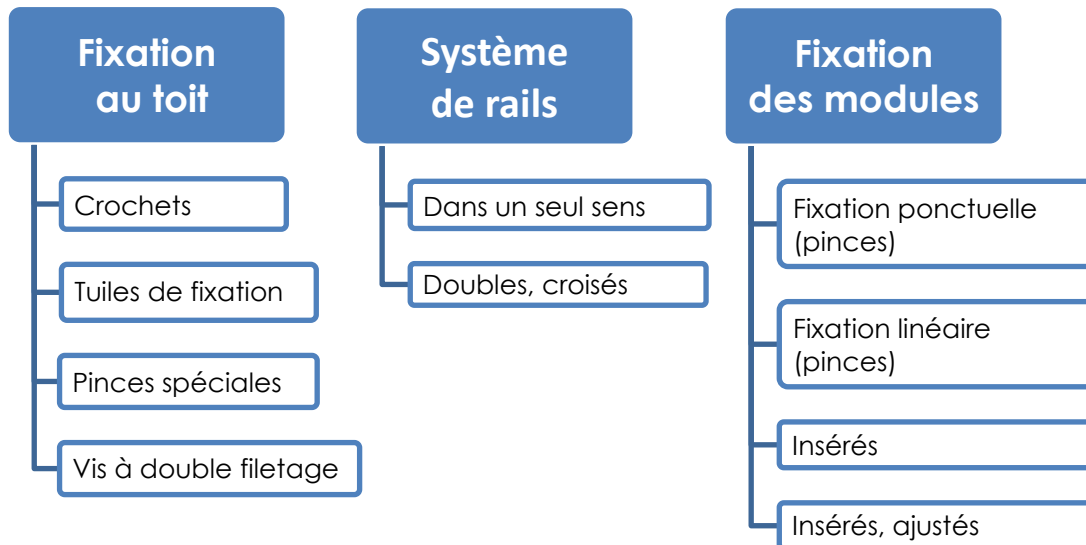
Pour tous les types de modules, les fabricants précisent la manière de les fixer et les variantes possibles. En règle générale, on prévoit quatre points de fixation par module, ou six s'il s'agit de très grands modules. Indépendamment du nombre de points de fixation, il faut absolument veiller à éviter toute force (poussée, torsion, traction) sur les modules et il ne faut évidemment pas marcher sur ces derniers.

Si l'on doit intervenir sur une toiture comportant une installation intégrée ou ajoutée et qu'il est indispensable de se déplacer sur les modules ou de les franchir, il faut se servir de moyens auxiliaires pour répartir la charge (points d'appui, planche, panneau de coffrage, échelle ou autre). (Voir la figure 12 au chapitre 3.1.9)

⁵³ "Baubewilligungsfreie Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien", Richtlinien des Kantons Bern (<https://www.be.ch/>)

⁵⁴ Source: Schulungsunterlagen CAS P+S hslu

3.4.1 Le montage de modules ajoutés sur toiture en pente



www.solarpraxis.de

Quelques marques parmi les plus courantes en Suisse pour installations ajoutées:

- K2 (K2 Systems)
- MSP-PR (Schweizer Metallbau)
- Montavent (Montavent)
- Novotegra / ex Createcc (BayWare, Solarmarkt)

3.4.2 Le montage de modules intégrés sur toiture en pente

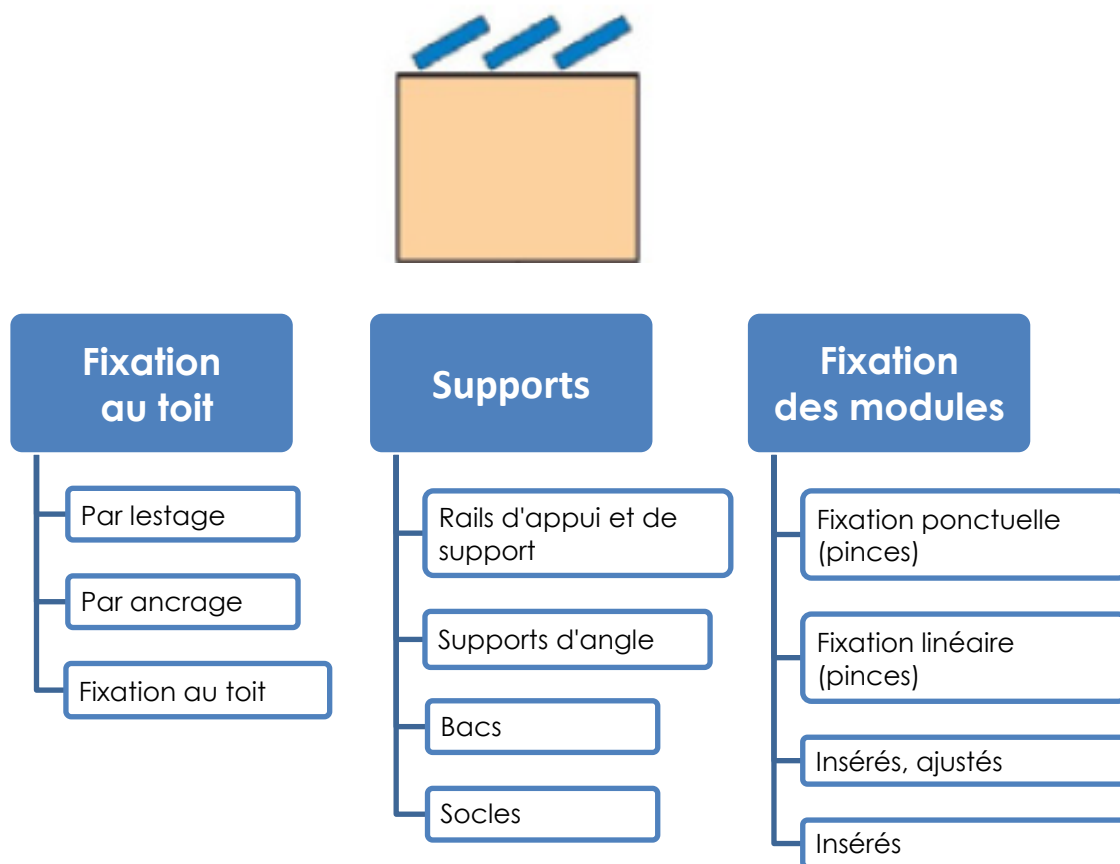


www.solarpraxis.de

Quelques marques parmi les plus courantes en Suisse pour installations intégrées:

- Solrif (Schweizer Metallbau)
- Megalate (Meyer Burger)
- Elektra Energiesdach (Soltop)
- ARRES (Solarmarkt)
- EASY ROOF (Solexis, Solarmarkt)
- Nicer, Level (Megasol)
- Tri-roof (Tritec)
- Sysrovi (Frankhauser)
- Solar Stand (Solarteam)

3.4.3 Le montage sur toit plat



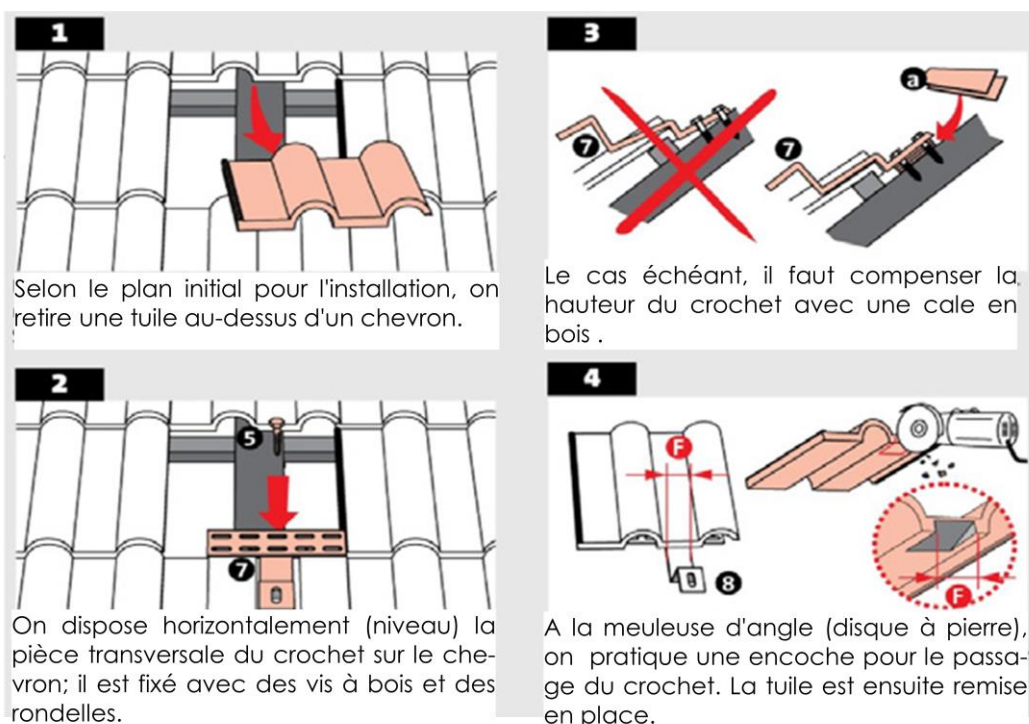
Quelques marques parmi les plus courantes en Suisse pour installations sur toit plat:

- Alustand (Alustand)
- MACH 1 (Montavent)
- Schletter Windsafe (Schletter)
- Conergy EastWest flex (Conergy)
- K2 S-Dome (K2 Systems)
- Tritec PMT (Tritec)

3.4.4 Les bases du montage et les éléments nécessaires

Crochets⁵⁵

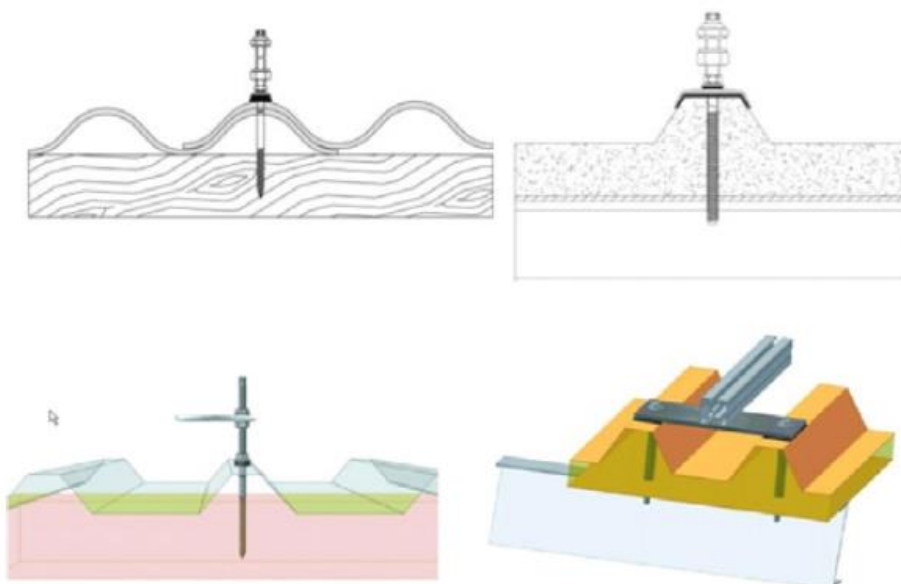
Il s'agit de crochets d'ancrage pour les systèmes ajoutés en toiture de tuiles. Les crochets sont vissés sur le contre-lattage ou le chevron. Pour le passage du crochet, il faut pratiquer une encoche dans la tuile à l'aide d'une meuleuse d'angle.



Vis à double filetage pour toits en pente, tôle trapézoïdale, tôle et Eternit ondulés

Les vis à double filetage servent à l'ancrage des modules aux éléments porteurs. Ces vis transpercent la couche d'étanchéité extérieure; il est donc très important de choisir des vis présentant des caractéristiques et une longueur adéquates. D'une part, le montage doit garantir la résistance au vent et d'autre part, les vis ne doivent pas endommager la sous-toiture. En cas de doute, il faut consulter un spécialiste de la statique ainsi qu'un couvreur.

⁵⁵ <http://www.solarpraxis.de>

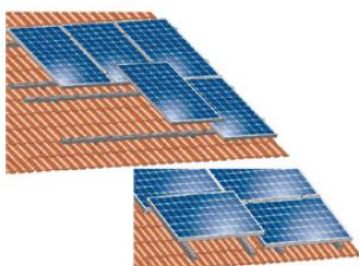


DGS - Deutsche Gesellschaft Solarenergie

Rails de montage

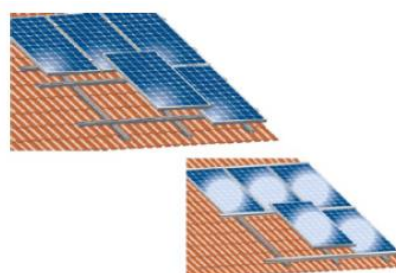
Système simple

- Rails verticaux ou horizontaux
- Modules en hauteur ou en largeur
- Système à faible coût



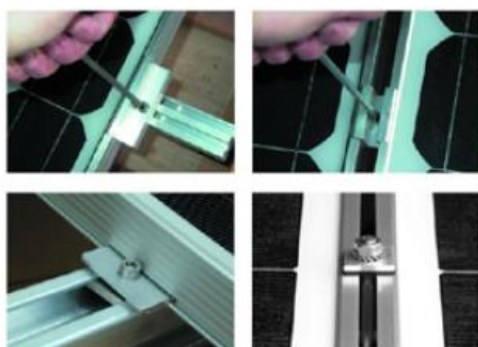
Système à rails superposés

- Rails croisés
- Système coûteux mais il a l'avantage de la flexibilité
- Possibilité de glisser les rails

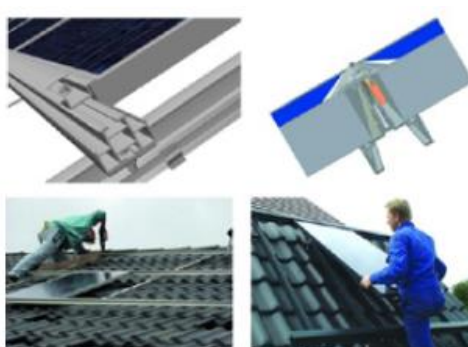


Pinces

En forme de points



En forme de lignes / Système à glisser



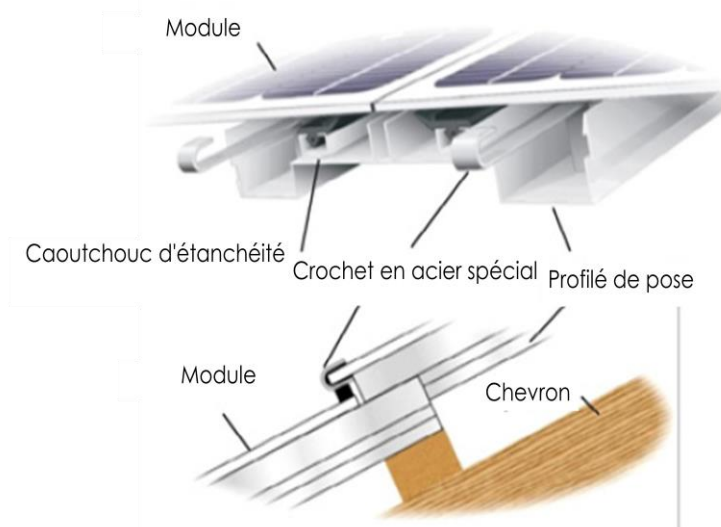
DGS - Deutsche Gesellschaft Solarenergie

Installations incorporées à la toiture

Il y a de nombreux systèmes et possibilités pour les installations en toiture. Et on trouve de très bonnes solutions du point de vue technique et de l'esthétique pour des systèmes combinés de solaire thermique et photovoltaïque.

Une installation en toiture signifie généralement que l'on pose des modules en lieu et place des couvertures habituelles (tuiles, tôle trapézoïdales, plaques d'Eternit, éléments d'Eternit ondulés ou tôles ondulées). Les modules remplissent donc aussi la fonction d'enveloppe extérieure de la toiture. Pour les toits en pente il y a deux systèmes de base:

- des systèmes emboîtés (p.ex.: Solrif)
- des systèmes avec profilés ou réceptacles placés sous les modules pour l'évacuation de l'eau (Megaslats).



DGS - Deutsche Gesellschaft Solarenergie

Selon le système choisi, les installations incorporées à la toiture nécessitent souvent un nouveau lattage. En Suisse, la pose d'une sous-toiture résistante au feu est obligatoire sous les modules.

Installation sur toit plat, lestée

Procédé par lestage: les modules sont maintenus à l'aide de poids



DGS - Deutsche Gesellschaft Solarenergie

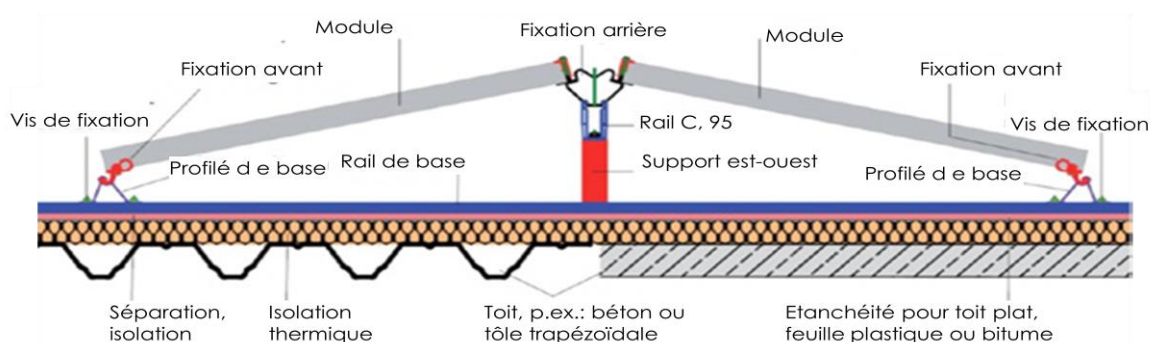
Installation sur toit plat, vissée

- Procédé très rare
- Les modules sont vissés au bâtiment



DGS - Deutsche Gesellschaft Solarenergie

Système Ouest-Est



DGS - Deutsche Gesellschaft Solarenergie

La plupart des toits plats sont aujourd'hui recouverts de modules disposés en "ouest-est". Ce système présente différents avantages:

- l'exploitation optimale de la surface disponible;
- un rendement maximal;
- une courbe de production plus plate à l'heure de pointe (à midi), et plus de rendement le matin et l'après-midi.

L'inclinaison choisie pour les supports est relativement faible (10° à 15°), ce qui permet d'éviter en matinée et en soirée l'ombre projetée par le module opposé. Les lignes de modules peuvent ainsi être installées presque sans espace intermédiaire.

Instructions de montage

Les sites internet des fabricants donnent des instructions de montage détaillées; elles sont généralement aussi mises à disposition par le vendeur de matériel.

3.4.5 L'attestation de conformité statique

Il est indispensable de faire vérifier et valider la statique de l'installation, garantissant la résistance au vent et à la charge que représente la neige. L'attestation de conformité est établie par le fournisseur et remise en même temps que l'offre. Le planificateur a l'obligation de monter l'installation conformément aux plans de montage accompagnant l'attestation de conformité statique (p.ex.: "Rapport K2"⁵⁶ ou autre). Le fabricant doit garantir la sous-structure si les plans de montage sont respectés. Si une installation subit des dégâts dus au vent ou à la neige, il faut pouvoir se retourner contre le fabricant et c'est pourquoi il est essentiel de respecter le nombre de points de fixation indiqué et de relever le tout dans un rapport de chantier, faute de quoi le fabricant refusera toute garantie.

Si l'on souhaite modifier l'ordre de montage prévu, on peut facilement vérifier soi-même si c'est faisable ou pas en complétant le formulaire pour le rapport. Dans le cas de "K2", cette vérification se fait notamment au moyen du logiciel "K2 Base". Ce logiciel ne peut toutefois être acquis que par licence. Par contre, il se peut que le fournisseur de matériel en remette gratuitement une copie.

Contexte: à l'aide d'un programme ("K2 Base" ou autre) et sur la base de cartes le fournisseur de matériel relève les pointes de vitesse du vent et les charges de neige maximales en un endroit déterminé. Le logiciel calcule automatiquement les forces de pression et de traction maximales auxquelles sont soumis les divers éléments de la structure pour éditer ensuite l'attestation de statique.

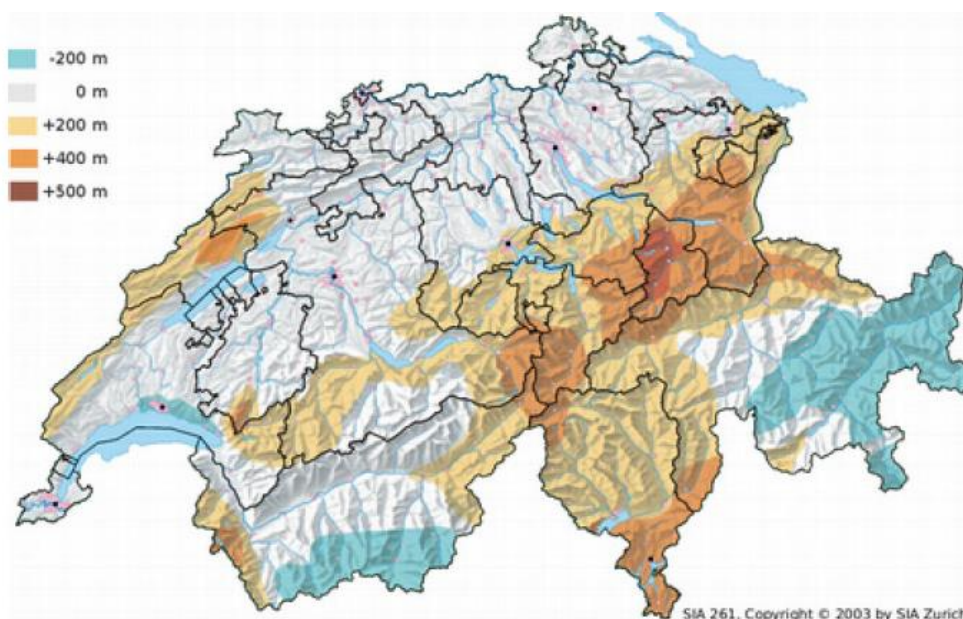
Pour mener à bien le projet en toute sécurité on demandera à un ingénieur en structures d'établir l'attestation; il devra en principe se rendre sur place pour examiner le bâtiment. Le cas échéant, les fournisseurs de matériel ne peuvent pas inclure tous les points importants dans leurs calculs.



Forces exercées par le vent (source SIA)

⁵⁶ Fournisseur de matériel de fixation: <https://k2-systems.com/fr/start>

Pour certaines toitures critiques (industrie, artisanat), la charge additionnelle que représente l'installation photovoltaïque peut être problématique. Dans ce cas, un professionnel de la statique, ingénieur en structures, devra établir une attestation prouvant que le toit supporte la charge prévue.



Charge exercée par la neige (source SIA)

3.4.6 Les toits comportant des revêtements en amiante⁵⁷

Les toits avec couverture en Eternit et dont la construction date d'avant 1990 comportent potentiellement de l'amiante. Pour ces toitures, il est indispensable de vérifier la présence ou l'absence d'amiante avant toute autre intervention; s'il y a de l'amiante, il faut faire déconstruire la couverture par des spécialistes.

Les microfibrilles d'amiante contenues dans les matériaux peuvent être libérées lors des travaux de construction, notamment lors du fraisage, perçage, sciage, etc. Ces fibres sont cancérigènes! La SUVA (CNA) a édité une excellente brochure à ce sujet: *"Identifier et manipuler correctement les produits contenant de l'amiante"*. Elle devrait être remise au maître de l'ouvrage et à tous les intervenants si l'immeuble concerné comporte un toit en Eternit.

Le site http://www.forum-asbest.ch/fr/publikationen_fa/ propose plusieurs publications et notices concernant l'amiante dans la maison.



⁵⁷ Source: SUVApro - <https://www.suva.ch/fr-ch/prevention/themes-specialises/amiante>

3.5 A-t-on besoin d'un permis de construire?

3.5.1 Conditions pour une installation sans permis de construire⁵⁸

Pour des installations solaires en toiture "suffisamment adaptées", il n'est pas nécessaire d'obtenir un permis de construire. Selon l'article 32 a de l'Ordonnance sur l'aménagement du territoire (OAT), les installations solaires sont considérées comme suffisamment adaptées aux toits (art. 18 a, al. 1, LAT) si les conditions suivantes sont réunies:

- a. elles ne dépassent pas, perpendiculairement, les pans du toit de plus de 20 cm;
- b. elles ne dépassent pas du toit, vu de face et du dessus;
- c. elles sont peu réfléchissantes, selon l'état des connaissances techniques;
- d. elles constituent une surface d'un seul tenant.

Ces conditions sont en vigueur depuis le 1^{er} mai 2014, alors que précédemment un permis de construire était nécessaire pour chaque installation. Les cantons et les communes sont chargés de définir si une installation doit être au bénéfice d'un permis de construire ou pas. Les cantons ont défini de quelle manière une installation doit être annoncée et vérifiée.

3.5.2 Types d'installations soumises au permis de construire

- Les installations sur supports inclinés sur toits plats.
- Les installations en façade ou constituant des éléments de façade ou de balcon.
- Les installations de plus de 10 m² en zone dégagée.

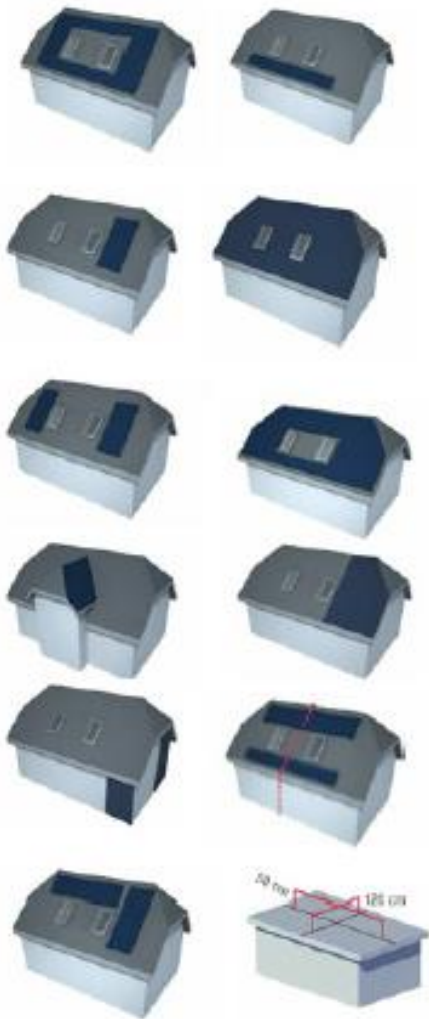
Pour les installations sans permis de construire comme pour celles qui en nécessitent un, il faut veiller à une bonne intégration à l'environnement bâti, notamment du point de vue de la couleur. Il faut aussi éviter de choisir des modules qui seraient trop réfléchissants.

3.5.3 Types d'installations non soumises au permis de construire⁵⁹

Les schémas suivants montrent comment il faut placer les modules afin que l'installation ne soit pas soumise au permis de construire. C'est le cas lorsqu'ils sont posés sur les toits ou, comme petite installation, sur des bâtiments annexes. Les exceptions concernent les installations sur des objets à l'inventaire cantonal ou sur des objets culturels d'importance nationale (voir chap. 1.6 et 2.3.1).

⁵⁸ Canton de Berne: "Directives pour les installations de production d'énergies renouvelables non soumises au régime du permis de construire" www.jurabernoisenergie.ch

⁵⁹ Idem



Ne nécessitent pas de permis de construire:

- les installations en carré ou en rectangle;
- les installations couvrant toute la toiture et les installations intégrées;
- les installations ajoutées en toiture, pour autant qu'elles ne dépassent pas 20 cm de hauteur;
- les installations qui couvrent entièrement une partie du toit ou celles qui sont alignées sur le bord du toit, ce dernier ne devant pas être dépassé;
- les installations en carré ou en rectangle disposées symétriquement;
- les installations compactes;
- sur les maisons jumelées ou à deux foyers, deux installations en carré ou en rectangle sur chaque unité;
- les installations en carré ou en rectangle, juxtaposées;
- les installations sur toits plats, en respectant une distance de 50 cm au moins du bord du toit et dont la hauteur ne dépasse pas 1.20 m à partir du bord du toit, et avec un garde-corps fermé;
- les installations de 10 m² au maximum (cadre inclus) sur les constructions annexes, pour autant qu'elles ne se situent pas à plus de 2.50 m du sol.

3.6 Notions de base en ferblanterie⁶⁰

Jetons un regard sur les divers travaux qu'accomplit le ferblantier sur une toiture en pente. Pour l'exécution des différentes pièces le spécialiste dispose des matériaux suivants:

- le cuivre (brillant, oxydé, patiné, étamé)
- le zinc-titane (brillant, prépatiné)
- l'acier chrome-nickel (brillant, mat)
- l'acier chromé étamé (*Uginox*)
- l'aluminium (brillant, coloré)
- l'acier galvanisé

⁶⁰ www.ggs-holzbau.ch; illustrations: www.dux-spenglerei.ch

La gouttière ou le chéneau



Image: www.dux-spenglerei.ch

Lors de précipitations normales, l'eau de pluie s'écoule du toit dans le chéneau qui est généralement fixé par des crochets à la planche de rive.

Il y a différents types de chénaux et de crochets correspondants, les chénaux à section semi-circulaires étant les plus courants; ils sont stables et leur coût est raisonnable. Il existe aussi des chénaux à section rectangulaire et des chénaux intégrés.

Selon les cas, on pose des crochets renforcés et, dans des régions où la pression de la neige peut être élevée, des crochets profilés.

La planche de rive peut aussi être protégée par une tôle appropriée.

La tôle latérale



Image: www.dux-spenglerei.ch

Si le toit touche un mur il faut prévoir un raccord étanche; c'est notamment le cas pour les lucarnes, fenêtres de toit et constructions annexes ou mitoyennes. La tôle est alors le matériau idéal, pour tous les types de toitures. L'exécution d'une tôle latérale, avec tous les détails que cela comporte, est l'affaire du ferblantier. On distingue entre une tôle simple, pliée, et la tôle encastrée, pliée et comportant une gouttière.

Les tablettes le long du virevent

Comme pour les zones de contact avec les murs mitoyens, on pose des tôles latérales pour fermer le toit du côté pignon. Selon le désir du propriétaire il s'agira de tôles, de tuiles ou d'autres matériaux de couverture.

La noue



Image: www.dux-spenglerei.ch

La noue est la ligne de rencontre de deux pans de toit formant un angle obtus. La couverture seule ne suffit généralement pas à obtenir une bonne étanchéité; il faut donc poser une tôle dans la noue. Il y a différentes formes de tôles de noue, la plus simple étant une tôle pliée qui recueille l'eau provenant des deux pans pour un écoulement vers le chéneau.

La bavette

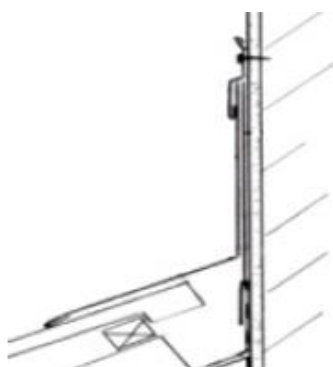


Image: www.dux-spenglerei.ch

La bavette est la pièce de tôle placée au point où la partie supérieure du toit est au contact d'un mur. Il faut assurer un passage étanche du mur au toit. La tôle doit recouvrir les tuiles d'une longueur égale au chevauchement d'une tuile à l'autre. Au contact avec la paroi, la bavette est munie d'une bande de recouvrement autoadhésive.

La cheminée et le tuyau d'aération



Image: www.dux-spenglerei.ch

Sur presque tous les toits, il y a une cheminée, un tuyau d'aération, une lucarne, une fenêtre de toit ou un autre élément technique quelconque. A cette diversité de percements de la toiture répondent de multiples possibilités d'étanchéité et de raccord avec les éléments de couverture.

L'embase d'étanchéité de la cheminée est fréquemment réalisée en tôle. Etant donné que les fumées contiennent du soufre, les éléments d'étanchéité doivent être réalisés en acier inoxydable (acier chrome-nickel) et il faut prévoir un vide ventilé sous ces éléments pour éviter la présence d'eau de condensation.

Contrairement au chapeau de la cheminée, l'habillage peut aussi être réalisé en cuivre, zinc-titane ou Uginox.

Le chien assis



Image: www.dux-spenglerei.ch

Le chien assis est un élément de construction accolé sur un toit en pente, comportant une ou des fenêtre(s) verticale(s). Il permet d'augmenter la surface habitable sous toit. Selon le type de toiture et la pente, la couverture du chien assis peut être identique au reste de la toiture. S'il est de dimension réduite ou de faible pente, le chien assis est recouvert de tôle à double pli. Les parties frontales ou latérales des adjonctions aux toits sont en briques ou en bois. Une couverture en tôle permet de les protéger des intempéries. Il en va de même des linteaux, embrasures et rebords de fenêtres. L'habillage en tôle offre une protection durable.

Couverture des rebords de fenêtre



Image: www.dux-spenglerei.ch

On utilise de la tôle pour recouvrir et protéger les éléments en bois d'un rebord de fenêtre. Pour que l'étanchéité soit parfaite, il faut poser les éléments de couverture avant de fixer portes et fenêtres. Le linteau et les montants peuvent également être recouverts.

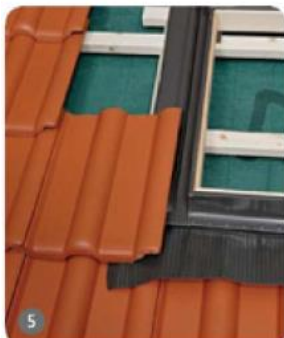
L'habillage des murs

Les murs de séparation, de soutènement et pare feu doivent être protégés de l'humidité et des intempéries par un habillage de tôle. Selon l'épaisseur du mur, la tôle, pliée au préalable, est posée en une ou deux pièces.

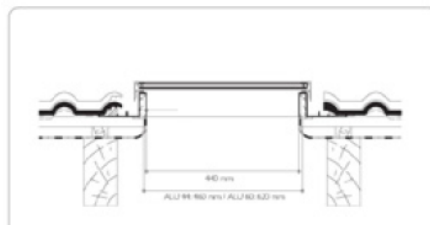
3.6.1 Les fenêtres de toit (insertion dans une toiture existante)⁶¹



Découvrir l'emplacement



Positionnement dans la toiture



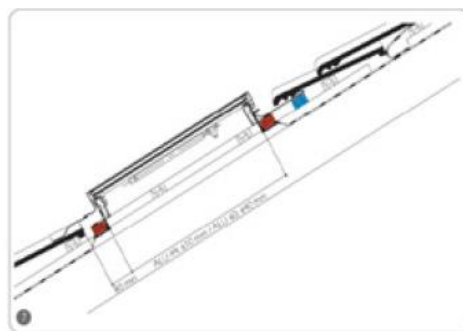
Coupe transversale



Adaptation du
tablier de tôle



La fenêtre de toit
terminée



Coupe longitudinale

3.6.2 Les supports de l'installation PV doivent être adaptés à la ferblanterie

Les raccords en ferblanterie ne doivent être ni endommagés ni modifiés lors du montage de l'installation photovoltaïque. Il faut d'une part prendre en considération le fait que des aménagements surélevés peuvent projeter une ombre et entraver la production photovoltaïque et d'autre part, il faut éviter que l'installation PV puisse représenter un danger pour la toiture existante.

Il est donc indispensable de respecter une distance suffisante entre l'installation PV et fenêtres de toit, les lucarnes, les cheminées, etc., de protéger l'étanchéité de tous les éléments durant le montage et de prendre toutes les mesures utiles pour éviter d'endommager la ferblanterie.

De plus, les fenêtres de toit posées à plus de trois mètres de hauteur doivent être sécurisées contre les chutes (voir la rubrique "sécurité").

Il faut équiper la toiture d'arrêts-neige partout où des coulées de neige pourraient se produire et tomber sur des espaces publics (chemins, places de stationnement, etc.).

⁶¹ Source: www.bramac.at

3.7 La protection contre la foudre

Tout planificateur doit avoir des notions de base sur la protection contre la foudre, les détails devant être réglés avec un expert en la matière.

Les données techniques de base:

- Principes directeurs de l'ASE 4022:2008
- Les explications d'Electrosuisse quant à ces principes directeurs
- La norme DIN EN 62305 sur la protection contre la foudre
- La norme DIN EN 62305-3 sur la protection contre la foudre et la surtension pour les systèmes de production de courant photovoltaïque

Trois conseils pratiques:

- **Les installations photovoltaïques n'impliquent pas l'obligation d'une protection contre la foudre.**
- **La protection contre la foudre concerne prioritairement le bâtiment et ses occupants; l'installation PV est de second ordre.**
- **La pose d'un paratonnerre en lieu et place d'une installation de protection contre la foudre n'est possible et n'a de sens que dans de rares cas.**

3.7.1 L'obligation de pose d'une protection contre la foudre

Une telle obligation n'est impérativement prévue que pour de grands bâtiments, administratifs, ainsi que pour des bâtiments qui peuvent potentiellement présenter un danger. Il n'y a pas d'obligation pour les maisons familiales. Mais si la maison est déjà munie d'un système de protection contre la foudre, l'installation PV doit obligatoirement y être reliée en maillage serré.

Seul un spécialiste est habilité à poser une protection contre la foudre et l'installation photovoltaïque doit absolument y être raccordée.

Pour plus de clarté, voici les principales notions de base:

Explication du concept de protection contre la foudre / LPS (lightning protection system)

- **Protection externe: partie du LPS comportant un dispositif d'interception, un conducteur et la mise à terre**
 - **séparé: avec une distance de sécurité par rapport à la partie interne**
 - **non séparé: en liaison avec la protection interne.**
- **Protection interne: partie du LPS consistant en un parafoudre, une liaison équipotentielle et/ou une isolation électrique par rapport au parafoudre externe.**

Il s'agit donc d'être au clair quant au système à mettre en place pour la protection contre la foudre⁶².

⁶² Source: Documents de formation CAS P+S de la HES de Lucerne

Pas de protection
contre la foudre

Variante 1:

Degré de
protection II

Variante 2:

Avec liaison
équipotentielle

Avec protection
contre la foudre

Variante 3

Protection contre
la foudre, maintien
de la distance de
protection

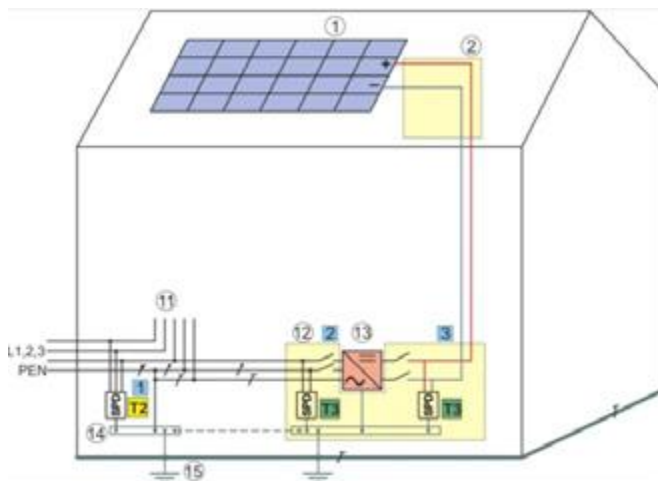
Variante 4:

Degré de
protection II

Variante 5:

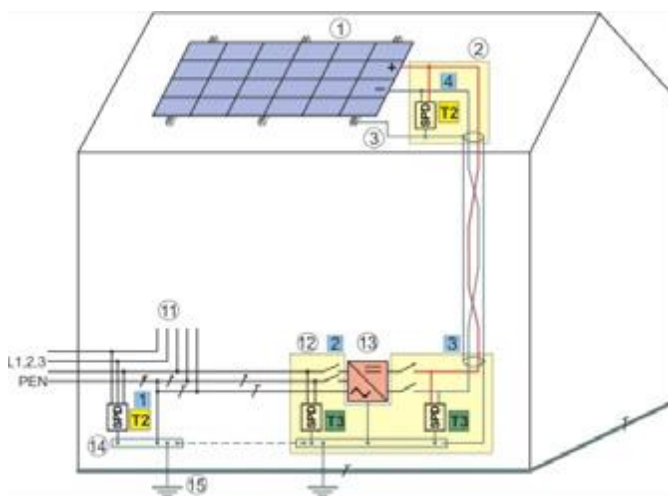
Avec liaison
équipotentielle

3.7.2 Les cinq variantes



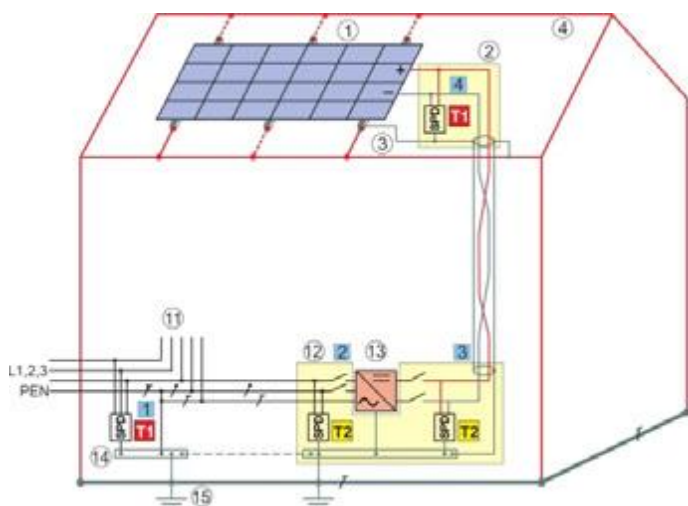
Variante 1 (pas de LPS)

- sans liaison équipotentielle
- pas de protection contre la foudre
- très peu utilisé, hormis pour les systèmes ne comprenant pas de parties métalliques (p.ex. Megalate)



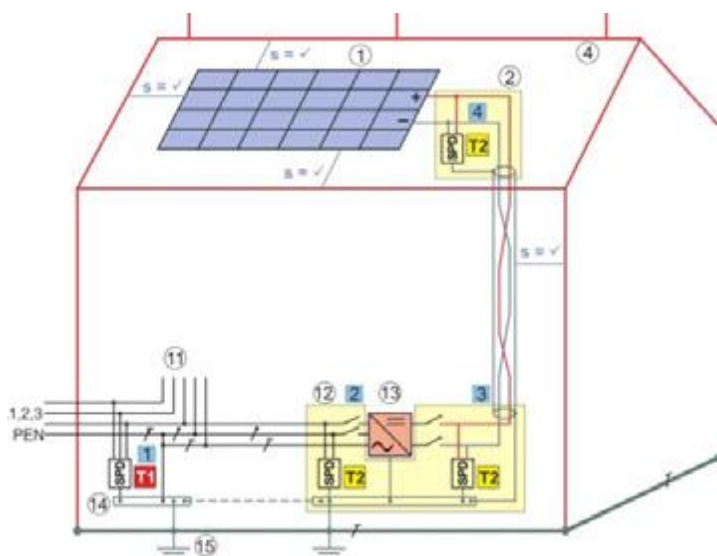
Variante 2 (pas de LPS)

- nécessite une liaison équipotentielle
- protection contre la foudre directe et indirecte
- c'est l'application normale pour une maison familiale



Variante 3 (LPS)

- nécessite liaison équipotentielle
- protection directe et indirecte contre la foudre
- du côté DC SPD de type 2 et de type 1



Variante 4 (LPS)

- nécessite une liaison équipotentielle
- protection directe et indirecte contre la foudre
- du côté DC SPD de type 2

Variante 5 (LPS)

Comme la variante 4, toutefois avec liaison équipotentielle et LPS, y compris la distance de sécurité.

LPS = système de protection contre la foudre

SPD = conducteur de la surtension

Type 1 = un système de protection contre la foudre est toujours nécessaire

Type 2 = une protection minimale du câblage DC est nécessaire, même sans système de protection contre la foudre

Recommandations pour l'exécution

Sur le toit:

- Chaque élément qui n'est pas isolé, qui ne conduit pas activement le courant, doit comporter une mise à terre (système de montage, cadres des modules, barrières de protection, etc.)
- Relier entre eux, en maillage serré, les éléments en question.

- Raccordement à la protection extérieure (si elle existe).
- S'il n'y a pas de protection extérieure contre la foudre, raccordement à la protection intérieure (liaison équipotentielle).
- Connecter en maillage serré la liaison équipotentielle / le paratonnerre avec les éléments de montage.
- Connexion avec la protection contre la foudre, le cas échéant par un éclateur de séparation. Précision: La séparation stricte entre la protection extérieure et la protection intérieure n'est en général pas possible du fait de la nature particulière de l'installation PV.
- Les câbles DC doivent être posés dans des gaines techniques ou des tubes métalliques qui doivent être mis à terre aux deux extrémités.

Dans le bâtiment:

- A partir du point d'entrée dans le bâtiment installer une liaison équipotentielle en protection le long des câbles DC.
- Choisir des composants de catégorie de protection II.
- Ne pas former des boucles inutiles avec les câbles posés à l'extérieur (en particulier les câbles des chaînes, pour éviter des courants induits).
- Installer la protection contre la foudre et la liaison équipotentielle sans boucles inutiles, sinon la foudre trouverait un raccourci.
- Veiller à une séparation entre les câbles protégés et les câbles non protégés, et notamment ne pas les poser en parallèle.

3.8 Le dimensionnement électrique

3.8.1 Quelle est la production annuelle d'une installation PV?

Une installation photovoltaïque en toiture, correctement orientée et sans ombre produit en Suisse durant environ 1'000 heures par année. Cela signifie qu'avec 20 modules à 250 Watt (soit 5 kW_c de puissance) on produit 5'000 kWh. Ceci ne concerne pas que les toits orientés vers le sud mais aussi, avec une orientation des modules est-ouest, les toits plats et les toits jusqu'à une pente de 10 %. On trouve sur internet des outils gratuits permettant de donner un meilleur pronostic quant à la production annuelle en tenant compte de la pente et de l'orientation du toit, ainsi que de l'horizon. Les sites les plus appréciés sont:

- PVGIS (re.jrc.europa.eu, outils internet européens)
- Toiture solaire (www.sonnendach.ch, outil internet de SuisseEnergie)

Si l'on doit s'attendre à ce que des obstacles environnants projettent de l'ombre, l'évaluation de la production devient difficile. En ce cas, il est important de choisir le bon concept d'onduleurs afin de limiter les pertes en énergie (voir chapitre 3.8.4 ci-après).

3.8.2 Quelle sera la taille de l'installation?

Il n'y a pas de réponse précise à cette question. Les critères varient notamment en fonction des options choisies par le maître de l'ouvrage. Pour les uns, l'objectif sera de produire annuellement l'équivalent des 100 % de leur consommation. D'autres voudront couvrir la surface maximale (en intégrant par exemple l'installation à la toiture) afin de contribuer au mieux à la transition énergétique ou pour avoir une réserve de puissance pour une future pompe à chaleur ou une voiture électrique. D'autres encore recherchent une installation ayant le meilleur rendement du point de vue économique.

En ce qui concerne les aspects économiques, la part autoconsommée est actuellement un paramètre important en Suisse car le kWh autoconsommé a une valeur bien supérieure à celle du courant injecté. La courbe ci-après montre les caractéristiques de la relation entre la taille de l'installation et l'autoconsommation visée (figure 15). Cette courbe, qui concerne l'habitat, est généralement confirmée et peu influençable, pour autant qu'il n'y ait pas de consommation électrique pour la production de chaleur, ni de batteries de stockage ou encore de voiture électrique (voir aussi le pilotage de la consommation au chapitre 3.8.7).

Plus l'installation est grande, plus la part autoconsommée est grande également. Cela ne signifie toutefois pas que les petites installations sont plus rentables. Un kW de puissance installée est plus cher sur une petite unité PV et le kWh de courant produit le sera évidemment aussi. De plus, le calcul de rentabilité dépend très fortement de l'évolution du prix du courant sur le marché; pour le courant acheté du réseau d'une part et de la rétribution du courant excédentaire d'autre part⁶³. Ces deux valeurs sont certes connues pour l'année en cours et peut-être l'année suivante, mais absolument pas pour les 25 à 40 à venir qui correspondent à la durée de vie de l'installation. Il est donc important de présenter clairement au maître de l'ouvrage les incertitudes en ce domaine, afin qu'il puisse prendre la bonne décision quant au dimensionnement de l'installation.

⁶³ Le site www.pvtarif.ch donne tous les tarifs de reprise de courant en Suisse.

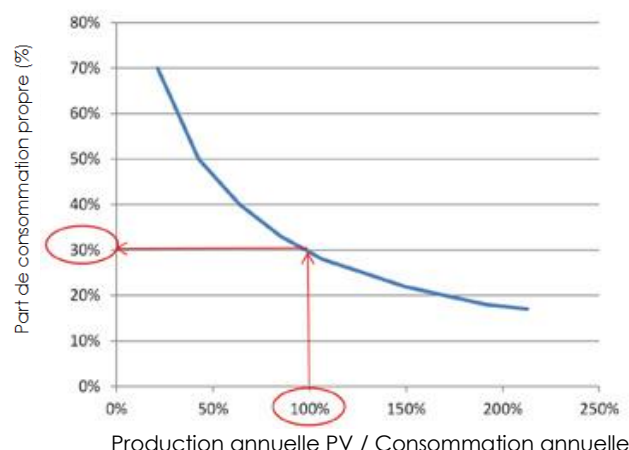


Fig. 15. Degré d'autoconsommation en fonction de la production annuelle. Dans cet exemple, si la consommation annuelle est couverte à 100 %, la part d'autoconsommation est de 30 %.

3.8.3 L'installation électrique



Les installations photovoltaïques produisent des tensions pouvant mettre la vie en danger.

Les court-circuits et autres défauts de montage peuvent provoquer des incendies.

- Seuls les installateurs électriciens au bénéfice d'une concession ont le droit de procéder aux raccordements électriques. Selon le genre de travail à effectuer, différentes concessions sont nécessaires. Dans certains cas, la communauté d'autoconstruction peut elle-même disposer d'une concession.
- Les seuls travaux qui peuvent être exécutés par des non professionnels sont d'une part les connexions des modules entre eux, au moyen de connecteurs isolés et déjà montés sur les câbles⁶⁴, et d'autre part, certains travaux tels que la fixation des appareils, la préparation des gaines techniques ou encore la pose de câbles qui ne sont pas connectés.

Les modules PV doivent évidemment être connectés pour que l'énergie produite puisse être utilisée. Ce type d'installation électrique ne correspond pas aux installations que l'on trouve habituellement dans une maison (lave-linge, éclairage, cuisine, etc.) parce que les modules PV produisent du courant continu qui doit être transformé en courant alternatif pour être injecté dans le réseau (domestique ou extérieur); cette transformation se fait au moyen d'un onduleur.

⁶⁴ Voir les directives ESTI n° 233 de septembre 2014

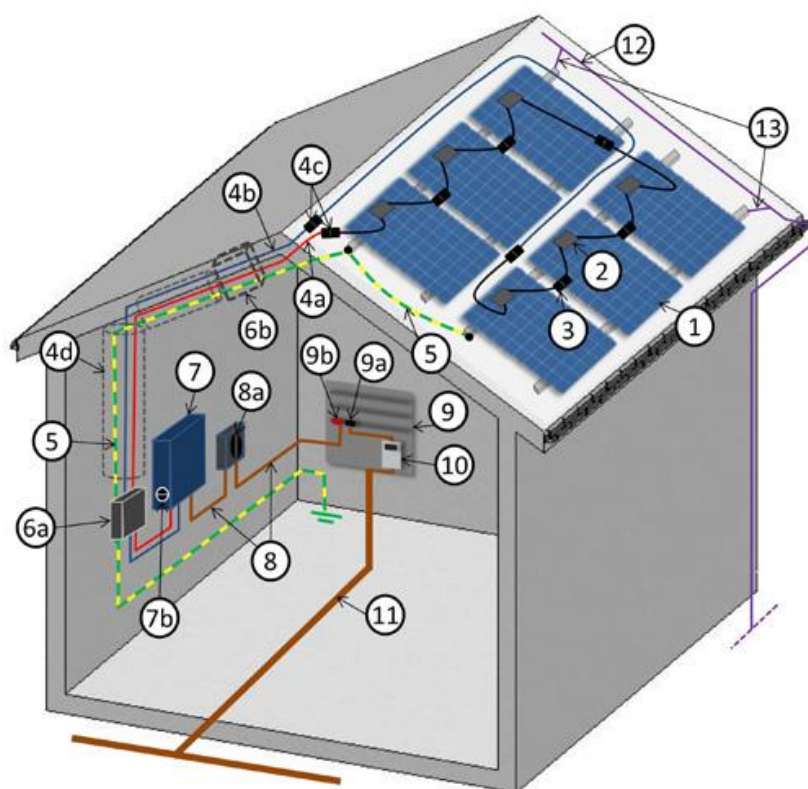


Fig. 16: Schéma caractéristique d'une installation photovoltaïque

- 1 Modules photovoltaïques
- 2 Boîte de connexion du module, avec câble positif et câbles négatif
- 3 Fiches de connexion pour le branchement en série des modules, conçues pour éviter la confusion des pôles.
- 4a Conduite positive vers l'onduleur
- 4b Conduite négative vers l'onduleur
- 4c Fiches de raccordement permettant de découpler l'installation en toute sécurité au départ du toit.
- 4d Gains techniques pour la pose des câbles DC; en métal à l'extérieur, en matériau ininflammable à l'intérieur.
- 5 Liaison équipotentielle / mise à terre
- 6a Boîte de jonction du générateur ou boîtier courant continu avec dispositif de dérivation de surtension et une partie des fusibles.
- 6b Autre emplacement possible pour le boîtier décrit en 6a.
- 7 Onduleur(s)
- 7b Interrupteur coupe-circuit du courant continu, intégré à l'onduleur (s'il n'est pas dans l'onduleur, il faut installer un coupe-circuit DC ailleurs, par exemple dans le boîtier courant continu).
- 8 Raccordement du courant alternatif à l'onduleur; à partir de 3,7 kW, toujours en triphasé.
- 8a Interrupteur de courant alternatif (AC) de l'onduleur; il est obligatoire si l'onduleur n'est pas à portée de vue du tableau électrique. Un interrupteur verrouillable posé dans le tableau électrique est aussi envisageable.
- 9 Tableau électrique de la maison
- 9a Fusibles de l'installation PV. Un interrupteur à courant de défaut (FI) est obligatoire dans certaines conditions.
- 9b Dispositif de dérivation de surtension du côté AC de l'onduleur; il n'est pas obligatoire, mais recommandé.
- 10 Compteur de l'exploitant du réseau; lors de la mise en service, le technicien de l'exploitant de réseau remplace l'ancien compteur par un nouveau, bidirectionnel.
- 11 Raccordement de la maison
- 12 Installation de protection contre la foudre (si toutefois il y en a une).
- 13 Raccordements de l'installation PV à l'installation de protection contre la foudre (s'il y en a une).

La figure 16 montre une installation PV et ses différents composants. La suite de ce chapitre est consacrée aux explications détaillées concernant ces éléments.

L'installation PV se trouvant sur le toit cela implique différentes mesures contre la surtension et la foudre. De plus, des interrupteurs spécifiques sont prescrits afin que l'installation puisse être mise hors service à tout moment. Le retrait des disjoncteurs ne suffit pas car les modules PV continuent de produire du courant dès qu'ils sont exposés à la lumière.

3.8.4 Les onduleurs

On distingue trois concepts différents en matière d'onduleurs:

- les onduleurs ordinaires (normaux),
- les onduleurs optimiseurs de puissance,
- les micro-onduleurs.

Alors que les onduleurs ordinaires doivent être paramétrés avec précision en fonction des modules, ce qui implique certaines connaissances en électricité, les appareils qui optimisent la puissance par contre, sont nettement plus polyvalents et moins exigeants en ce qui concerne la planification de l'installation. Les micro-onduleurs équipent individuellement chaque module; ils ne nécessitent pas d'entretien et ne posent aucun problème au niveau de la planification. Les onduleurs qui optimisent la puissance et les micro-onduleurs sont particulièrement indiqués si une partie des modules est momentanément à l'ombre, car dans ce système la production de chaque module est indépendante des autres modules. Les onduleurs ordinaires par contre, ont un réglage unique pour toute la chaîne et l'ombre projetée sur un module influence la production de tout le groupe.

Onduleurs optimiseurs de puissance

Par exemple: *SolarEdge*, *Tigo*

Avantages:

- Pas de problème si une partie de l'installation est occasionnellement à l'ombre.
- Des modules posés selon différentes orientations peuvent être interconnectés.
- Des chaînes de longueur différente peuvent être connectées en parallèle.
- Des chaînes plus longues sont possibles.
- Si l'installation est arrêtée, il n'y a pas de danger dû à la haute tension du côté DC.
- La surveillance et la gestion de l'installation se fait au niveau du module.
- Pour *Tigo*: il est aussi possible de n'équiper qu'une partie des modules avec le système d'optimisation, par exemple aux abords d'une cheminée.

Inconvénients:

- Chez *SolarEdge*, une installation de moins de 15 kW_c est nettement plus chère qu'une installation avec onduleurs ordinaires.
- De l'électronique sous les modules. La durée de vie des unités d'optimisation pourrait être moins longue que celle des modules.
- Si un jour les modules avec onduleurs *SolarEdge* devaient ne plus être disponibles, il n'y aurait plus de pièces de rechange pour les éléments d'optimisation.

Dimensionnement

Onduleurs optimiseurs de puissance (*SolarEdge, Tigo*)

En principe, c'est le producteur qui indique le nombre de modules à intégrer dans une chaîne, connectée à un onduleur. Si l'on souhaite suivre une autre norme, il faut solliciter l'intervention du designer de *SolarEdge*; il peut être mandaté directement par *SolarEdge*.

<https://www.solaredge.com/fr/products/installer-tools/designer#/>

Fondamentalement, les données techniques indiquent une longueur de chaîne minimale et maximale pour les onduleurs optimisant la puissance. Si on interconnecte des modules disposés selon des orientations et des angles variables, il faut avoir un nombre minimal de modules par orientation et seul le designer de *SolarEdge* est à même d'établir ce critère correctement. De plus, selon les données techniques, il y a une limite maximale de puissance DC pour l'onduleur. Avec l'intervention du designer de *SolarEdge*, tous ces critères sont respectés.

Onduleurs normaux (modules en chaînes)

Par exemple: *SMA, Kostal, Fronius, Kaco, ABB, Delta, Huawei*

Avantages:

- Nettement moins cher que *SolarEdge* pour les installations d'une puissance inférieure à 15 kW_c. Selon le modèle, c'est encore légèrement plus avantageux au-dessus de 15 kW_c.

Inconvénients:

- Dimensionnement compliqué
- Moins de flexibilité pour la répartition des chaînes et la disposition des modules
- Le circuit ne pouvant pas être coupé du côté DC, la tension élevée représente un danger de mort.
- Problèmes s'il y a de l'ombre.

Micro-onduleurs (*Enphase*)

Avantages:

- Solution la plus avantageuse pour les toutes petites installations (jusqu'à 2 kW_c environ).
- Très facile du point de vue électrique, pas de câbles DC.
- Sans courant DC, les hautes tensions sont exclues.
- Bonne exploitation des ressources possibles si une partie de l'installation est à l'ombre.
- Possibilités de disposer les modules selon différentes orientations.
- Données saisies individuellement pour chaque module.

Inconvénients:

- Système coûteux pour les installations de taille moyenne et grande.
- Problèmes s'il y a de l'ombre.

Sécurité

Remarque importante! Un planificateur qui n'est pas au bénéfice d'une autorisation au sens de l'art. 14 OIBT peut connecter des modules entre eux, mais il n'a pas le droit de connecter les modules à l'onduleur ou au reste de l'installation! Il n'a pas le droit non plus de monter des connecteurs/fiches pour installation solaire! Les chaînes peuvent présenter des tensions allant jusqu'à 1'000 V. Même par mauvais temps, la tension est suffisamment élevée pour provoquer des blessures mortelles en cas de

manipulation inadéquate. C'est pourquoi il est vivement recommandé d'intégrer des fiches coupe-circuit (à faire faire par l'électricien ou une personne au bénéfice d'une concession) à l'endroit où les câbles descendent du toit. Ces fiches ne doivent être connectées que lorsque tout est installé jusqu'à l'onduleur, afin que l'on puisse être sûr qu'il n'y a pas de tension dans les câbles DC tant que l'électricien n'a pas connecté les chaînes à l'onduleur.

Programmes

Chaque fabricant d'onduleurs a son propre logiciel de dimensionnement. Pour *Kostal*, il s'agit de *Piko Plan*. Les programmes sont disponibles sur les sites des fabricants. Il est important que le dimensionnement des chaînes soit défini par le fournisseur. Si l'on désire le faire soi-même, on a tout intérêt à recourir au logiciel du fabricant de l'onduleur. En alternative, nous montrons dans le chapitre suivant comment il serait possible de déterminer le dimensionnement soi-même.

Dimensionnement des chaînes par rapport aux onduleurs

- Les modules reliés en série provoquent une augmentation de la tension:
 $U_{\text{tot}} = U_{\text{mod}} * n$
- Les chaînes connectées en parallèle augmentent l'intensité: $I_{\text{tot}} = I_{\text{mod}} * n$
- Les chaînes en parallèle doivent comporter un nombre de modules identique. Les modules doivent tous avoir la même orientation.
- Si un onduleur comporte plusieurs MPPT (maximal power point tracker, à vérifier sur la fiche technique), cela équivaut à plusieurs onduleurs. Différentes chaînes peuvent donc être connectées à ces points.
- Les intensités et tensions indiquées sur les fiches techniques des modules correspondent à une température de 25° C pour le module et à un ensoleillement de 1'000 W (STC, standard test conditions).
- L'intensité maximale indiquée sur la fiche technique ne doit jamais être dépassée. Même par une température de +70° C! (Respecter le coefficient de température!)
- Il ne faut jamais dépasser 1'000 V de tension! Même lorsque le circuit est ouvert (U_{OC}), ni à une température de -10° C (respecter le coefficient de température!). Pour les installations situées au-dessus d'une altitude de 800 m, il faut sélectionner une température plus basse.
- La tension de fonctionnement (U_{MPP}) doit se situer dans les limites de tension MPP de l'onduleur (voir la fiche technique) à une température entre -10° C et 70° C (une température plus basse à partir de l'altitude de 800 m).
- Si l'installation est partiellement à l'ombre, la tension MPP sans ombre doit encore être dans les limites de la tension MPP de l'onduleur. S'il y a de l'ombre, même partiellement ou momentanément, il faut choisir un onduleur comportant une optimisation en fonction de l'ombre (par exemple *Kostal* ou *SMA*). Si plus de deux modules sont susceptibles d'être à l'ombre, les onduleurs à chaîne ne sont pas adéquats. Il faut alors avoir recours à des optimiseurs de puissance.

Calcul de l'intensité maximale

$$I_{\max} = I_{SC} * n * (1 + (T_{\max} - T_{STC}) * T_{\text{coeffI}})$$

I_{SC} = le courant de court-circuit du module

n = le nombre de modules

$T_{\max}$ = la température maximale (en général 70° C)

T_{STC} = 25° C

T_{coeffI} = le coefficient de température du courant

Calcul de la tension maximale (qui doit être inférieure à 1'000 V)

$$U_{\max} = U_{OC} * n * (1 + (T_{STC} - T_{\min}) * -T_{\text{coeffU}})$$

U_{OC} = tension avec circuit du module ouvert (marche "à vide")

$T_{\min}$ = température minimale (-10° C jusqu'à l'altitude de 800 m)

Les normes pour les installations à basse tension (NIBT) donnent une méthode simplifiée pour déterminer la tension maximale en circuit ouvert.

$$U_{\max} = 1.15 * U_{OC} (25^{\circ}\text{C}) < 800 \text{ m}$$

$$U_{\max} = 1.20 * U_{OC} (25^{\circ}\text{C}) < 1'500 \text{ m}$$

$$U_{\max} = 1.25 * U_{OC} (25^{\circ}\text{C}) > 1'500 \text{ m}$$

Détermination de la tension maximale en exploitation (doit se situer dans les limites MPP de l'onduleur)

$$U_{\max} = U_{MPP} * n * (1 + (T_{STC} - T_{\min}) * -T_{\text{coeffU}})$$

U_{MPP} = Tension en exploitation du module dans le MPP

$T_{\min}$ = Température minimale (-10° C jusqu'à l'altitude de 800 m)

Détermination de la tension minimale en exploitation (doit se situer dans les limites MPP de l'onduleur)

$$U_{\min} = U_{MPP} * (n - n_{\text{omb}}) * (1 + (T_{\max} - T_{STC}) * T_{\text{coeffU}})$$

n_{omb} = nombre maximal de modules à l'ombre

3.8.5 L'ombre projetée

Sans optimisation des modules ou micro-onduleurs, même une petite portion d'ombre présente déjà des effets sur l'ensemble de la chaîne. Si un seul module est à l'ombre, ce dernier peut encore être isolé du circuit par l'onduleur. Si deux ou trois modules sont concernés, ce n'est possible que si l'onduleur est muni d'un gestionnaire des ombres projetées. Cette gestion doit faire l'objet, pour chaque chaîne, d'une saisie dans le logiciel de l'onduleur correspondant. Les onduleurs *Kostal* et *SMA* par exemple, offrent cette possibilité. Si plus de trois modules sont influencés, la seule solution logique est de choisir les onduleurs *SolarEdge* où les optimiseurs de module gèrent individuellement chaque module.

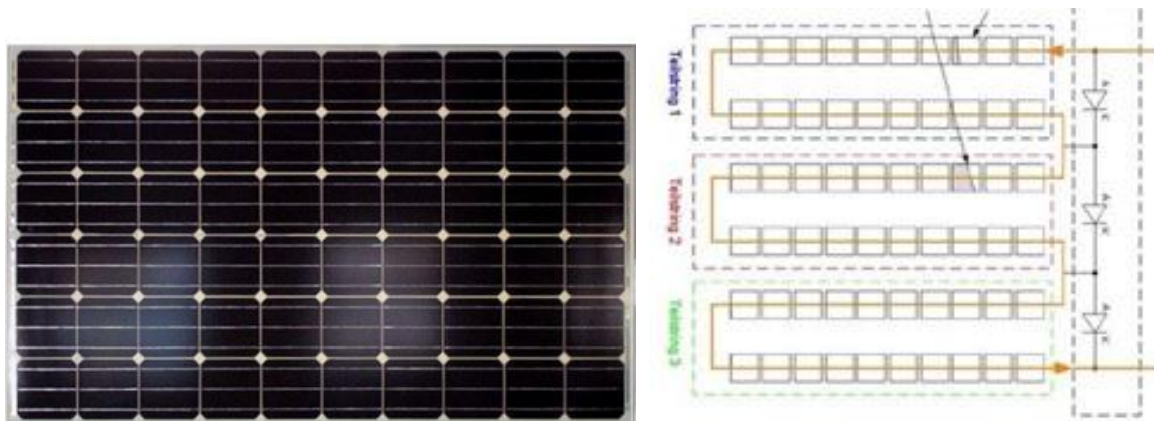
Principes fondamentaux:

- C'est toujours le module le plus faible qui l'emporte! Chaque module de la chaîne ne produit donc que la quantité d'énergie permise par le module le plus faible. Les modules étant connectés en série, cette baisse de puissance se réfère concrètement à l'intensité, qui est identique dans toute la chaîne. Au mieux, l'ondu-

leur ne peut contourner un module à l'ombre qu'en baissant la tension. Dans ce module contourné, le courant passe alors par la diode de bypass.

- Parmi les chaînes connectées en parallèle, c'est toujours la chaîne la plus ombrée qui l'emporte! Cela signifie que si dans une chaîne un module est ombré et la tension doit baisser pour continuer à sortir la puissance la plus élevée possible, la chaîne parallèle baissera sa puissance dans la même proportion.

Diodes Bypass



Module standard à 60 cellules et connexions internes avec 3 diodes bypass

Un module normal comporte trois diodes bypass. En cas d'ombre projetée partiellement sur le module, l'onduleur peut ainsi isoler $1/3$, $2/3$ ou l'ensemble du module. Le schéma ci-dessus montre que pour chaque unité il y a deux rangées de 20 cellules. Dans la mesure du possible, il faudrait veiller à ce que l'ombre partielle aborde le module dans le sens de la longueur pour ne mettre hors circuit qu'un tiers des cellules. Si l'ombre arrive par le petit côté, c'est l'ensemble du module qui est isolé.

3.8.6 Mise à terre, limiteur de surtension, boîtier du courant continu, FI (disjoncteur à courant de défaut), gaines techniques

Mise à terre

L'installation PV et les onduleurs doivent être mis à terre. (Exception: le système intégré au toit *Megaslade* de *Meyer Burger*, qui ne comporte pas d'éléments métalliques). La mise à terre est en général faite avec un câble d'une section de 10 mm². Si le raccordement de la maison dépasse une certaine intensité, il faut prévoir un câble de 16 mm² de section (Attention! Il s'agit de la puissance desservant la maison et non de celle de l'installation PV).

Onduleurs

Les onduleurs doivent faire l'objet d'une mise à terre directe, séparée (le câble à trois phases n'est pas suffisant). Exception: *SolarEdge*, où aucun point de connexion n'est prévu pour la mise à terre. La mise à terre se fait habituellement sur le point de mise à terre dans le tableau électrique général. En alternative, un autre point de mise à terre peut être utilisé dans la maison (conduite d'eau, etc.). Il n'est pas permis de créer des boucles de mise à terre du toit à l'onduleur puis au tableau électrique. L'onduleur doit avoir sa propre mise à terre.

Générateur solaire sans parafoudre

La sous-structure doit être mise à terre. Il n'est pas obligatoire de procéder à la mise à terre des modules fixés à la sous-structure. (Exception: Pour les systèmes intégrés, sans rails métalliques, tous les modules doivent être reliés entre eux et mis à terre.) De plus, le câble de mise à terre de 10 mm² ou 16 mm² de section doit être fixé à la sous-structure et mis à terre correctement. Normalement il s'agit d'un rail de mise à terre dans le tableau électrique principal. Si un système de protection de surtension est installé, la mise à terre peut passer en boucle par-dessus la protection de surtension. Par contre, il est interdit de faire une boucle autour de l'onduleur.

Il faut en outre être sûr que tous les rails se trouvant sur le toit sont reliés entre eux du point de vue électrique. C'est automatiquement le cas si les rails se croisent. Si tel n'est pas le cas, il faut connecter un câble de mise à terre de rail à rail. Si les modules ont des cadres en aluminium anodisé, la mise à terre d'un rail sur deux est suffisante, étant donné que le courant circule par les modules. Chaque rail ne doit faire l'objet que d'une seule mise à terre.

Générateur solaire avec parafoudre

Si la maison est déjà équipée d'un parafoudre, ce dernier peut rester en place parmi les modules, mais l'installation PV doit être intégrée au système parafoudre. La sous-structure doit donc être directement reliée au parafoudre avec un câble de 10 mm² ou 16 mm² de section ou avec un fil métallique de 6 mm de diamètre. Dans ce cas également, chaque rail (ou un rail sur deux comme décrit plus haut) doit être relié. De plus, il faut veiller à respecter les dimensions du maillage. Il y a différents systèmes parafoudre, avec des maillages de catégorie I (5 m), II (10 m) et III (15 m). Le raccordement de l'installation PV doit s'adapter aux normes de l'installation parafoudre existante pour que le dimensionnement de la mise à terre soit identique.

Protection contre la surtension (boîte de jonction à l'installation PV)

Installations PV sans parafoudre

Il n'est pas nécessaire de poser une protection contre la surtension tant que la distance séparant l'installation PV de l'onduleur (longueur des câbles) est de moins de 10 m⁶⁵. Si cette distance est supérieure, il faut, le cas échéant, insérer une protection contre la surtension de type 2, à placer si possible directement au point d'entrée dans le bâtiment. À l'aide d'une formule adéquate, dans laquelle le nombre annuel d'éclairs dans la région de référence est pris en considération, le spécialiste peut déterminer si l'installation de la protection de surtension est effectivement indispensable.

Installations PV avec parafoudre

La pose d'une protection contre la surtension de type 1 et 2 est impérative (à moins que cette dernière soit déjà intégrée dans l'onduleur, (p.ex.: pour *Fronius*). La protection contre la surtension doit être posée directement au point d'entrée dans l'immeuble. La mise à terre peut être faite avec un câble de 10 mm² ou de 16 mm² de section relié au tableau électrique ou à un autre point de mise à terre, idéalement même à l'extérieur, au parafoudre, mais dans ce cas la conduite de mise à terre ne peut pas se diriger vers le haut. Le raccordement au parafoudre n'est donc possible que si on peut avoir une connexion au pied de la maison. Un retour sur le toit n'est pas autorisé.

⁶⁵ Norme pour les installations à basse tension, NIBT 7.12.4.4.3.1

Interrupteur de courant de défaut (FI) dans le tableau électrique

Un interrupteur de courant de défaut n'est nécessaire que si l'onduleur ne comporte pas de dispositif de détection de courant de défaut. Tous les onduleurs usuels en sont aujourd'hui munis et c'est vérifiable en recherchant la norme VDE 126-1-1 ou VDE-ARE 4105 dans la notice technique. Si la personne qui contrôle l'installation a un doute, elle peut demander au fabricant de présenter une déclaration de conformité. Quoi qu'il en soit, un interrupteur FI est nécessaire si l'onduleur est installé dans une salle d'eau (buanderie, etc.).

Câblage

Selon les normes NIBT, il est obligatoire de poser les conducteurs des chaînes le long des modules. Cela signifie que sous chaque module, on trouve un câble (soit le câble positif, soit le câble négatif) de la chaîne concernée. Les câbles ne vont donc pas directement de la percée du toit au premier module, mais ils sont disposés le long des modules. Si les modules disposés sur le toit sont câblés en forme de S, les câbles des chaînes iront également en S, selon le même schéma, jusqu'au dernier module. Il doit en être ainsi pour que le courant revienne par le même chemin, car si l'on crée un espace important entre le câble aller et le câble retour, il en résulte de grandes tensions dues à l'induction au moment de l'arrivée d'un éclair. Les modules et les câbles des modules font également partie des circuits aller et retour.

Interrupteur AC de l'installation

Un interrupteur pour toute l'installation (aussi dit "interrupteur des pompiers") n'est nécessaire que lorsque l'onduleur n'est pas dans le même local que le tableau électrique général. Si un tel interrupteur est nécessaire, il doit être noir-gris; la couleur rouge n'est pas autorisée, elle est réservée aux coupures d'urgence.

3.8.7 La gestion pour l'optimisation de l'autoconsommation

Le prix de l'électricité vendue sur le réseau local étant plus élevé que le prix payé pour l'électricité injectée, le propriétaire de l'installation PV a intérêt à consommer la plus grande part possible de l'électricité qu'il produit. Il peut optimiser cette autoconsommation en changeant quelques habitudes de consommation. Il s'agira par exemple d'utiliser le lave-linge et le lave-vaisselle lorsqu'il y a du soleil. Par ailleurs certains appareils permettent de piloter, d'enclencher et de déclencher, un chauffe-eau électrique ou une pompe à chaleur en fonction du rayonnement solaire du moment.

L'optimisation de l'autoconsommation est un vaste thème comportant un nombre incroyable de possibilités et de produits différents. Nous ne présentons ici que les possibilités relevant de l'onduleur et de la *SmartFox*.

Vous trouverez des informations complémentaires dans le "*Manuel pour l'optimisation de l'autoconsommation*" qui peut être téléchargé en format pdf sur le site de VESE.

<http://www.vese.ch/download-handbuch-eigenverbrauchsoptimierung/>

Commutateur sans potentiel (exemples: *Kostal*, *Fronius*)

Une sortie sans potentiel permet de transmettre un signal pilotant un relais. Le relais est installé dans le tableau électrique par l'électricien et il enclenche et déclenche l'arrivée de courant à une unité de consommation. Il existe des relais à deux et à trois phases. Il existe aussi quelques systèmes *Smart Grid* prêts à l'emploi (p.ex.: pour les pompes à chaleur) qui interprètent le signal donné par le commutateur sans potentiel et où le relais n'est donc pas nécessaire.

Cette variante est surtout appropriée pour les pompes à chaleur et théoriquement aussi pour les lave-linge et les lave-vaisselle. La gestion d'un boiler électrique de 6 kW n'a de sens que si l'on dispose d'une installation PV de 15 kW_c ou plus (à partir de 12 kW_c si on a une bonne exposition au sud). L'onduleur *Kostal* ne permet de gérer qu'un seul appareil de cette manière.

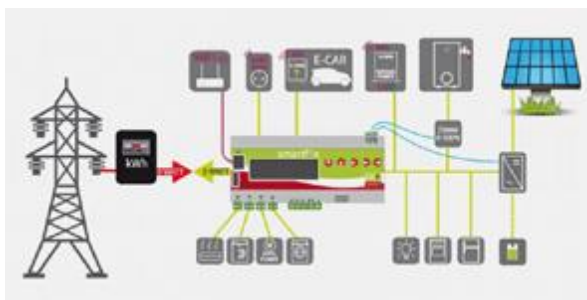
SolarEdge Smart Devices

Par l'intermédiaire du module ZigBee (piloté par WLAN), *SolarEdge* dispose d'une quantité d'applications smart. Mais pour la Suisse, seul le contacteur sans potentiel est utilisable actuellement. Ce dernier est piloté par WLAN et on peut intégrer plusieurs de ces contacteurs dans une seule installation.



Il existe aussi des prises murales avec interrupteur, actuellement toutefois seulement pour les prises allemandes. Par ailleurs, les boilers électriques peuvent être munis de régulateurs de résistances en continu, mais que pour les appareils jusqu'à 3 kW en monophasé. Comme en Suisse presque tous les boilers électriques ont une puissance de 6 kW en triphasé, ce régulateur ne peut pas être pris en considération.

SmartFox



SmartFox possède quatre sorties sans potentiel qui peuvent être configurées et priorisées individuellement. En outre, avec un variateur à thyristor on peut aussi régler un boiler (jusqu'à 6 kW). Le courant d'origine solaire va donc alimenter le boiler en continu jusqu'à ce que ce dernier atteigne la température voulue, peu importe si la puissance fournie par l'installation PV

est de 100 W ou de 6 kW. Le *SmartFox* peut également gérer en continu une station de recharge pour voiture électrique. Cette station de recharge doit toutefois être acquise chez *SmartFox*.

3.9 La sécurité par rapport à l'électricité

Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, les planificateurs et co-constructeurs qui ne sont pas au bénéfice d'une autorisation selon l'art. 14 OIBT ont le droit de connecter les modules entre eux, mais ils n'ont pas le droit de connecter des câbles de raccordement aux modules ou à l'onduleur. Ils n'ont pas le droit non plus de fixer des fiches aux câbles DC, car dès que les modules sont interconnectés, les chaînes peuvent présenter une tension allant jusqu'à 1'000 V. Même par mauvais temps, la tension dans les chaînes de modules est suffisamment élevée pour causer des blessures mortelles en cas d'erreur de manipulation. Le planificateur et les co-constructeurs ont le droit de poser tous les câbles, dans les gaines techniques et tubes adéquats, pour autant que les câbles ne soient pas connectés, ni à une extrémité ni à l'autre. Ces composants doivent être brièvement contrôlés par un électricien ou un titulaire de la concession, avant que ce dernier monte les fiches et qu'il les connecte.

Fiches de couplage

Il est vivement conseillé d'installer des fiches de couplage à l'endroit où les câbles quittent le toit, avant la descente vers les onduleurs, l'opération devant être faite par un électricien ou une personne au bénéfice d'une concession. Ces fiches ne seront branchées que lorsque tout est installé jusqu'à l'onduleur. On évite ainsi que les chaînes de câbles DC soient déjà sous tension alors que l'électricien ne les a pas encore branchées à l'onduleur. De plus ces fiches de couplage permettent en cas de nécessité d'isoler le système sur le toit.

Pour les titulaires d'une autorisation selon l'art. 14 OIBT et les électriciens

En toutes circonstances, les conduites électriques ne peuvent être manipulées que si elles sont hors tension. Si nécessaire et en situation d'urgence, il faut débrancher les prises, des deux côtés (au câble + et au câble -) du dernier module. En situation normale, il n'y a plus de tension dangereuse si on interrompt la chaîne à un endroit quelconque, mais il suffit qu'il y ait quelque part une mise à terre (p.ex.: un câble coincé entre le module et la sous-structure) pour que le courant circule du câble de la chaîne vers la terre et qu'il en résulte une situation très dangereuse. Même lorsque par exemple le câble est déconnecté du côté positif, la personne qui toucherait le câble négatif pourrait par rapport au sol (mise à terre) ressentir un choc de 1'000 V. C'est précisément ce qui justifie l'installation de fiches de couplage.

En résumé: qui peut faire quoi?

Les planificateurs et les co-constructeurs ont le droit de:

- monter les sous-structures;
- connecter les modules les uns aux autres;
- poser et tirer des câbles, monter des tubes et gaines techniques, pour autant que les câbles ne soient pas sous tension.

Les planificateurs et les co-constructeurs n'ont pas le droit de:

- monter des fiches sur les câbles des modules;
- connecter des câbles de chaînes ou de liaison aux modules
- connecter les câbles de chaînes aux onduleurs;
- exécuter des travaux au circuit ouvert de protection contre la surtension;
- connecter des câbles AC.

3.10 Le déroulement de la construction d'une installation simple, ajoutée en toiture

A l'aide d'une série d'illustrations et de quelques textes brefs, ce chapitre montre le déroulement et les différentes étapes de la construction d'une installation photovoltaïque typique, ajoutée sur un toit couvert de tuiles. Il ne s'agit pas d'un guide de montage, mais d'un premier aperçu permettant à l'autoconstructeur de se rendre compte de ce dont il s'agit. Le cas échéant, cet aperçu peut aussi être utilisé à des fins de formation.

La planification de l'installation PV

Le planificateur conseille le propriétaire et maître de l'ouvrage quant aux différentes solutions envisageables: le nombre de modules et leur orientation, les variantes et l'importance de l'investissement. Le planificateur doit se rendre sur place. Le toit mis à part, il est important de voir la cave, le tableau électrique général, l'emplacement à prévoir pour les onduleurs et les passages de câbles. Le planificateur soumet ensuite une offre comportant entre autres une estimation quant à la production de courant.



La demande de raccordement et l'annonce

Il est obligatoire d'obtenir préalablement l'autorisation d'injection de courant de la part de l'entreprise locale de fourniture d'électricité. L'installation doit par ailleurs être annoncée aux autorités communales, même si le permis de construire n'est pas nécessaire. Cette autorité est également chargée de vérifier si les conditions sont réunies pour une liberté d'installation sans permis de construire.

Données techniques pour l'évaluation des perturbations dans les r
(Selon les PDIE et le document AES 301/004 (D-A-CH-CZ), Règles techniques pour l'évaluation des perturbations de réseau
Demande de raccordement pour appareils et installations pouvant engendrer des harmoniques de tension et des asymétries ainsi que pour les installations de Production Décentralisée

1. Données générales

Nom et adresse du client (propriétaire de l'installation)		Téléphone
		Email ou fax
Lieu de l'installation, évent. N° de la parcelle	Genre de bâtiment	Téléphone
	☐ neuf ☐ individuel ☐ artisanat ☐ existant ☐ collectif ☐ industrie	Email ou fax
Nom et adresse de l'installateur	Collaborateur	Téléphone
	Mise en service prévue:	Email ou fax

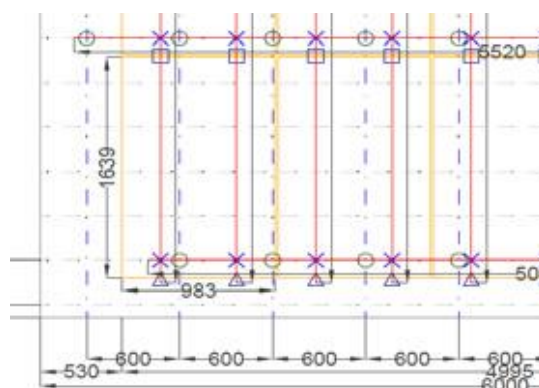
2. Données de l'appareil / installation

Genre d'appareil / d'installation		Fabricant de l'appareil			
Genre d'exploitation		Type d'appareil			
Données de l'équipement					
Nb de phases	Courant nominal	A	Puissance nominale	KVA	Nb dém.
Conducteur neutre	Courant démarrage (10ms)	A	Puissance nom. totale	KVA	Cosφ _{0,1}
	Nb d'équipements		Puiss. de pointe totale	KVA	Fact. Pu
☐ Oui					
☐ Non					

Fiche 1.18F de l'ASE

La planification de détail, la validation de la statique

Après avoir obtenu les autorisations et que la décision a été prise quant à la construction, le planificateur peut passer aux détails de l'installation. Cela comprend notamment les calculs pour le système de fixation par rapport au vent et à la neige (statique), ainsi que la liste exacte du matériel nécessaire. Le cas échéant, il faudra une deuxième visite sur place.



La commande

Après la planification de détail, il s'agit de commander tout le matériel (modules, onduleurs, supports, câbles). En règle générale, le maître de l'ouvrage doit payer le matériel d'avance.

La livraison du matériel

Il est important de prévoir une place pour l'entreposage du matériel et il faut évidemment que quelqu'un soit présent pour le réceptionner.



Le montage de l'échafaudage

Cette opération ne peut être faite que par un professionnel d'une entreprise de location d'échafaudages.

Dès que la date de début de chantier est fixée, il s'agit de commander l'échafaudage. Il sera monté par une entreprise reconnue dans le domaine, garantissant le respect des normes SUVA, ce qui permet un accès sécurisé au chantier.



Découvrir le toit (enlever les tuiles) à l'endroit des cochets

L'emplacement des crochets de fixation est déterminé à partir du plan de construction. Selon les estimations concernant le vent et la neige, il s'agit de poser deux à quatre crochets par module. En premier lieu, il faut enlever les tuiles aux endroits prévus pour les crochets. Ce sont des emplacements où on doit voir le contre-lattage ou un chevron. Une fixation au lattage n'est pas suffisante.



Le toit pendant la pose des crochets

Pour faire face aux fortes contraintes dues à la neige et au vent (particulièrement en altitude), il faut poser plus de crochets en bordure de l'installation. Pour une installation de 10 kW_c par exemple, il faut envisager la pose de 50 à 100 crochets. Sur une toiture de tuiles, c'est la pose des crochets qui représente la plus grande part du travail.



Le meulage des tuiles

A l'aide d'une meuleuse d'angle, il s'agit de pratiquer une encoche d'une largeur de 5 cm environ dans la tuile. Le crochet doit pouvoir passer par cette encoche, sans que l'étanchéité de la tuile soit remise en cause.



Le montage des crochets

Les crochets sont fixés au contre-lattage ou aux chevrons à l'aide des vis prescrites et de longueur suffisante. Une bonne visseuse à accumulateur permet de gagner beaucoup de temps. (La flèche indique l'emplacement de l'encoche dans la tuile.)



La mise en place les tuiles

Après avoir fixé le crochet, la tuile peut être remise en place. Il faut alors vérifier la pose et éviter que le crochet prenne appui sur la tuile de dessous; il pourrait en résulter une tuile cassée si la charge de la neige devient importante. La tuile du dessus doit aussi être bien remise en place pour éviter un passage d'eau.



La coupe des profilés d'aluminium

Les rails d'aluminium de la sous-structure sont livrés en pièces de 6 m de long. Il faut les scier à la longueur voulue. Les outils sont la scie à métaux, circulaire ou à main.



Le montage des rails d'aluminium sur les crochets

Les profilés d'aluminium sont fixés aux crochets. Les éléments doivent être ajustés les uns aux autres à 100 %; le travail sera plus aisé et la progression sera plus rapide.



La préparation des pinces à modules

Les pinces à modules sont fixées aux profilés en aluminium.



Le montage des modules

Les modules sont montés sur les profilés en aluminium. Sur un toit en pente, il vaut mieux travailler à deux. Un module de 60 cellules pèse entre 15 et 20 kg et les dimensions sont de 1,65 m par 1,0 m.



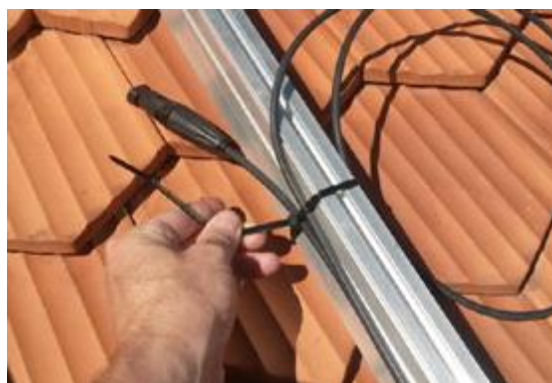
L'interconnexion des modules

Pendant ou juste après le montage d'un module, la fiche du pôle positif de l'un des modules est connectée à la fiche du pôle négatif du module suivant. C'est ainsi que sont formées les chaînes (strings) de modules qui peuvent compter jusqu'à 24 unités. Ces connexions doivent être exécutées en fonction du plan établi. Le travail est sans danger, les fiches des modules étant isolées.⁶⁶



La fixation des câbles

Les câbles de raccordement ne doivent pas reposer sur les tuiles, mais ils doivent être fixés aux profilés d'aluminium au moyen d'attaches de câbles. Il faut utiliser des câbles noirs, résistants aux UV.



Pose des câbles sous les tuiles

Les câbles de raccordement aux onduleurs peuvent être posés dans l'espace se trouvant sous les tuiles. Ils doivent alors passer dans des tubes flexibles résistants aux incendies.



Pose des gaines techniques en extérieur, sur la façade

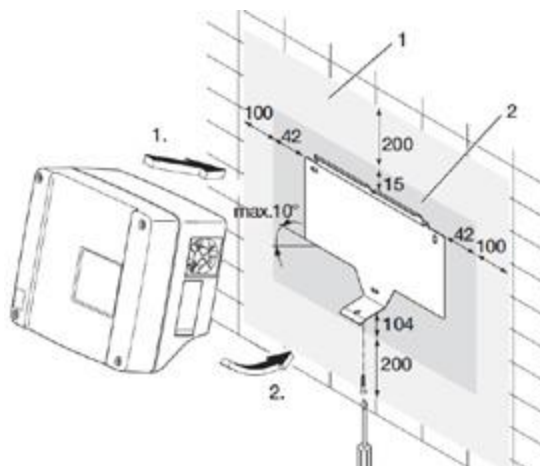
La solution la plus simple consiste souvent à poser les câbles de raccordement en extérieur, sur la façade. Il faut alors les faire passer dans une gaine technique en aluminium. Les non-professionnels peuvent poser (tirer) les câbles, mais en aucun cas les raccorder.



⁶⁶ Il est très important que les fiches soient compatibles les unes avec les autres, sinon il y aurait à terme un danger d'incendie.

Montage des onduleurs et de la boîte de jonction

Le ou les onduleur(s) et la boîte de jonction du générateur (de l'installation PV) sont livrés avec le reste du matériel. Ces deux appareils doivent être fixés au mur à l'endroit approprié. Le support doit être inflammable et il faut une aération suffisante.



Assemblage et connexion des fiches DC

Cette opération ne peut être réalisée que par un électricien au bénéfice d'une concession!

Les câbles entre les modules et l'onduleur sont munis de fiches et branchés correctement ou directement vissés aux connecteurs prévus dans l'appareil. Dans certains cas, il y a une boîte de jonction avec disjoncteurs et limiteur de surtension entre les modules et l'onduleur. A l'intérieur de la maison, les câbles sont disposés dans des gaines techniques.



Boîte de jonction

Raccordement de l'onduleur au tableau électrique

Cette opération ne peut être réalisée que par un électricien au bénéfice d'une concession!

Du côté AC (courant alternatif) l'onduleur est relié au tableau électrique. Dans le tableau électrique, il y a un disjoncteur pour l'installation solaire.



Raccordement de la mise à terre

Cette opération ne peut être réalisée que par un électricien au bénéfice d'une concession!

Le câble de mise à terre (liaison équipotentielle) est mis à terre.



Changement du compteur

Cette opération est effectuée par le technicien du distributeur d'électricité.

L'ancien compteur est remplacé par un nouveau qui mesure aussi bien l'électricité consommée que le courant injecté dans le réseau.



Étiquettes informant les électriciens et le service du feu

Des étiquettes de mise en garde doivent être apposées sur le boîtier électrique, l'onduleur et sur les gaines techniques DC. Il s'agit d'avertir les intervenants quant à la tension venant des modules si ceux-ci ne sont pas déconnectés.



Contrôle

Cette opération est effectuée par un contrôleur d'installations électriques.

Un contrôleur indépendant réceptionne la partie électrique de l'installation et il établit le rapport de sécurité.

Mise en service

Le planificateur met en service et teste l'installation. Le maître de l'ouvrage reçoit les explications nécessaires à l'exploitation et la documentation y relative. L'installation peut à présent aussi être annoncée à la Confédération en vue de la perception de la rétribution unique (RU).



Suivi à distance

La plupart des installations sont maintenant connectées à internet, ce qui permet de suivre le fonctionnement et la production à partir d'un ordinateur ou d'un téléphone mobile. La connexion se fait soit par le réseau WIFI, un câble (Ethernet) ou par son propre module GSM avec carte SIM. Dans ce dernier cas il faut tenir compte du coût des communications.



L'installation est prête

L'installation photovoltaïque est en exploitation. Elle fonctionne de manière autonome et sans entretien. La Confédération versera la rétribution unique au propriétaire dans un délai de 6 à 18 mois. Les factures que le service de l'électricité adressera dès lors au propriétaire comprendront un crédit correspondant au courant injecté dans le réseau. S'il s'agit d'une très grande installation, les factures d'électricité pourront présenter un solde négatif; le propriétaire percevra donc des montants correspondant à l'énergie excédentaire livrée.



3.11 La sécurité de l'installation, les dangers

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un chantier très compliqué, la construction d'une installation photovoltaïque peut présenter certains risques directs et indirects; des dégâts peuvent être occasionnés.

Les causes des dégâts les plus fréquentes sont:

- des modules ou des structures endommagées lors du montage,
- des défauts de statique,
- le vent,
- la neige accumulée, des glissements de paquets de neige,
- la grêle,
- la surtension, la foudre,
- un court-circuit, un arc électrique, le danger d'incendie,
- (les rongeurs)

Les dégâts lors du montage

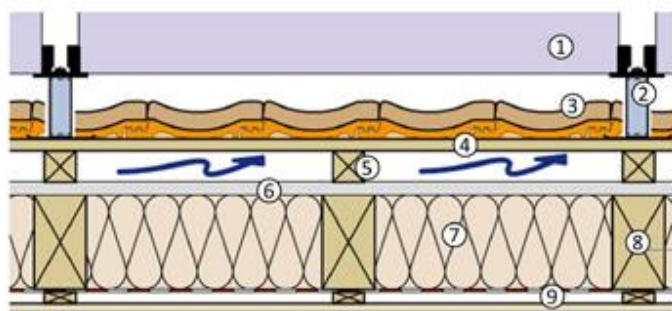
C'est surtout lors du montage d'installations ajoutées en toiture que les dégâts peuvent survenir par l'endommagement du revêtement de toiture (tuiles, Eternit, Eternit ondulé, etc.). Les bordures et garnitures, les éléments de ferblanterie peuvent aussi être endommagés.

Ces dégâts peuvent mettre en cause l'étanchéité du toit. En Suisse, les toits en pente construits il y a moins de 30 ans comportent en principe tous un vide ventilé avec sous-toiture et contre-lattage, ce qui signifie que le cas échéant l'eau qui s'infiltrerait, pourrait s'écouler et l'humidité résiduelle pourrait sécher. Mais malheureusement...

1. ... tous les toits ne sont pas construits sur ce modèle, et
2. certaines sous-toitures ne sont plus étanches.

Pour autant que l'enveloppe du toit ne soit pas endommagée, ce manque d'étanchéité n'a toutefois aucune importance.

Possibilités pour éviter les dommages:⁶⁷



Système ajouté, pose des modules sur un toit en pente.

- (Coupe horizontale, à 90° du chevron)
- 1 Module solaire (thermique ou PV)
 - 2 Élément de montage, directement sur le contre-lattage. Étanchéité avec une tôle au-dessous.
 - 3 Couverture: toiture de tuiles
 - 4 Lattage
 - 5 Contre-lattage, créant un vide ventilé
 - 6 Sous-toiture formant une deuxième étanchéité
 - 7 Isolation
 - 8 Chevron
 - 9 Pare-vapeur et vide ventilé intérieur

Dans le système de montage présenté dans le schéma précédent, on a ajouté une pièce en tôle sous chaque crochet. Il serait aussi possible de poser un disque en Néoprène ou d'une autre matière du genre. Il s'agit là d'un système très compliqué qui devrait néanmoins être envisagé pour tous les toits insuffisamment ventilés. Le système ne constitue toutefois pas une solution lorsque la sous-toiture n'est pas étanche. Dans ce cas, il faut renouveler la sous-toiture ou envisager la pose d'une installation PV intégrée.

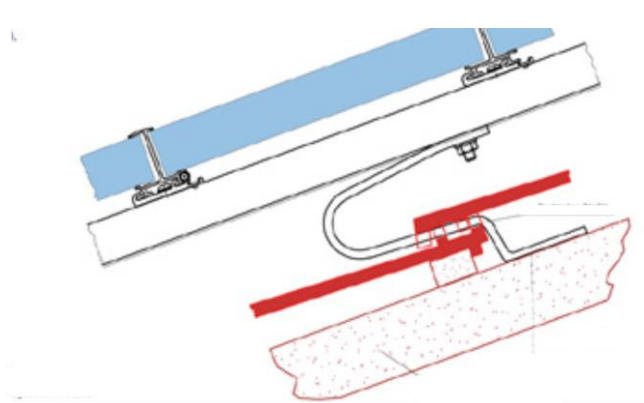
Il est essentiel de toujours veiller à n'endommager en aucun cas la sous-toiture lors de la pose d'une installation ajoutée en toiture.⁶⁸

Rupture ou endommagement d'une tuile

Si une tuile est cassée, il faut la remplacer. Même si les modules recouvrent les tuiles par la suite, l'enveloppe du toit n'est plus étanche. La pluie ou la neige, poussées par le vent, peuvent pénétrer sous les tuiles endommagées.



Erreur de montage = tuile cassée



Casse: la tuile inférieure peut subir la pression du crochet; il existe des crochets résistants à la pression.

⁶⁷ Source: "Montage d'installations photovoltaïques ...", fiche technique de la commission pour l'énergie.

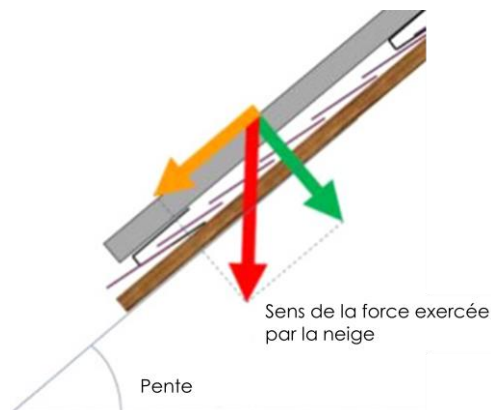
⁶⁸ Source: "Montage d'installations photovoltaïques ...", fiche technique de la commission pour l'énergie.

Dans certains cas d'exception, il peut être nécessaire de percer la sous-toiture pour consolider la sous-structure. Ces travaux ne peuvent être exécutés que par un spécialiste qui se charge ensuite de l'étanchéité à cet emplacement.



Pour les toits plats, le problème de l'étanchéité est en général en relation directe avec le vent et la statique. Ces questions doivent être réglées conjointement.

Statique / vent / poids de la neige / coulées de neige

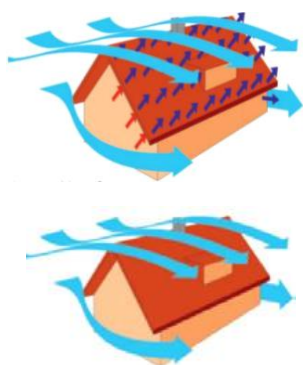


Le toit doit être examiné avant toute construction d'une installation PV.

A part le poids de l'installation elle-même, le toit doit pouvoir supporter la neige. Il faut particulièrement tenir compte du fait que la neige glisse facilement des modules PV et qu'il peut en résulter une charge supplémentaire en bordure de toit. En cas de doute, il faut absolument prendre conseil auprès d'un spécialiste de la statique.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier que la neige ne doit pas glisser du toit sans que sans que ce mouvement puisse être contrôlé, notamment si la neige peut tomber sur le domaine public. La responsabilité civile du propriétaire est engagée en cas de dommages ou de blessures à autrui.





Effet de pression et de succion du vent



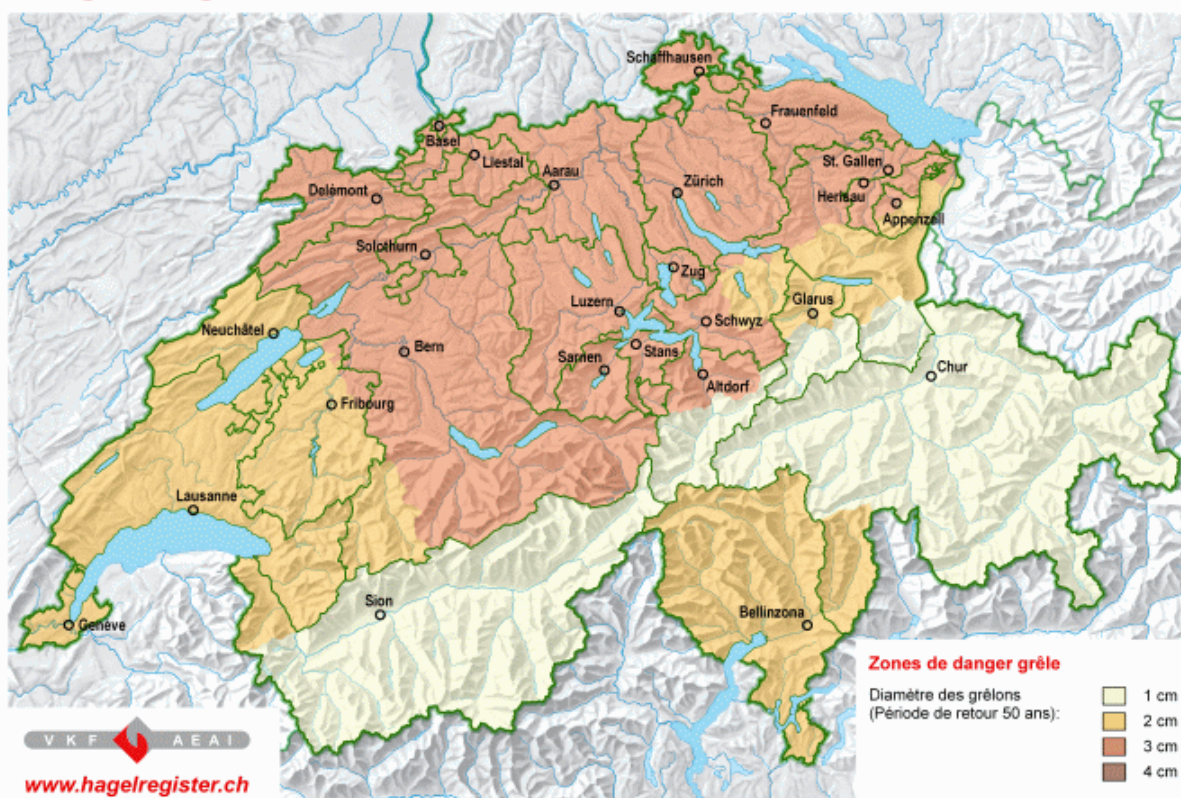
Dégâts après le passage d'une tempête. Cause: une mauvaise disposition des poids de lestage⁶⁹

Le fournisseur ou fabricant de la sous-structure et de l'ensemble du système doit calculer et être à même de déterminer les pressions exercées par le vent. Les caractéristiques (rigidité, densité) des éléments de sous-structure ne peuvent en aucun cas être modifiées unilatéralement par les autoconstructeurs. Il est dès lors important, lors du projet et du dimensionnement de la sous-structure, de procéder à une analyse exacte des dimensions des chevrons, des distances entre chevrons et, pour les toits plats, de la structure du toit.

La grêle⁷⁰

Danger de grêle en Suisse

Période de retour 50 ans

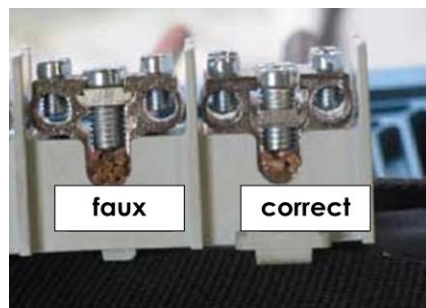


En Suisse, on ne devrait monter que des modules de la classe de résistance HW3 et dans les régions particulièrement exposées à la grêle, des modules de classe HW4.⁷¹

⁶⁹ Source: "Wetterfest?", document de l'assurance des bâtiments du canton de Zurich

⁷⁰ Source: www.vkf.ch, AECA (Association des établissements cantonaux d'assurance)

Surtension / foudre / court-circuit / risque d'incendie



Incendie à la suite d'un court-circuit. Cause: un serre-fils desserré parce que la plaquette de serrage a été mal engagée sur le pas de vis.

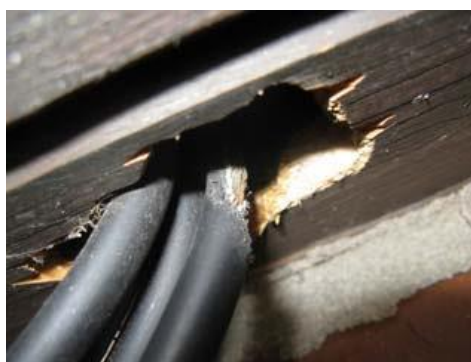
Dégâts potentiels en raison de câbles endommagés

Causes de dégâts aux câbles:

- dégâts dus à l'outillage,
- frottements sur des pièces des sous-structures ou des modules (arêtes),
- altération par les intempéries ou le rayonnement UV sur des parties insuffisamment protégées,
- dégâts dus aux rongeurs.

Mesures de protection:

- formation des constructeurs et outils adéquats,
- utiliser des tubes pour les câbles (c'est aussi une protection supplémentaire contre le rayonnement UV).



Dégâts dus au frottement



Utilisation d'un outil inadapté



Le passage d'un câble par-dessus un mur pare feu est interdit.



Les câbles doivent passer dans des gaines techniques ignifugées

⁷¹ Source: "Wetterfest?", document de l'assurance des bâtiments du canton de Zurich



Il faut une autorisation spéciale pour installer des onduleurs sur une surface en matériau combustible



De la condensation dans la boîte de jonction qui n'est pas étanche; risque de court-circuit et d'incendie

3.12 La mise en service et la réception de l'installation PV

La réception de l'installation est un point très important pour tout projet PV, c'est aussi le cas pour l'autoconstruction. Il s'agit d'un équipement qui sera en place pour 20 à 30 ans et qui doit fonctionner avec un minimum de frais supplémentaires et si possible sans avoir à intervenir pour des réparations. Au moment de la réception, l'installation doit être vérifiée une dernière fois et il faut pouvoir, en toute âme et conscience, exclure tout risque pour les utilisateurs, les intervenants et le matériel.

La réception signifie la fin du projet et la remise de l'installation au propriétaire et maître de l'ouvrage. Cette remise, qui se fait sans exigence légale formelle, concerne l'ensemble du projet.

La liste suivante permet au planificateur et conducteur des travaux de vérifier les points les plus importants.

Liste de contrôle pour la remise et la mise en service de l'installation

Vérifications à faire	Vérifié / fait
Partie mécanique de la construction: • La fixation des modules et de la sous-structure est-elle en conformité avec les prescriptions (A-t-on utilisé le nombre prescrit de crochets? S'agit-il de vis conformes? Toutes les vis ont-elles été serrées correctement?) • A-t-on utilisé les matériaux conformes? (Pas de vis galvanisées, pas de contact entre l'aluminium et le cuivre.) • L'ensemble de l'enveloppe du toit est-elle étanche? Le cas échéant, l'étanchéité a-t-elle été reconstituée?	
• Tous les câbles DC ont-ils été tirés dans des tubes dépourvus d'halogènes et ininflammables? Les câbles DC entre le toit et les onduleurs ne doivent être visibles en aucun endroit. • Pour une installation intégrée: Le matériau utilisé pour la sous-toiture est-il ininflammable?	
Les câbles DC et AC ont-ils été posés séparément (p.ex.: dans des gaines techniques différentes, dans une gaine avec cloison ou en tirant le câble DC dans un tube s'ils sont dans la même gaine).	

Les onduleurs et la protection de surtension sont-ils accessibles (l'écran devant être au minimum à 40 cm et au maximum à 2 m du sol)?	
Les écarts minimaux autour des onduleurs correspondent-ils aux fiches techniques de ces derniers (pas de risque de surchauffe)?	
Les onduleurs ne sont-ils pas montés sur un support inflammable?	
Les distances au paratonnerre sont-elles respectées? Les câbles allant des modules aux onduleurs, ainsi que les onduleurs eux-mêmes, doivent toujours être à 1 m au moins d'un paratonnerre.	
Il est interdit d'installer des onduleurs dans des environnements inflammables (pas dans les étables ou écuries dans lesquelles se trouvent de la paille ou du foin).	
S'il y a un paratonnerre, une protection de surtension de types 1+2 a dû être installée.	
Le nombre de modules a dû être déterminé pour que l'on n'atteigne jamais une tension de 1'000 V. De plus, toutes les chaînes doivent être dans la plage de tension MPP de l'onduleur.	
Inscriptions correctes: Tous les câbles DC sont-ils correctement étiquetés près des onduleurs et de la protection contre la surtension? Autocollants d'avertissement sur: • les onduleurs: coupure de l'installation PV et installation DC • la protection contre les surtensions: installation DC • les gaines techniques avec câbles DC: câble DC, installation PV • le tableau électrique: avertissement pour le service du feu et pour la coupure de l'installation PV • boîte de raccordement de la maison: avertissement pour le service du feu • classeur de documentation: coupure de l'installation PV Les autocollants peuvent être commandés sur le site www.swissolar.ch (shop).	
La réception et le contrôle électrique ont eu lieu, les justificatifs de sécurité ont été présentés.	
Le dossier technique de l'installation est présent.	
Le propriétaire a été initié.	
La puissance indiquée pour l'installation est-elle plausible?	
Les demandes pour la rétribution unique et les éventuelles subventions ont-elles été déposées et confirmées?	

Au titre de moyen auxiliaire, on peut utiliser le procès-verbal "Mise en service et réception" de Swissolar (Swissolar, *Protocole d'essai et de contrôle des installations PV*).

Réception électrique

La réception électrique est une phase importante, obligatoire et faisant l'objet d'une réglementation légale. Elle comprend l'annonce de l'installation, l'avis de mise en service, les rapports de sécurité pour les parties AC et DC et le contrôle effectué par un contrôleur indépendant. Tous ces travaux ne peuvent être exécutés que par un spécialiste au bénéfice d'une concession. Les électriciens mandatés dans le cadre de l'autoconstruction connaissent ces exigences et ils sont à même de prendre la responsabilité de l'accomplissement de ces tâches.

La réception AC peut être faite par l'électricien. La réception DC peut être faite par l'électricien, par un contrôleur externe ou par un collaborateur du réseau de distribution, titulaire de la concession.



Annexes

4.1 Les documents de la Coopérative EWG Berne

La version allemande de ce manuel www.vese.ch/selbstbauhandbuch contient les documents originaux de la Coopérative EWG Berne suivants:

- Statuts de la coopérative
- Règlement d'organisation de la coopérative
- Conditions générales de la coopérative
- Compte de pertes et profits 2016 et bilan au 31.12.2016 de la coopérative
- Offre type pour un projet d'autoconstruction de la coopérative
- Description du système de comptabilisation des heures de travail utilisé par EWG

Ces documents n'ont pas été traduits. VESE se tient néanmoins à disposition pour soutenir des intéressés francophones avec des traductions ou d'autres actions dans le cadre de la création d'une organisation d'autoconstruction.

4.2 Investissements de démarrage d'une coopérative d'autoconstruction

Investissements initiaux

- Création (statuts, registre du commerce): CHF 1'000.-
- Equipement outils et machines: CHF 1'900.-
- Equipement par planificateur: CHF 600.-
- Publicité et communication (dépliant, soirée d'information): CHF 1'000.-

La constitution d'une coopérative d'autoconstruction représente donc un investissement de base de CHF 5'000.- environ, ce qui correspond à 10 coopérateurs souscrivant chacun à une part de CHF 500.-. Le point crucial clé consiste à pouvoir disposer du premier planificateur ou à former ce dernier. Cela peut par exemple se faire dans une autre coopérative, où le planificateur est formé en travaillant sans rémunération, comme "apprenti", sur trois réalisations au moins.

Liste des outils et machines

Le matériel suivant est suffisant pour quatre planificateurs, à condition qu'ils travaillent dans la même région.

Equipement	Coût (CHF)
2 visseuses à accu avec couple élevé (p.ex. Dewalt DCD985L)	300.-
2 meules à angle à accu, avec le même accu (p.ex. Dewalt DCG412)	200.-
6 accus à 5 Ah, 20V (p.ex. Dewalt DCB 205)	450.-
2 chargeurs pour les accus (p.ex. Dewalt DCB 105)	100.-
1 scie circulaire, sur support, avec lame pour aluminium (p.ex. scie circulaire pour métaux MTS 356)	900.-
1 alternative à la scie circulaire: 1 scie circulaire à accu (p.ex. Dewalt DCS391)	150.-

Equipement supplémentaire pour chaque planificateur

Equipement	Coût (CHF)
1 pince à sertir 6 à 50 mm	30.-
1 pince à sertir pour connecteurs solaires Multicontact MC4	30.-
1 pince à dénuder pour câble solaire 4mm ² et 6 mm ²	100.-
1 pince ampérométrique pour courant DC, avec voltmètre 1000 volt	150.-

Matériel supplémentaire que l'on trouve facilement dans le commerce de détail (Landi, brico-loisirs, etc.); total aux environs CHF 350.-:

- Marteau et ciseaux
- Lunettes de protection, masques de protection, protections auditives
- Caisse à outils avec l'outillage de base, y compris une scie à métaux (à main)
- Jeux d'embouts torx, en croix, plats et inbus
- Double-mètre, chevillère, ficelle
- Neocolor, craie, feutre indélébile
- 2 poignets, supports magnétiques pour embouts et douilles
- 2 clés à douilles
- Jeux de forets pour pierre, bois et métal (pour visseuse sans fil)
- Pince coupante, couteau japonais, pince
- Alène (pour les installations intégrées)

4.3 Check-list pour les échafaudages

- Les toitures en Eternit construites avant 1990 peuvent contenir de l'amiante et ne doivent pas être touchées.
- Dès que le bord du toit se situe plus de trois mètres sol, le chantier doit être muni d'un échafaudage.
- Les revêtements d'échafaudages en bois ne sont pas autorisés; ils doivent être en métal.
- Les serre-câbles et les fils ne sont pas autorisés.
- La distance entre l'échafaudage et la façade ou la gouttière ne doit pas excéder 30 cm.
- Le pont de ferblantier (couloir d'échafaudage le plus haut) ne peut pas être placé à plus d'un mètre au-dessous de la gouttière.
- L'échafaudage de l'avant-toit doit dépasser d'au moins 80 cm le bord du toit.
- A partir d'une inclinaison de 25°, une paroi de protection de toiture est obligatoire (il s'agit d'un filet ou de barres transversales, séparées verticalement les unes des autres de 25 cm au maximum).
- Le toit doit être accessible en toute sécurité (par des escaliers et non par des échelles).
- L'échafaudage doit dépasser les bords du toit et les lucarnes d'au moins 80 cm.
- Mesuré perpendiculairement au sol, l'échafaudage doit dépasser le bord du toit d'un mètre au moins.
- A partir d'une hauteur de chute de 3 m, les endroits qui ne sont pas à l'épreuve de la rupture (panneaux lumineux, toits ondulés en Eternit, ouvertures, fenêtres, structures en plastique et en plexiglas, puits de lumière) doivent être sécurisés avec un filet ou couverts de manière appropriée.
- Les toits de plus de 60° (ou moins s'il y a risque de glissade) ne peuvent être franchis qu'à l'aide d'une corde et par des personnes ayant suivi avec succès un cours spécifique.
- Les toits plats (< 10°) doivent être entourés d'un système de protection d'un mètre de haut au moins.
- Le port du casque est obligatoire sur les chantiers équipés d'une grue.

Tâches du planificateur

Avant le début de la construction, le planificateur vérifie sur place les points énumérés ci-dessus. S'il y a des défauts, c'est l'entreprise spécialisée mandatée pour l'échafaudage qui doit y remédier. Le maître de l'ouvrage ne peut autoriser l'accès aux autoconstructeurs que lorsque les défauts ont été corrigés. Si, par exemple, le maître de l'ouvrage monte lui-même l'échafaudage et que celui-ci n'est pas conforme à la réglementation, le planificateur ne peut pas autoriser des personnes de la coopérative (autoconstructeurs, chefs de chantier, planificateurs) à monter sur le toit; ceci vaut également pour lui-même. Il est impératif que le maître de l'ouvrage soit informé des lacunes et des dangers. Si le propriétaire installe néanmoins le système lui-même avec son propre personnel, il le fait à ses risques et n'est plus pris en charge par le planificateur. Dans ce cas, l'implication la coopérative se limite strictement à la livraison du matériel.

Rappel du Code Pénal Suisse art. 229

Violation des règles de l'art de construire

1 Celui qui, intentionnellement, aura enfreint les règles de l'art en dirigeant ou en exécutant une construction ou une démolition et aura par là sciemment mis en danger la vie ou l'intégrité corporelle des personnes sera puni d'une peine privative de liberté de trois ans au plus ou d'une peine pécuniaire. En cas de peine privative de liberté, une peine pécuniaire est également prononcée.

2 La peine sera une peine privative de liberté de trois ans au plus ou une peine pécuniaire si l'inobservation des règles de l'art est due à une négligence.

Documents à consulter sur internet

Les documents les plus importants que chaque planificateur doit connaître sont énumérés ci-dessous (les documents sont liés).

- Ordonnance sur les travaux de construction (OTConst)
- Brochure de la SUVA «Energie solaire: intervenir en toute sécurité sur les toits - Montage et entretien d'installations solaires»
- Brochure de la SUVA «Travaux sur les toits - Pour ne pas tomber de haut».
- Brochure de la SUVA «Platelages de ponts de ferblantier»
- Brochure SUVA «Echafaudages de façade - La planification, gage de sécurité»

4.4 Adresses et liens

Groupes d'autoconstruction

Liste actualisée sur www.vese.ch/fr/autoconstruction/

Etat à fin 2018

- Energiewendegenossenschaft Kanton Bern: www.e-wende.ch/
- EWG Winterthur (ZH): www.ewg-winterthur.ch/
- Genossenschaft Zukunft-der-Energie (Hinwil/ZH): www.zukunft-der-energie.ch/
- Association Autovoltaïc (NE): autovoltaic.ch/
- SolAar (AG/SO): www.solaar.ch
- EWG Basel (Bâle): www.ewg-basel.ch

Autres adresses

- VESE, association des producteurs d'énergie indépendants: www.vese.ch/fr/
- Société Suisse pour l'Energie Solaire SSES: www.sses.ch/fr/
- Swissolar: www.swissolar.ch/nc/fr/
- CPN Techniques du bâtiment (CCT de la Commission paritaire nationale): www.cpn-techniquesdubatiment.ch/
- ESTI Inspectorat fédéral des installations à courant fort: www.esti.admin.ch/fr/
- Rétribution unique: pronovo.ch/fr/
- Outil de simulation PV PVGIS: re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#
- Potentiel solaire des toitures suisses: www.toitsolaire.ch
- SuisseEnergie, agence de promotion de la Confédération: www.suisseenergie.ch
- Calculateur solaire: www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/calculateur-solaire
- Comparaison d'offres PV: www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/check-devis-solaire
- Rétributions pour l'énergie PV injectée des gestionnaires de réseaux: www.vese.ch/fr/
- Commission fédérale de l'électricité ElCom: www.elcom.admin.ch/elcom/fr
- Prix d'électricité en suisse: www.strompreis.elcom.admin.ch/Start.aspx?lang=fr
- Calculateur d'autoconsommation: www.eigenverbrauchsrechner.ch

4.5 Fournisseurs de matériel photovoltaïque en Suisse

Liste non exhaustive

- Solarmarkt: www.solarmarkt.ch/shop/java/crm/startseite?lang=fr_CH
- Tritec: www.tritec.ch/fr/
- Megasol: megasol.ch/fr/
- Fankhauser-Solar: www.fankhauser-solar.ch/fr/
- Krannich: ch.krannich-solar.com/ch-fr.html
- Constructions métalliques Schweizer: www.ernstschweizer.ch/fr/home.html
- Meyer Burger: www.meyerburger.com/en/
- Megalate: 3s-solarplus.ch/fr/megalate-standard/
- EM Elektromaterial: www.elektro-material.ch/fr/shop
- Winterhalter + Fenner: www.w-f.ch/wfch/fr/eh/index.php
- Electro Lan: shop.electrolan.ch/ishop/app?language=fr
- Otto Fischer: www.ottofischer.ch/
- IWS Solar: www.iwssolar.ch/
- Technosolar: www.technosolar.ch/accueil.html
- Sunage: www.sunage.ch/fr/
- Solarteam: solarstand.ch/?dom=2
- Schweiz-Solar Vertriebs AG: www.schweiz-solar.ch/
- go solar: solarenergy-shop.ch/fr/

4.6 Références

Voici quelques références citées dans de ce manuel ou utiles pour les projets d'installations PV. Les documents suivants ou des liens vers les documents originaux figurent également sur le site de VESE: www.vese.ch/fr/manuel_autoconstruction/

BCS Steuerexperten. *Gutachten BCS Steuerexperten St.Gallen vom 31.10.2017.*

M. Edelmann. *Gutachten M. Edelmann, ZET-Advokatur, vom 3.7.2017.*

R. Ursenbacher. *Gutachten R. Ursenbacher, Fairsicherung, Bern, Oktober 2017.*

Swissolar. Procédures de planification, réalisation et exploitation d'installations PV
<https://www.swissolar.ch/fr/pour-professionnels/informations-professionnelles-actuelles/planification-realisation-et-exploitation-dinstallations-pv/>

Swissolar. Protocole d'essai et de mesures des installations photovoltaïques
[https://www.est.admin.ch/inhalte/pdf/NIV_I/Franzoesisch/Gesuche_NIV/PEM -_photovoltaique-f.pdf](https://www.est.admin.ch/inhalte/pdf/NIV_I/Franzoesisch/Gesuche_NIV/PEM_-_photovoltaique-f.pdf)



VESE

Association des producteurs d'énergie indépendants

Aarberggasse 21, 3003 Bern

www.vese.ch/autoconstruction - info@vese.ch