

# SOLUTIONS ADAPTEES AU BATIMENT

## 5 A - Solaire photovoltaïque

### 5 A.1 - GENERALITES

Rappelons sommairement quel est le principe de fonctionnement du panneau photovoltaïque. Un panneau photovoltaïque convertit de façon directe la lumière (les photons) du soleil en courant électrique (Volts), d'où le nom de Photovoltaïque. La matière de base, aujourd'hui, est le silicium. Ce composé possède des électrons qui ont la particularité de ne pas se déplacer mais de se mouvoir lorsqu'ils sont excités par le rayonnement solaire produisant ainsi de l'électricité en courant continu.

### 5 A.2 - AVANTAGES - CONTRAINTES

Parmi ses nombreux avantages, on compte bien évidemment le fait que ce soit une énergie « propre » c'est à dire sans émissions de gaz à effet de serre ce qui permet de respecter les engagements du facteur 4. L'énergie solaire photovoltaïque permet d'avoir une autonomie quant à la consommation d'électricité puisqu'il s'agira de plus en plus d'autoconsommation accompagnée d'une possibilité de revendre le surplus sur les réseaux de distribution de l'électricité. Dans certains cas les investisseurs décident de vendre l'intégralité de leur production d'électricité à un prix fixé par contrat pour une durée de 20 ans, ce qui peut permettre d'amortir le cout d'investissement des panneaux et de l'installation encore aujourd'hui relativement élevé.

La durée de vie des équipements étant de l'ordre de 20 à 30 ans, une fois l'investissement amorti et des coûts de maintenances pris en compte, l'électricité photovoltaïque devient une énergie « gratuite ».

Un proverbe dit « Quand le soleil se lève, il se lève pour tous ! », c'est tellement vrai pour tout ce qui touche à l'énergie solaire et pour l'ensemble du globe. En effet, quelle que soit sa position sur la terre, même si le rayonnement est faible ou diffus, notamment pendant certaines saisons, cela reste suffisant pour produire de l'énergie.

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie d'avenir, nous ne sommes qu'au début des évolutions technologiques mais son utilisation s'étend un peu plus tous les jours dans toutes sorte d'adaptations : calculette, montre, téléphone pour les faibles besoins ; alimentation de pompes de captage ou de moteurs dans le désert ou des sites isolés, source d'énergie pour l'éclairage de certains phares sur des péninsules ou des îles...

Voilà pour les avantages, par contre, même si l'énergie solaire photovoltaïque est une énergie « propre », il ne faut pas oublier qu'il faut en moyenne deux ans et demi de fonctionnement du capteur pour restituer l'énergie nécessaire à sa fabrication.

Aujourd'hui la Chine représente 95% de la production mondiale des cellules photovoltaïques. Le bilan carbone n'est donc pas favorable aux vues de la distance à parcourir pour s'approvisionner (environ 25 000 km pour parvenir en Europe) et du mode de transport puisque celui-ci se fait en cargo et utilise des énergies fossiles comme le fuel.

C'est la raison pour laquelle, afin d'évoluer dans le sens des énergies propres, on observe de plus en plus une volonté de produire des cellules au plan national.

En ce qui concerne la durée de vie des panneaux photovoltaïques, elle diffère suivant les technologies et la qualité des produits, mais celle-ci est généralement de 30 ans et plus (source : EDF Energies Nouvelles) avec une perte de rendement de l'ordre de 20%. Le problème est différent en ce qui concerne les équipements électroniques et parfois connectiques qui doivent être remplacés et contrôlés régulièrement.

Certaines contraintes existent également concernant leur installation (orientation, inclinaison suivant la latitude et longitude à laquelle on se trouve). Différents modes de pose ont été imaginés, notamment en fonction de la nature du bâtiment sur lequel ils sont implantés, son ancienneté et son usage. Les panneaux peuvent être intégrés directement aux bâtiments ou aux abords : toitures, façades, verrières et vitrages, mais également utilisés comme ombrières de parking.

En France une étude a défini que plus de la moitié des bâtiments pourraient être équipés de panneaux photovoltaïques. Néanmoins dans le domaine de l'existant, l'aspect extérieur du bâtiment étant de ce fait modifié l'installation est soumise à autorisation dans le meilleur des cas, soumis à l'accord de l'ABF (Architecte des Bâtiments de France) dans le cas de zones classées au titre du patrimoine, et là, il est pratiquement impossible d'envisager ce genre d'installation. Les choses pourraient légèrement évoluer avec la Loi pour la Transition Énergétique, mais ça ne sera vraisemblablement pas pour tout de suite.

Pourtant le frein le plus important que l'on constate réside dans un coût d'investissement élevé, donc un temps de retour encore trop important. Il faut espérer que la généralisation progressive de l'autorisation de l'autoconsommation permettra de libérer la demande.

Quant au stockage de l'énergie, il reste assez difficile et se limite pour le moment à la technologie des batteries. En effet pour pouvoir restituer l'électricité à la demande, en raison de son faible coût notamment dû au fait que le plomb se dégrade assez rapidement et avec un rendement proche des 80% la batterie à plomb est aujourd'hui celle qui reste la plus utilisée. Des nouvelles voies pour le stockage d'électricité font partie des axes de recherches, notamment en Allemagne et en Finlande où des expériences ont été réalisées afin d'utiliser la pile à combustible comme générateur associé à un stockage. Le stockage est alors assuré par des réserves d'hydrogène produites par hydrolyse alimentée par les panneaux photovoltaïques. Cependant, le rendement de cette technologie reste assez faible. De même, les batteries à lithium-ion semblent prometteuses, les récents résultats montrent un fort rendement énergétique (proche des 100%), durée de vie élevée et une absence de maintenance. Même si les prix sont pour le moment assez élevés, ils sont en net décroissance.

### **5 A.3 - TECHNOLOGIES EXISTANTES**

Parmi les technologies actuelles, on peut citer en premier lieu les panneaux monocristallins. Le panneau monocristallin est composé d'un seul cristal de silicium de grande dimension à la différence du panneau polycristallin qui est lui composé de morceaux de cristal de silicium qui sont chauffés, fondus puis refroidis pour être ensuite assemblés pour former une cellule, celle-ci est alors composée de cristaux de tailles et de couleurs différentes.

Une autre technologie voisine est le panneau amorphe qui est composé de silicium non cristallisé. Seulement 1% de silicium utilisé dans les panneaux monocristallins est ici nécessaire.

### → **Panneaux monocristallins**

Ils offrent les rendements les plus élevés de 14% à 19% d'énergie électrique générée par rapport à l'énergie solaire reçue. Bien évidemment c'est une performance qui varie en fonction de nombreux facteurs comme l'emplacement des panneaux, la qualité du cristal et l'emplacement des soudures. Ils ont également un coefficient de température plus élevées ce qui signifie que dans les régions où il y a une forte variation de température le rendement sera moins élevé. En comparaison avec autres panneaux, le panneau monocristallin présente un rendement 50% supérieur à celui du polycristallin et 250% supérieur à celui des panneaux amorphes. Ils présentent également de bonnes performances pour les rayonnements diffus ce qui les rend plus adaptés pour les toitures à faible pente.

### → **Panneaux polycristallins**

Ils offrent des rendements maximum compris entre 11% et 15%. Le rendement est encore moins important lorsque l'ensoleillement est faible néanmoins il reste le meilleur compris sur le marché pour son rapport qualité/prix. En effet les panneaux monocristallins ont un meilleur rendement mais reste très onéreux.

### → **Panneaux amorphes**

Ils offrent un rendement compris entre 5 et 7%. Comme les panneaux monocristallins, ils fonctionnent bien pour des rayonnements diffus, pouvant parfois être meilleurs que les panneaux cristallins et contrairement aux deux premiers, ils fonctionnent également sous éclairage artificiel, bien que ce ne soit pas le but premier des panneaux photovoltaïques.

### → **Tracker solaire**

Cette technologie d'installation, ou suiveur de Soleil présente certains avantages. Il s'agit d'une installation de production d'énergie solaire fonctionnant sur le principe de l'héliostat. Ce système permet d'orienter les panneaux en fonction des rayonnements solaires tout au long de la journée afin d'augmenter le rendement. Evidemment la position du soleil au cours de la journée est d'une année n'est pas la même. Le tracker est alors positionné de façon perpendiculaire aux rayonnements.

## **5 A.4 - NOUVELLES TECHNOLOGIES**

### → **Sunstockage**

Cette technologie favorise l'autoconsommation. Le Sunstockage est une centrale solaire photovoltaïque proposé à des familles en Martinique financé par Sunzil principal opérateur en énergie solaire en Outre-mer ainsi que l'Ademe, le SMEM (Syndicat Mixte d'Electricité de la Martinique) et le Feder (Fonds européen de développement régional). C'est en réalité un système de stockage avec une batterie Lithium-ion avec un chauffe-eau solaire de 200 litres. Cette technologie permettra aux ménages de produire leur propre énergie et de stocker le surplus l'électricité qui n'aura pas été utilisé et de renvoyer sur le réseau seulement les excédents résiduels.

### → **Smartracking**

On connaissait le tracker, arrive maintenant le smartracking lancé par une société française EXOSUN. L'innovation de ce procédé est qu'en plus de permettre le calcul du positionnement des panneaux afin de pouvoir éviter les zones d'ombres au moment du coucher et du lever du Soleil c'est-à-dire lorsque le soleil est bas, il permettra maintenant une analyse en trois dimensions de la position de chaque tracker. Les capteurs pourront donc être pilotés individuellement et de façon optimale. Ceci permettra à la centrale d'augmenter son rendement de 5% par an.

### → **Génération des cellules à hétérojonction de haute performance**

Cette nouvelle technologie de panneaux pourrait être plus efficace et moins coûteuse en diminuant les coûts de fabrication et l'énergie nécessaire à la fabrication des cellules puisque la jonction est formée à basse température (< 250°C). Actuellement, les recherches sont réalisées par le groupe PV alliance dont EDF Energie Nouvelles a une participation de 40%.

C'est un projet de 8 millions d'euros qui s'étale sur 3 ans. L'hétérojonction silicium (Si-HJ) consiste à mettre en contact le silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) avec le silicium cristallin (c-Si). Un rendement supérieur à 22% a déjà été atteint avec ces types de composés. Les résultats obtenus sur des échantillons montrent que la conductance c'est-à-dire la capacité d'un matériau à conduire de l'électricité, est plus élevée de plusieurs ordres de grandeur que les matériaux habituels.

### → **Panneaux « TANDEM »**

La technologie des cellules tandem consiste à combiner deux types de cellules photovoltaïques, empilées les unes sur les autres, une couche mince de silicium amorphe empilée sur une couche de silicium cristallin. Les deux cellules, avec leurs qualités propres, absorberont différents spectres de lumière, d'où un rendement amélioré.

Ce tandem est censée optimiser le rendement comparé à celui produit par des cellules simples seules et ce qu'elles que soient leurs caractéristiques, amorphes, cristallines ou micro-cristallines.

### → **La pérovskite**

La pérovskite est un minéral de Calcium de Titane qui pourrait révolutionner le domaine du photovoltaïque. Ce minerai est extrait aujourd'hui en quantité abondante et serait donc beaucoup moins cher que le Silicium habituel affichant de réelles performances. Les dernières études du Laboratoire américain NREL (National Renewable Energy Laboratory) montrent que les cellules faites en pérovskite peuvent atteindre un rendement supérieur à 20% en fin 2014 soit plus que ce qu'affichent certaines cellules en Silicium monocristallin.

### → **Les couches minces**

C'est un procédé de fabrication qui a été développé en France par l'entreprise NEXCIS. Ce procédé permet de fabriquer des cellules environ dix fois plus mince qu'en Silicium de l'ordre de quelques millimètres. Ces cellules couches minces peuvent atteindre un rendement de 11% en production industrielle et 16,5% en laboratoire. De plus le nombre d'étapes pour la fabrication est moins important et peu énergivore. Ce qui explique son succès est que les

procédés de dépôt sont très rapide (quelques minutes). Une succession d'empilement des couches minces est déposée sur un substrat de verre. Ces cellules sont constituées d'une succession d'empilement de couches minces sur un substrat de verre.

On retrouve dans ces technologies de couches minces le silicium amorphe (a-Si), le tellure de Cadmium (CdTe) et le cuivre Indium-Galium-Soufre/Sélénium (CIGSSe).

Aujourd'hui l'entreprise NEXCIS n'existe plus, faute de financeurs. Le procédé est développé par d'autres industriels tels que CROSSLUX ou SOLAR FRONTIER.

### 5 A.5 - L'AUTOCONSOMMATION POUR LES PARTICULIERS

Quelques constats pour comprendre l'évolution de la filière :

2014	Fin du crédit d'impôt pour une installation photovoltaïque.
2009 à 2019	Baisse des coûts des installations solaires (divisés par 10)
	Baisse du prix de vente du kWh électrique PV (passé de 60 c€ à moins de 10 c€)
	Hausse du prix d'achat de l'électricité de pratiquement 50 % dont une grande partie est due aux taxes d'acheminement (janvier 2009 – 6 kVA – 14,77 c€ TTC / janvier 2019 – 21,02 c€ TTC suivant le site DataJoule)
2017	Ouverture à la concurrence du rachat de l'électricité photovoltaïque (pour les installations dont la puissance est inférieure à 100 kWc)
	Prime à l'autoconsommation pour les installations photovoltaïques en parallèle de l'arrêté tarifaire solaire photovoltaïque.

La quasi-totalité des installations résidentielles se fait en autoconsommation avec vente du surplus : au 1er trimestre 2019 l'autoconsommation représentait une puissance cumulée, tous secteurs confondus, de 170 MW dont 81 % étaient constituées d'installations résidentielles dont la puissance installée varie de 0 à 6 kW (source : Le Mix par ENEDIS).

Il faut noter en revanche qu'à l'heure actuelle, pour des raisons de contraintes excessives, l'autoconsommation collective a du mal à sortir des cartons. Il semble que certains freins puissent être levés prochainement par voie législative.

Ainsi, par exemple, l'opération doit s'inscrire dans le cadre du réseau public de distribution et contribuer au **Turpe** (Tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité) et assurer de ce fait le principe de péréquation tarifaire... Or le réseau intérieur des bâtiments, ou tout réseau permettant d'alimenter un ou plusieurs consommateur(s) non résidentiel(s), à l'intérieur d'un site géographiquement limité est un **réseau fermé**. L'intégration à un réseau fermé est soumise à l'article L.344-1 du Code de l'Environnement pour la sécurité des utilisateurs. A ce jour le décret permettant l'application de ces dispositions n'est pas encore paru.

L'autoconsommation en secteur résidentiel peut être pertinente **si les usages les plus consommateurs sont déplacés pendant les heures d'ensoleillement** (production d'eau chaude sanitaire, charge d'un véhicule électrique). Un système de pilotage de l'électroménager d'une installation de 3 kW permet un taux moyen d'autoconsommation de 70 % contre 50 % sans pilotage (sources *My Light System ; Système Véo*).