



My Energy GIE
Groupement
d'Intérêt Economique

Tél. +352 40 66 58
Fax +352 40 66 58-2

28, rue Michel Rodange
L-2430 Luxembourg

info@myenergy.lu
www.myenergy.lu

myenergy
L u x e m b o u r g

Conception et planification d'une installation solaire photovoltaïque

La **photovoltaïque (PV)** est la transformation directe de la lumière solaire en énergie électrique à l'aide de cellules solaires. Ses applications vont de la calculatrice de poche (puissance de quelques watts) jusqu'à la centrale photovoltaïque (d'une puissance pouvant atteindre plusieurs mégawatts).

Il convient de distinguer deux types d'utilisation:

- Une installation PV est raccordée au réseau électrique, qui joue le rôle de tampon. L'énergie électrique produite est utilisée sur place selon la demande. Si la quantité d'énergie consommée sur place est inférieure à l'énergie produite, l'excédent de production est stocké dans le réseau. Si la quantité d'énergie consommée sur place est supérieure à l'énergie produite, le réseau fournit l'électricité nécessaire.
- Dans le cas d'une installation PV non raccordée au réseau, l'électricité produite est exclusivement consommée sur place. L'excédent éventuel est stocké dans des accumulateurs et utilisé en cas de besoin. Les installations insulaires sont appliquées essentiellement aux endroits où une connexion au réseau est impossible pour des raisons techniques ou économiques (campings, maisons de campagne, alimentation électrique dans les régions éloignées et les pays en développement (p. ex. systèmes de pompage)).

Dans le présent document, vous trouverez toutes les informations importantes au sujet du chauffage solaire, à savoir:

- Conception
- Planification
- Technique

Conception d'une installation solaire photovoltaïque

Les installations photovoltaïques peuvent être installées sur toutes les parties de la surface du bâtiment. Fondamentalement, on distingue deux types de montage:

- Le module photovoltaïque est fixé sur l'enveloppe du bâtiment à l'aide d'une structure métallique. L'enveloppe est maintenue et conserve ses fonctions.
- Les modules photovoltaïques sont intégrés dans l'enveloppe du bâtiment. Outre leur fonction de production d'électricité, ils peuvent assumer des fonctions telles que protection contre les intempéries, isolation thermique et protection contre le soleil, et peuvent de ce fait compléter l'enveloppe originale.

Les possibilités architectoniques des installations photovoltaïques sont multiples.

- Toits inclinés et plats
 - Systèmes sur le toit
 - Systèmes dans le toit
- Façades: dans le cas des installations en façade, il faut tenir compte d'une perte d'efficacité d'au moins 30% en raison d'une inclinaison qui n'est pas optimale. Les modules photovoltaïques en façade présentent toutefois l'avantage de pouvoir remplacer des éléments de façade souvent très chers et donc de n'entraîner que des coûts supplémentaires réduits. Des avantages non négligeables sont l'éventuelle valeur de prestige et la valeur architectonique d'une façade solaire. Les modules peuvent être montés avec les systèmes de fixation habituels des façades en verre.

- Devant la façade: les modules sont montés sur la façade existante.
- Façade froide/chaude: les modules sont placés comme une coquille extérieure d'une façade froide ou chaude.
- Toits lumineux: les modules photovoltaïques peuvent assumer la fonction de protection contre le soleil. Cette application est également intéressante pour recouvrir un espace ouvert (p. ex. un quai de gare).
- Dispositifs de protection solaire

Par ailleurs, les modules photovoltaïques peuvent être fabriqués dans toutes sortes de formes et de tailles et assortis de toutes les propriétés optiques et fonctionnelles des types de verre. On peut ainsi concevoir des solutions sur mesure adaptées à l'architecture du bâtiment.

Il faut savoir que le système de montage a une influence sur le rendement énergétique de l'installation. Outre les effets d'une orientation non optimale ou d'une projection d'ombre sur le générateur solaire, il faut savoir aussi qu'une mauvaise ventilation des modules réduit l'efficacité énergétique de l'installation en raison de la température de fonctionnement plus élevée qui en résulte. Les pertes de rendement d'un générateur solaire intégré dans le toit sans ventilation à la face arrière représentent environ 3,3% par rapport à un générateur bien ventilé (Source: DGS, Installations photovoltaïques). Par ailleurs, les modules spéciaux sont souvent moins efficaces que les modules standard.

Les modules photovoltaïques peuvent non seulement être montés sur des bâtiments, mais aussi, moyennant des supports spéciaux, sur des espaces libres. On parle alors d'installations en espace libre.

Planification d'une installation solaire photovoltaïque

Il convient, en premier lieu, de vérifier si le site prévu est apte à recevoir une installation photovoltaïque. Des facteurs importants à prendre en compte pour évaluer la superficie utile sont l'orientation et la présence d'ombres.

Une installation photovoltaïque exige, pour atteindre son rendement optimal, d'être planifiée par un professionnel. La planification devra tenir compte notamment des points suivants:

- **angle azimutal:** l'angle azimutal (a) exprime l'écart du générateur par rapport au sud. La position optimale correspond à l'orientation sud ($a = 0^\circ$). Les pertes de rendement sont d'environ 20% pour l'orientation est ($a = -90^\circ$) et ouest ($a = 90^\circ$) (pour une inclinaison de 30°);
- **angle d'inclinaison:** l'angle d'inclinaison (b) indique l'écart du générateur par rapport à l'axe horizontal. Au Luxembourg, une inclinaison de 30° est optimale. Les pertes de rendement s'élèvent à environ 10% pour un angle d'inclinaison entre 10° et 60° (en cas d'orientation sud). A partir d'un angle d'inclinaison de 12° , l'autonettoyage des modules par le ruissellement d'eau de pluie est généralement suffisant (à condition qu'il n'y ait pas trop de feuilles mortes ni d'encrassement dû aux poussières ou aux excréments d'oiseaux) (Source: DGS, Installations photovoltaïques);
- **ombre:** un générateur solaire qui, même partiellement, se trouve à l'ombre peut perdre une bonne part de son rendement. On veillera donc à éviter autant que possible toute projection d'ombre sur le générateur solaire, et ce le plus longtemps possible au cours de l'année. Les

ombres peuvent être causées notamment par la topographie, la végétation, des constructions voisines, des mâts et câbles de haute tension, des antennes, des cheminées et des saillies de toit;

- adéquation entre le générateur solaire et le ou les onduleur(s) et choix d'un câblage adéquat;
- **connexion au réseau**: on demandera préalablement au gestionnaire du réseau s'il est possible de connecter au réseau une installation de la puissance prévue sur le site prévu. Ce sera normalement le cas pour une installation sur une maison unifamiliale;
- **autorisation de bâtir**: on se renseignera auprès de l'administration communale pour savoir si une autorisation de bâtir est requise et, le cas échéant, pour demander cette autorisation.

A l'appui de la planification, on effectuera une simulation de l'installation. Celle-ci tiendra compte de divers paramètres: données techniques de l'installation, orientation, ombres et données climatiques. Sur cette base, on pourra établir une prévision de rendement et en déduire la rentabilité de l'installation ainsi que les réductions d'émissions. Si la simulation est effectuée pour plusieurs variantes, elle permettra de choisir la solution la plus indiquée. Exemples de programmes de simulation:

- PV*SOL,
- PVS 2.001,
- PVSYST.

Technique d'une installation solaire photovoltaïque

Modules PV

Pour atteindre le rendement voulu, un générateur solaire se compose généralement de plusieurs modules photovoltaïques. Le module lui-même se compose d'un certain nombre de cellules solaires. On distingue trois types de cellules.

Propriétés des différents types de cellules (Source: DGS, Installations photovoltaïques, et calculs propres)

Type de cellule	Cellule à base de silicium monocristallin	Cellule à base de silicium polycristallin	Cellule à base de silicium amorphe (couche mince)
Coefficient de performance de la cellule ¹ (%)	15-18	13-15	5-8
Superficie requise (m ² /kW _p)	7-9	9-11	16-20
Rendement annuel (kWh/kW _p)	>800	>800	>900
Durée de vie (ans)	20-25	20-25	5-20
Aspect	bleu foncé à noir, homogène	bleu luisant	brun à noir, homogène
Fabrication	synthèse cristalline par tirage	coulée en lingotière	métallisation sous vide
Durée d'amortissement énergétique ² (ans)	4-5	3-4	2-3

1: le coefficient de performance du module est généralement inférieur de 1 à 3% à celui des cellules.

2: durée de fonctionnement au cours de laquelle l'installation PV produit autant d'énergie utile qu'il lui en faut pour fonctionner.

S'il s'agit d'atteindre un rendement maximal sur une superficie limitée, on utilisera de préférence des modules mono- et polycristallins en raison de leur moindre encombrement. De plus, les modules cristallins se distinguent par leur longue durée de vie. Si les modules polycristallins sont moins performants que les monocristallins, leur prix est aussi moins élevé.

Le silicium amorphe peut être posé non seulement sur le verre, mais aussi sur des supports flexibles (films en métal ou en plastique). Malgré un coefficient de performance relativement faible, le rendement énergétique peut, sous certaines conditions, être non négligeable. L'exploitation de la lumière diffuse est meilleure avec des cellules amorphes et le coefficient de puissance, c'est-à-dire la baisse de performance à mesure que la température de service augmente, est moins importante qu'avec les cellules cristallines. Les modules amorphes conviennent particulièrement pour les systèmes intégrés dans des toits plats ou inclinés.

Pour choisir un module photovoltaïque, on tiendra compte non seulement de la puissance nominale, mais aussi des points suivants:

- La tolérance indique l'écart qu'il peut y avoir entre la puissance effectivement mesurée dans des conditions d'essai normalisées et la puissance nominale (puissance mesurée dans les conditions d'essai suivantes (STC, Standard Test Conditions: puissance rayonnée 1000 W/m², densité spectrale AM 1,5, température de la cellule 25 °C)). Cette valeur doit aussi être basse que possible.
- Le niveau de performance du module indique le niveau de performance du module dans son ensemble, en tenant compte notamment de la distance au bord et de la densité d'assemblage ainsi que des pertes sur les lamelles couvre-objet. Cette valeur doit aussi être élevée que possible.
- Le coefficient de puissance indique le pourcentage des variations de puissance lorsque le module se réchauffe ou se refroidit de 1 °C. Cette valeur doit être aussi basse que possible, afin que le module puisse fournir une puissance maximale par temps chaud.
- La température nominale d'utilisation des cellules (NOCT, Nominal Operating Cell Temperature) indique la température du module dans les conditions d'essai normalisées suivantes: 800 W/m², AM 1,5, vitesse du vent 1 m/s, température ambiante 20 °C. Plus le module reste froid, plus élevé sera son rendement.
- Le châssis en aluminium anodisé s'est imposé.
- Le module doit, sur le plan de la qualité, être certifié selon la norme IEC 61215 (IEC 61646 pour les modules à couche mince) et, sur le plan de la sécurité, satisfaire aux exigences de la classe de protection II (SKL II).
- La connexion électrique se fera de préférence à l'aide de connecteurs protégés contre l'inversion de polarité.
- Au Luxembourg, chaque fabricant doit garantir le bon fonctionnement de ses appareils pendant au moins 2 ans. Quelques fabricants proposent déjà des garanties de 5 ans.
- La garantie de rendement des cellules monocristallines et polycristallines doit être de 90% de la puissance nominale pendant 10 ans et 80% pendant 25 ans. Quelques fabricants limitent la garantie à la puissance minimale, puissance mesurée ou fournie.

Onduleur

L'onduleur transforme le courant continu produit par le générateur solaire en courant alternatif, qui peut être injecté sur le réseau. Afin d'injecter sur le réseau un courant de puissance maximale, on adapte le point de fonctionnement dynamique de l'onduleur au point de puissance maximale (MPP, Maximum Power Point) du générateur solaire, qui change selon les conditions de rayonnement et de température. Un onduleur remplit en outre les fonctions suivantes:

- saisie et stockage de données de fonctionnement, affichage de ces données (sur écran et/ou transfert sur PC), aux fins de surveillance de l'installation photovoltaïque,
- protection CC et CA (p. ex. protection contre l'inversion de polarité, la surtension et la surcharge, dispositifs de surveillance et de protection pour le respect des directives VDE pour les installations d'autogénération).

Pour définir la dimension de l'onduleur, on peut se baser sur une règle de base, à savoir un rapport 1:1 entre la puissance du générateur solaire et celle de l'onduleur. Selon le concept et le lieu de montage de l'onduleur, sa puissance peut être située entre 70 et 120% de la puissance nominale du générateur solaire (Source: DGS, Installations photovoltaïques). Lorsque l'onduleur risque d'être exposé à de fortes charges thermiques (montage à l'extérieur et sur le toit), sa puissance peut être supérieure à celle du générateur solaire. Sinon, un certain sous-dimensionnement de la puissance de l'onduleur peut souvent entraîner un taux d'utilisation annuel supérieur, car les onduleurs ont un rendement maximal situé entre 50 et 80% de leur puissance nominale et un générateur solaire utilisé dans des conditions normales n'atteint que rarement la puissance nominale mesurée dans les conditions d'essai standard (STC).

Il convient de choisir pour l'onduleur un endroit aussi frais et sec que possible, qui soit aussi facilement accessible. Lorsque la température ambiante augmente, les pertes dans l'onduleur augmentent aussi. Le bon fonctionnement de l'installation doit être régulièrement contrôlé grâce aux indications fournies par l'onduleur.

La tendance dans le domaine des faibles puissances est aux onduleurs sans transformateur. Ils présentent l'avantage d'un coefficient de performance plus élevé ainsi que d'un poids et d'un encombrement réduits. Des protections supplémentaires sont cependant requises.

Pour choisir un onduleur, on tiendra compte des points importants ci-après.

- La puissance maximale que peut avoir un générateur solaire afin d'assurer un fonctionnement sûr et optimal de l'onduleur.
- L'onduleur comportera de préférence un système ENS (un système de déconnexion autonome comportant, pour surveiller le réseau, deux dispositifs parallèles indépendants ayant chacun un organe de commutation). Ce système détecte toute panne de secteur et coupe alors l'installation PV du secteur.
- La puissance que le générateur solaire doit produire pour que l'onduleur puisse se mettre en route doit être aussi basse que possible.
- La puissance en standby (puissance que l'onduleur consomme quand il n'injecte pas de courant) et la puissance de nuit (celle que l'onduleur consomme quand il est «éteint») doivent être aussi faibles que possible.
- Le coefficient de performance européen, qui est calculé en fonction du rayonnement solaire en Europe centrale, doit être aussi élevé que possible. Ce coefficient moyen est plus parlant que le coefficient maximal. Pendant la plupart des heures de fonctionnement, l'onduleur est chargé d'une faible partie de sa puissance maximale. Le coefficient de performance n'est cependant pas constant sur toute la palette de puissance.

- Le comportement en surcharge indique comment l'onduleur réagit en cas de surcharge (décalage du point de fonctionnement dynamique, limitation de puissance, arrêt).
- La température ambiante, l'humidité de l'air et la nature des protections donnent des indications sur les conditions ambiantes dans lesquelles l'onduleur peut être utilisé. Un onduleur placé à l'extérieur doit avoir l'indice de protection IP 65.
- Selon la nature et la conception de l'onduleur (avec ou sans aérateur, par exemple), le niveau sonore peut être d'à peine perceptible jusqu'à gênant. Le niveau sonore doit être pris en considération pour le choix de l'emplacement de l'onduleur.
- Au Luxembourg, chaque fabricant doit garantir le bon fonctionnement de ses appareils pendant au moins 2 ans. Quelques fabricants proposent des garanties de 5 ans.

Selon le câblage, on distingue trois types d'onduleurs (voir Câblage):

- onduleur d'installation,
- onduleur de ligne,
- onduleur de module.

Câblage

Les modules photovoltaïques sont reliés au générateur solaire par un montage en série ou parallèle. Les modules montés en série sont désignés comme une ligne.

Selon le câblage, on distingue trois types d'onduleurs:

- **onduleur d'installation**: il agit sur l'installation tout entière. Les différentes lignes sont réunies dans le boîtier de connexion du générateur. Ce concept convient bien pour de petites installations, où il représente la formule la plus intéressante;
- **onduleur de ligne**: le générateur solaire est scindé en plusieurs lignes. Un onduleur est installé pour chacune des lignes. Si un onduleur s'arrête ou si une ombre tombe sur une ligne, la fonction des autres lignes reste intacte. Dans le cas des grandes installations, le fait que les onduleurs soient directement connectés aux lignes permet, par comparaison avec l'onduleur d'installation, de réduire les coûts ainsi que les pertes sur le câblage de courant continu;
- **onduleur de module**: chaque module a son propre onduleur. Le câblage est constitué exclusivement d'un simple câblage de courant alternatif. L'avantage de ce concept est que, si un module reçoit de l'ombre, il se déconnecte et n'influence donc pas le fonctionnement du reste de l'installation.

Lorsque l'installation est composée de générateurs partiels de conception différente ou dans le cas d'installations partiellement ombragées, il convient d'utiliser des onduleurs de ligne ou de module.

Pour le câblage d'une installation photovoltaïque, il faut particulièrement être attentif au câblage à courant continu. Pour éviter des pertes importantes, il convient de choisir des câbles de section suffisamment grande. S'ils sont placés à l'extérieur, les câbles doivent résister aux UV et à l'ozone, ainsi qu'à la chaleur et au froid. Le plus souvent on utilise pour cela un câble souple sous caoutchouc et isolé du type H07 RN-F.

Par ailleurs, on veillera à placer l'onduleur le plus près possible des modules afin que le câble à courant continu soit le plus court possible. Il convient cependant de choisir pour l'onduleur un endroit frais et sec, qui soit aussi facilement accessible.

Connexion au réseau

Vu la rémunération allouée à l'énergie injectée sur le réseau d'électricité, il est intéressant au Luxembourg de connecter une installation photovoltaïque au réseau.

Une demande à cet effet doit être adressée au gestionnaire du réseau, qui doit aussi l'accepter.

Pour mesurer l'électricité injectée, on installe un compteur photovoltaïque. Il s'agit d'un compteur bidirectionnel, qui distingue l'électricité fournie et celle que l'installation prélève sur le réseau (pour son propre fonctionnement, très peu par comparaison avec l'énergie fournie).