



Description de la technologie



Crédits : Centre Marks & Spencer, l'Echo du Solaire

Les systèmes solaires Photovoltaïques (PV) convertissent l'énergie du rayonnement solaire en électricité grâce à un matériau semi-conducteur qui, sous l'excitation des photons de la lumière, crée un déplacement d'électrons. Les matériaux semi-conducteurs peuvent être du silicium cristallins (silicium monocristallin et multicristallin), sous forme de couche mince (silicium amorphe, tellure de cadmium), ou encore faits de matière organique. Les matériaux cristallins sont les plus répandus à cause de leur meilleure compétitivité actuelle. Les couches minces ont toutefois des propriétés intéressantes, notamment pour une intégration aux bâtiments (meilleur captage du rayonnement diffus, meilleur comportement à l'échauffement, etc.).

Les systèmes se présentent sous forme de panneaux disposés au sol, sur ombrières ou sur toitures, et sont composés d'un à plusieurs centaines de panneaux. Le courant délivré étant continu, l'installation d'un onduleur est nécessaire pour délivrer un courant alternatif, notamment dans le cas d'une injection de l'électricité sur le réseau.

Les panneaux PV captent les rayonnements solaires direct et diffus. Certains systèmes comme les « trackers », qui font suivre aux panneaux la course du soleil, ou les systèmes à concentration permettent de maximiser les rendements énergétiques.

Usages

Basse température
< 100 °C

Moyenne température
100 – 250 °C

Haute température
250– 550 °C

Très haute température
> 550 °C

Electricité

Les systèmes solaires photovoltaïques sont uniquement utilisés pour produire de l'électricité.

Secteurs d'utilisation par vecteur énergétique

Électricité

Tous secteurs

Illustration d'utilisation de la technologie dans les retours d'expérience

- [Tryba, Centrale photovoltaïque en autoconsommation.](#)

Coûts

CAPEX :

1 290 – 1 390 EUR/kW

OPEX :

46 – 49 EUR/MWh/an

Coût total de production :

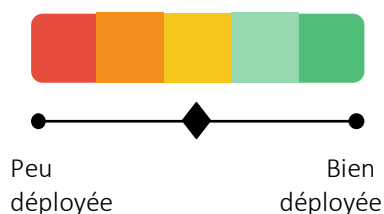
84 – 189 €/MWh

Le coût de production du solaire photovoltaïque dépend en partie de l'ensoleillement disponible et donc de la productivité des panneaux solaires. En France, le productible photovoltaïque varie entre le Nord et le Sud de la France. En moyenne, la productivité attendue au Nord de la France est d'environ 950 kWh/kWc/an et de 1 400 kWh/kWc/an au Sud.

Le coût de production du solaire photovoltaïque se situe entre 124 et 136 EUR/MWh dans le Nord de la France pour un taux d'actualisation, le plus probable, de 3 %. Pour les régions du sud de la France, bénéficiant des meilleurs taux d'ensoleillement du pays, le coût de production est plutôt compris entre 83 et 92 EUR/MWh.

Les coûts d'investissement de la filière dépendent des types de panneaux photovoltaïques et de leur installation. Ils varient entre 1 290 et 1 390 EUR/kW pour des panneaux installés selon une Intégration simplifiée au bâti (ISB) et entre 1 240 et 1 320 EUR/kW pour des panneaux installés en surimposition. Les coûts d'investissement du solaire photovoltaïque ont baissé significativement depuis plusieurs années et sont encore amenés à diminuer, de 30 % entre 2015 et 2025 selon les estimations de l'ADEME, grâce aux progrès technologiques et à la hausse des capacités installées.

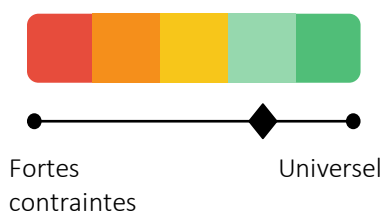
Diffusion de la technologie



Le solaire photovoltaïque est une filière très mature en France, son développement a été fortement soutenu il y a quelques années par les politiques publiques et elle bénéficie aujourd'hui de coûts de plus en plus bas. Fin 2016, la capacité installée en France dépassait les 7 GW et la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) vise une capacité installée entre 18,2 et 20,2 GW en 2023. [1]

En revanche, dans le secteur industriel, l'utilisation du solaire photovoltaïque en autoconsommation est encore assez limitée, principalement du fait de l'orientation des soutiens publics vers l'injection de l'électricité renouvelable sur le réseau.

Contraintes d'intégration sur site



La filière offre une forte modularité d'installation, possible sur toiture, sur ombrières (souvent sur des parkings), ou au sol, mais qui peut être limitée par des problématiques d'ombrages. [2]

Cependant, des problématiques d'emprise au sol et de conflits d'usage peuvent se poser, en particulier lorsque les toitures ne peuvent pas supporter le poids des panneaux (environ 15 kg/m² avec structure). Dans le cas d'un projet sur toiture, un renforcement de celle-ci peut s'avérer nécessaire. [2]

La filière connaît globalement une facilitation des démarches et contraintes administratives. En effet, certains types de projets n'ont plus besoin de permis de construire, comme par exemple les grandes toitures PV sur bâtiments existants en autoconsommation. Aussi, les critères d'intégrations en toiture (angle d'exposition) pour obtenir des aides, disparaissent peu

à peu ce qui facilite l'exploitation de certains sites. De plus, mis à part pour les parcs au sol > 250kWc, les projets PV ne demandent pas d'étude d'impact ou d'enquête publique mais uniquement une déclaration préalable. [3] [4]

Contraintes d'opération et de maintenance

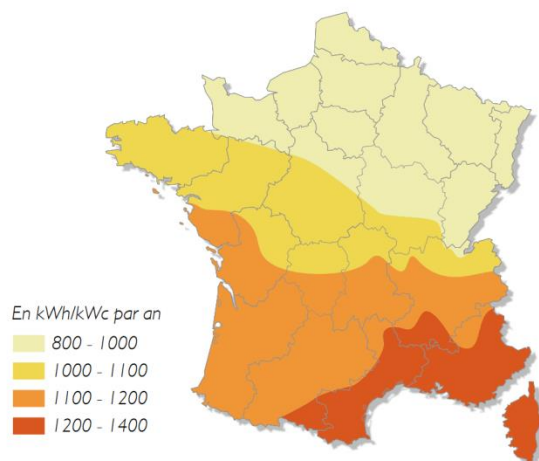


L'exploitation et la maintenance de panneaux solaires photovoltaïques sont très aisées (nettoyage) et ne nécessitent aucune compétence particulière. De plus, les systèmes de téléreport permettant aujourd'hui de monitorer un par un à distance les panneaux réduisent encore les besoins de main d'œuvre. [3][5]

Le taux de disponibilité technique de ces systèmes se situe entre 95 et 98 %. [2]

Disponibilité et accessibilité de la ressource

Le rayonnement solaire est une ressource gratuite et accessible partout en France mais inégalement répartie entre le Nord et le Sud. La carte ci-dessous montre la productivité moyenne attendue dans des conditions optimales d'implantation pour un système photovoltaïque d'une puissance nominale de 1 kW avec des modules multicristallins standards, en fonction de la localisation géographique de l'installation. [6]



L'énergie solaire est une ressource variable, c'est-à-dire dont la production varie avec les conditions d'ensoleillement. La variabilité et le caractère fatal de la production d'électricité nécessitent une solution de production d'appoint ou de stockage (par exemple par batteries). [2]

Performance environnementale



L'empreinte carbone du solaire photovoltaïque est autour de 55 gCO_{2eq}/kWh, soit 27 gCO_{2eq}/kWh de moins que le mix électrique français. [7]

Mécanismes de soutien

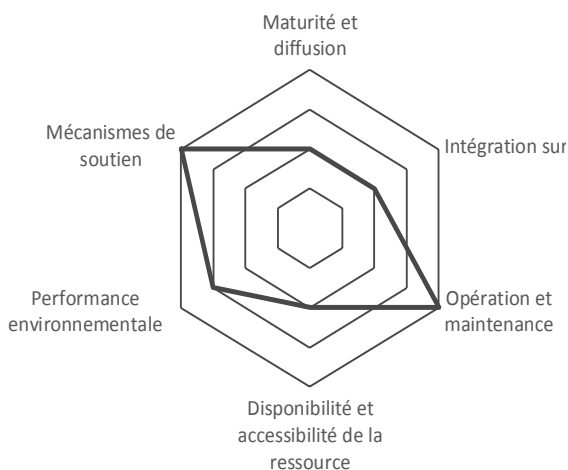


Le cadre réglementaire sur le solaire est passé d'un modèle d'obligation d'achat vers des appels d'offres compétitifs au-delà de 100 kWc. Un appel d'offres de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité innovantes à partir de l'énergie solaire, a été lancé en mars 2017 pour soutenir un total de 70 MW d'installations solaires innovantes.

Pour l'autoconsommation, un appel d'offres a été lancé en mars 2017 pour des parcs en toitures et ombrières entre 100 kWc et 500 kWc. Les lauréats reçoivent une prime de l'ordre de 20 à 30 EUR par MWh produit. Pour les projets autoconsommation de moins de 100 kWc, des primes à l'investissement ont été mis en place ainsi que des tarifs d'achat pour l'injection du surplus de production sur le réseau.

Contrairement au schéma de revente, l'autoconsommation solaire est donnée comme une filière qui n'aura plus besoin de soutien d'ici 2 à 3 ans pour être compétitive. [8][9]

En résumé



Le solaire photovoltaïque est l'une des filières de production d'énergie renouvelable les plus matures d'un point de vue technologique. Elle est néanmoins encore peu développée en autoconsommation dans l'industrie, étant historiquement plus soutenue pour l'injection sur le réseau électrique. Le nouvel appel d'offres de la CRE pour l'autoconsommation devrait changer cette tendance. En mars 2017, 62 projets solaires PV ayant un taux d'autoconsommation moyen de 97,6 % ont bénéficié d'une prime de l'ordre de 20 EUR/MWh. Concernant ses performances environnementales, la filière permet, en comparaison aux énergies thermiques, moins de réduction de l'empreinte carbone car elle se substitue à l'électricité du mix français dont l'impact carbone est déjà limité.

Dans cette fiche, seule l'utilisation de l'électricité produite par les panneaux solaires en autoconsommation est considérée. La vente de cette électricité sur le réseau est aussi une alternative intéressante et jusqu'à aujourd'hui plus rentable car bénéficiant de meilleurs soutiens publics.

Sources

- [1] *Le baromètre 2016 des énergies renouvelables électriques en France*, Observ'ER, 2016
- [2] *Les moyens de production d'énergie électriques et thermiques*, ENEA pour ADEME et Région Bretagne, 2014
- [3] Retours d'expériences et retours d'experts
- [4] Photovoltaïque.info, Du point de vue de la réglementation, [web](#), 2017
- [5] Photovoltaïque.info, Maintenance du système, [web](#), 2017
- [6] *Produire de l'électricité grâce à l'énergie solaire*, ADEME, 2016
- [7] Base carbone, ADEME, [web](#)
- [8] Ministère de la Transition écologique et solidaire, solaire, cadre réglementaire, [Web](#), 2017
- [9] Panorama de l'électricité renouvelable au 31 Mars 2017, RTE, SER, Enedis, ADEEF, 2017

Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie

Fiche technique

Solaire photovoltaïque

Cette fiche décrit la technologie du solaire photovoltaïque en identifiant les forces et faiblesses de cette technologie pour son intégration dans l'industrie : coûts de production de l'énergie, niveau de maturité et de diffusion, facilité d'intégration sur site, contraintes d'opérations et de maintenance, empreinte carbone.

Cette fiche permet de caractériser la technologie afin d'identifier les avantages qu'elle apporte, mais aussi les freins et difficultés à surmonter.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



www.ademe.fr



010723 - F6