

# L'ENERGIE SOLAIRE et les PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES

## 1 - Irradiance solaire

La quantité d'énergie solaire reçue par la terre est de  $1,75 \cdot 10^{17}$  joules par seconde ou encore  $1,5 \cdot 10^{18}$  kWh par an.

Unités de grandeur :

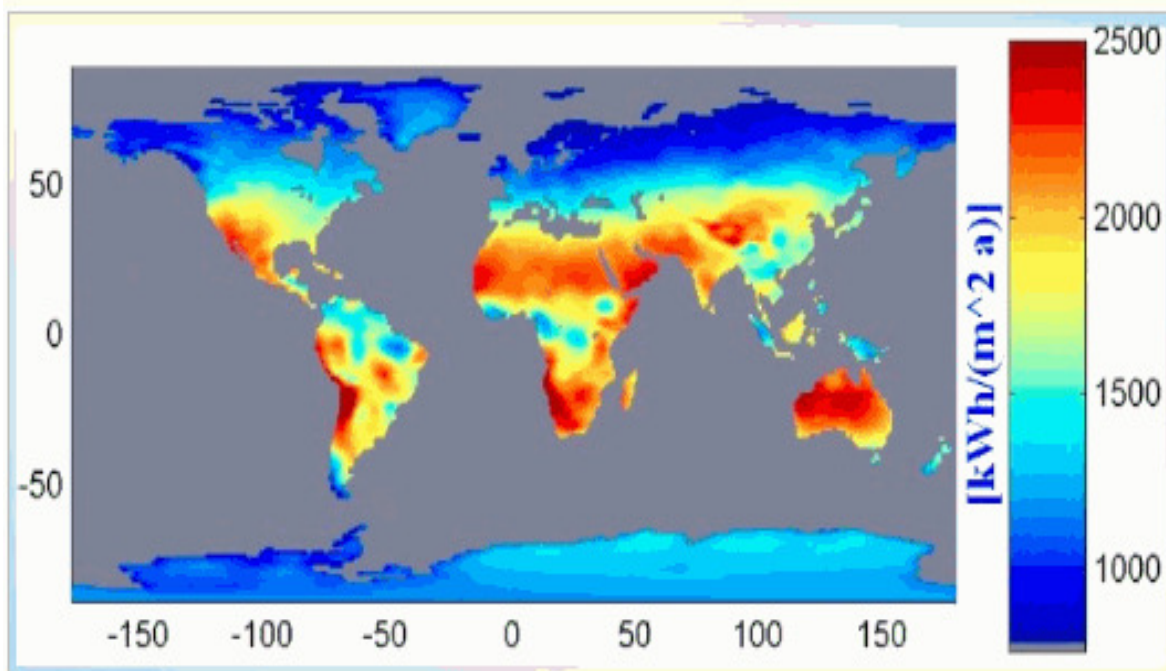
**1Wh = 3600 Joules et 1KWh =  $3,6 \cdot 10^6$  J.**

**Or,  $1,75 \cdot 10^{17}$  Joules/s font  $1,75 \cdot 10^{17} \times 3600 \times 24 \times 365 = 5,5188 \cdot 10^{24}$  Joules/année.**

**Ainsi  $5,5188 \cdot 10^{24} / 3,6 \cdot 10^6 = 1,5 \cdot 10^{18}$  kWh par an.**

La consommation mondiale d'énergie en l'an 2000 est de 10 Gtep ou  $1 \cdot 10^{14}$  kWh (1 Tep - tonne équivalent pétrole = 11 620 kWh), soit 15 000 fois moins que l'énergie solaire reçue par la terre hors atmosphère en un an (et 10 000 fois moins que celle reçue au sol).

L'irradiance solaire moyenne hors atmosphère est  $1\,367 \text{ W/m}^2$ . En tenant compte de l'alternance jour nuit, de la latitude, de l'altitude et des conditions climatiques, l'irradiance solaire varie de zéro à environ  $1000 \text{ W/m}^2$  au niveau du sol. En moyenne sur l'année, l'irradiance sur terre est de  $188 \text{ W/m}^2$  ( $1\,650 \text{ kWh/m}^2$  par année) et elle varie de 85 à  $290 \text{ W/m}^2$  ( $750$  à  $2550 \text{ kWh/m}^2$  par année).



(source : Gregor Czisch, ISET, Kassel, Germany)

**Energie disponible exprimée en kWh/m<sup>2</sup> par année en fonction de la latitude.**

Sous les latitudes moyennes telles que celle de la France, l'énergie incidente est d'environ  $1\,000 \text{ kWh/m}^2$  par an sur un plan horizontal. L'énergie lumineuse reçue sur la surface de la France ( $550\,000 \text{ km}^2$ ) par an correspond à 200 fois sa consommation annuelle en énergie (250 Mtep). La surface des bâtiments en France ( $10\,600 \text{ km}^2$ , source IFEN) reçoit 4 fois en énergie lumineuse l'équivalent du besoin en énergie de la France. Il y a donc un potentiel énorme même s'il serait inconcevable de recouvrir tous les toits de la France de capteurs solaires.

L'énergie solaire est la seule énergie renouvelable dont le potentiel pourrait, sur la base d'un calcul théorique, couvrir tous les besoins énergétiques de la planète.

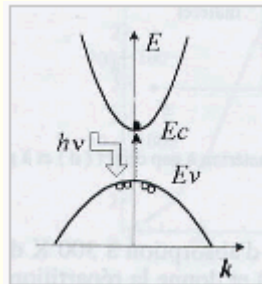
L'énergie solaire est considérée comme inépuisable (encore 5 milliards d'année), elle n'a que peu d'impacts négatifs sur l'environnement et elle est disponible partout sur la terre. Le potentiel énergétique moyen récupérable est en général bien connu en tout point de la surface du globe et en fonction de l'époque de l'année. La disponibilité de l'énergie solaire est variable dans le temps, c'est une énergie intermittente. Elle dépend des cycles jour/nuit et été/hiver ainsi que de la météorologie, ce dernier facteur rend sa disponibilité aléatoire à cours terme.

## 2 - Conversion photovoltaïque de l'énergie solaire

L'effet photovoltaïque permet de convertir directement l'énergie lumineuse du soleil en électricité grâce à des semi-conducteurs (silicium). Bien que cette filière énergétique soit largement minoritaire dans les bilans énergétiques mondiaux, européens et français, son taux de croissance (30 à 60% par an) et la chute des coûts qui accompagne son développement depuis quelques années présage un potentiel de développement très élevé pour l'avenir.

La cellule photovoltaïque, élément de base du capteur, est composée d'un matériau semi conducteur qui de par ses caractéristiques, permet de capter l'énergie des photons composant la lumière.

Dans un matériau conducteur, la bande de valence ( $E_v$ ) et la bande de conduction ( $E_c$ ) se confondent, ce qui fait que les électrons peuvent circuler facilement dans le réseau cristallin du matériau conducteur. Dans un matériau isolant, au contraire, la bande de valence et la bande de conduction sont séparées par ce qu'on appelle la bande interdite. Cette bande nécessite beaucoup d'énergie aux électrons pour qu'ils puissent passer dans la bande de conduction, de l'ordre d'une dizaine d'électronvolts (ou eV). Dans un semi conducteur, la largeur de la bande interdite est plus faible, de l'ordre de 0,5 à 2 eV, cette énergie de transition d'une bande à l'autre est l'énergie de *gap* notée  $E_g$ . L'intérêt est de pouvoir utiliser l'énergie des photons de la lumière du soleil pour faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction, ce qui, en contre partie, crée un trou dans la bande de valence.



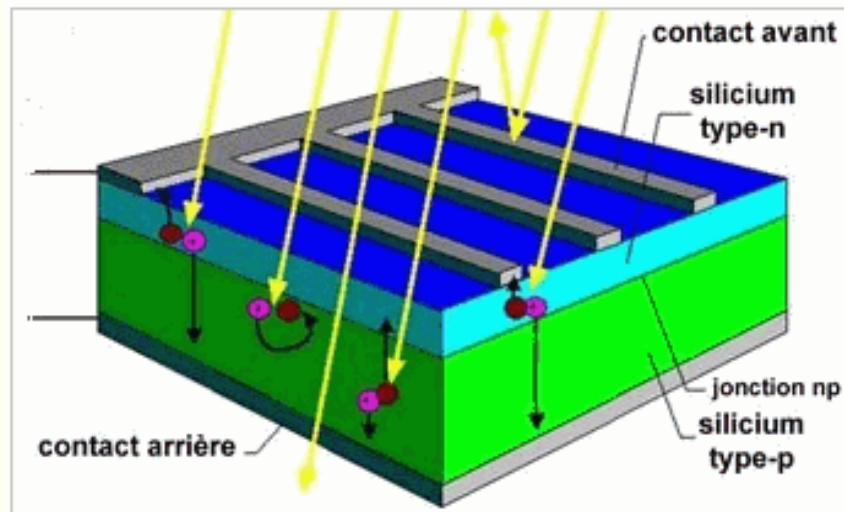
(Source Photopiles solaires de A .Ricaud, p109)

L'énergie des photons, fonction de la longueur d'onde de la lumière, doit être supérieure ou égale à l'énergie de gap  $E_g$ .

Energie de gap pour différent semi conducteur à la température de 300°K (27°C) :

	Ge	Si	GaAs	InP	CdS	CdTe
$E_g$ (eV)	0.67	1.12	1.43	1.29	2.42	1.44

Mais les paires d'électrons / trous créées par les photons ont tendance à se recombiner très rapidement. Pour ralentir ce phénomène et permettre leur récupération vers les électrodes, un champ électrique est créé par une jonction PN.



Il s'agit d'introduire des « impuretés » dans le réseau cristallin du semi conducteur qui est le plus souvent du silicium. Le silicium à 4 électrons dans sa bande de valence, ce qui lui permet, par les liaisons de covalence, de garder une structure cristalline. L'ajout d'impuretés (quelques ppm) ayant 5 électrons dans la bande de valence (phosphore par exemple) se substituant au silicium, ajoute des électrons faiblement liés dans la structure cristalline, créant un semi conducteur dopé N. De même, l'ajout d'impuretés ayant 3 électrons dans la bande de valence (bore par exemple) se substituant au silicium enlève des électrons, donc ajoute des « trous » dans la structure cristalline, créant un semi conducteur dopé P. La juxtaposition de ces deux semi conducteurs dopés N et P crée une jonction PN avec une différence de potentiel aux bornes de laquelle il est possible de récupérer les électrons délogés par des photons ayant suffisamment d'énergie, d'où circulation d'un courant électrique.

### 3 - Les différentes technologies de cellules photovoltaïques

Deux grands familles de technologies existent actuellement : la première à base de silicium cristallin comprenant le mono et le multi cristallin, couvre de l'ordre de 85% de la production mondiale. La deuxième famille, celle des couches minces, comprend les cellules au silicium amorphe, polycristallin ou microcristallin ; au tellure de cadmium, au cuivre indium sélénium, et à l'arséniure de gallium. En outre, d'autres technologies sont en cours d'expérimentation comme les **cellules organiques, polymères** ou à base de **fullerènes**.

**Le Silicium mono cristallin (mono c-Si) :** la technologie mono cristalline est coûteuse car elle nécessite des barres de silicium pur. Son rendement est le plus élevé (14 à 16%). Ce qui a l'avantage de réduire la taille des modules pour une même puissance, chose utile lorsqu'un gain de place est nécessaire.

**Le silicium multi cristallin (multi c-Si) :** la technologie multi cristalline est obtenue par la refonte de chute de cristaux de silicium de l'industrie électronique et elle nécessite 2 à 3 fois moins d'énergie que la technologie précédente. Son rendement un peu moindre (12 à 14 %) mais son coût est plus avantageux, ce qui permet à cette technologie de dominer actuellement le marché.

**Le silicium en ruban (EFG) :** Cette technique permet de s'affranchir des lingots et de la perte de silicium lors de la découpe. Il s'agit de cristalliser du silicium fondu (quelques dizaines de micromètre) sur un ruban souple. La consommation de silicium est divisée par deux (8 g par Wc contre 16 g par Wc). Une solution, EFG (Edge defined film Fed Growth), est testée de longue date et industrialisée par certains fabricants (RWE et Evergreen).

**Les couches minces.** Les principales filières couches minces sont le Silicium amorphe (Sia) - utilisé depuis de longues années, dans les montres et calculatrices notamment, le CdTe (hétéro jonction cadmium telluride, sulfure de cadmium), le CIS (hétéro jonction de diséléniure cuivre indium/ sulfure de cadmium). La fabrication se réalise en automatique, avec tunnels pour les dépôts divers de couches et connexions par laser. Elle est adaptée aux grosses productions. Ces premières technologies ouvrent actuellement d'autres voies, sans que l'on sache laquelle dominera.

**Le silicium amorphe (a-Si) :** Matériau composé de silicium hydrogéné (état non-cristallin) déposé sur un substrat de verre. D'un rendement moins bon que le cristallin (5-7%), le silicium amorphe est souvent appliqué à des appareils de petite puissance (calculatrices, lampes ou horodateurs), mais des firmes comme Solarex, Phototronic, Canon ou Fortum proposent des modules de taille équivalente à celle des modules cristallins. Sanyo a mis au point une technologie de silicium amorphe sur une couche de silicium mono cristallin (technologie HIT) dont les rendements sont supérieurs à celui du silicium mono cristallin (rendement de l'ordre de 19%).

**Le silicium poly cristallin (Poly c-Si) ou micro cristallin ( $\mu$  c-Si) :** Il s'agit de déposer une couche mince (de l'ordre de 10 micromètres) sur un substrat de verre ou de céramique. Cette technologie, essentiellement développée par la société américaine Astropower (USA), est encore à l'étape de production pilote.

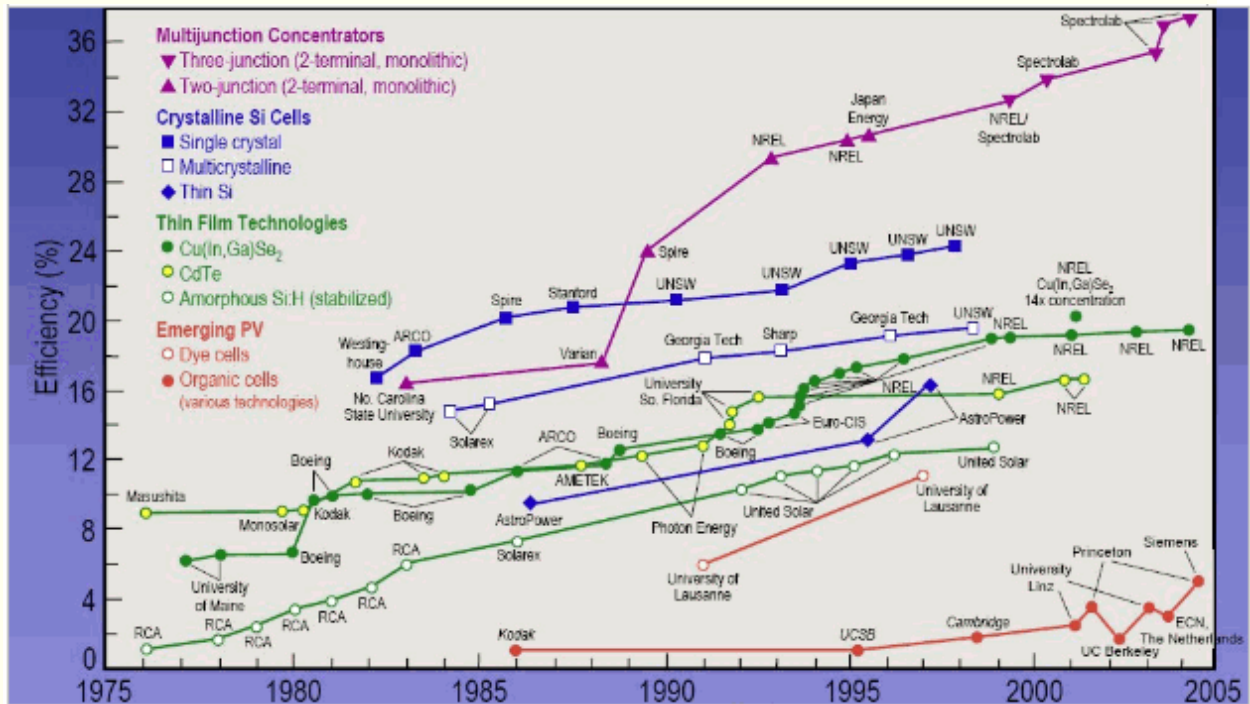
**Le tellurure de cadmium (CdTe) :** ou encore appelé hétéro jonction cadmium telluride, sulfure de cadmium. Composé poly cristallin déposé sur substrat de verre. Les premières cellules ont été développées en 1972. Il y a quelques années, cette technologie semblait être la plus adaptée pour les couches minces. Mais les problèmes de coût et de toxicité posés par le cadmium ont pesé lourdement sur son développement, utilisation de 7g/m<sup>2</sup> de cadmium (une batterie NiCd de taille standart en contient 10g).

**Le diséléniure de cuivre et indium (CIS ou CIGS) :** matériau composé de diséléniure de cuivre et d'indium combiné avec du sulfure de cadmium. Cette technologie de couches minces, qui permet d'atteindre des épaisseurs inférieures au micromètre, est présente aujourd'hui dans de nombreux projets industriels.

**L'arséniure de gallium (GaAs) :** Matériau mono-cristallin combiné avec différents matériaux. Les cellules photovoltaïques en couches minces qui intègrent cette technologie sont caractérisées par un haut rendement mais leur coût étant encore très élevé, leur utilisation reste cantonnée à des applications très spécifiques comme le domaine spatial.

**Les matériaux organiques (TiO<sub>2</sub>) :** Ces cellules inventées en 1991 par le chimiste suisse Michael Graetzel sont composées d'une poudre de cristaux TiO<sub>2</sub> associée à un électrolyte et à un colorant qui absorbe la lumière. Cette technologie en est encore au stade expérimental. Le rendement est moyen et la stabilité à long terme est mauvaise, mais sa fabrication est en théorie plus facile que les autres cellules, et la matière première est bon marché.

### 3-1 Rendement de différentes technologies de cellules PV en laboratoire :



A titre d'exemple, le panneau du Tracker Solaire expérimental est de type mono cristallin (mono c-Si) figuré sur la courbe bleue et carrés bleus, son rendement théorique avoisine 24% alors que le rendement réel est de 17%. Ce type de panneau présente actuellement le meilleur rapport puissance/surface, son rendement au bout de 25 années chute à environ 13%.

### 4 - Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

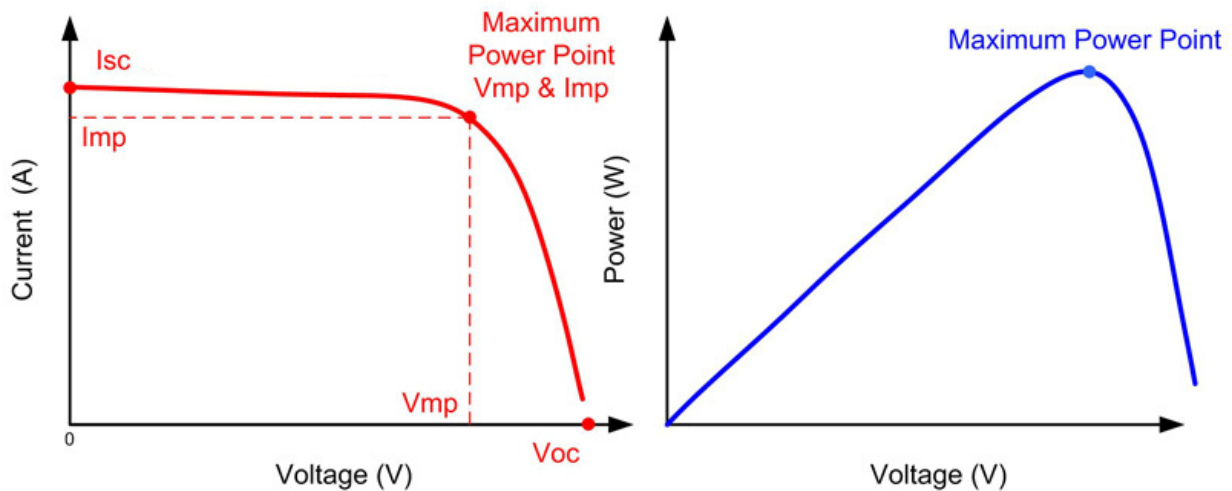
#### 4-1 Les bases d'un panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est composé d'un ensemble de cellules photovoltaïques.

En présence de soleil, chacune de ses cellules produit un courant  $I$  (en ampère A) et une tension  $U$  (en volt V).

Le produit de ces 2 grandeurs donne une puissance  $P$ , exprimée en Watt (W).

Voici à quoi ressemble la caractéristique électrique d'un panneau solaire :





La courbe rouge courant-tension:

**V<sub>oc</sub>** : tension circuit ouvert (Open Circuit) indique la tension présente aux bornes du panneau quand il n'est pas branché.

**I<sub>sc</sub>** : courant de court-circuit (Shorted Circuit) indique le courant max que peut délivrer le panneau.

Cette courbe en bleu s'obtient par le produit du courant et de la tension de la courbe rouge.

Le Point de Puissance Maximum (PPM ou MPP en anglais) sur cette courbe correspond au produit de 2 valeurs particulières qui sont :

- le courant de puissance maximale noté I<sub>mpp</sub> (ou I<sub>ppm</sub>)
- la tension de puissance maximale notée V<sub>mpp</sub> (ou V<sub>ppm</sub>)

#### 4-2 Les données constructeur d'un panneau photovoltaïque

## Electrical Characteristics

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Power Class	225 W	230 W	235 W	240 W	245 W	250 W
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	225 W	230 W	235 W	240 W	245 W	250 W
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	36.7 V	36.8 V	36.8 V	37.0 V	37.1 V	37.2 V
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	8.18 A	8.34 A	8.44 A	8.54 A	8.64 A	8.74 A
Voltage at Maximum Power (V <sub>mpp</sub> )	29.9 V	30.0 V	30.1 V	30.2 V	30.3 V	30.4 V
Current at Maximum Power (I <sub>mpp</sub> )	7.53 A	7.67 A	7.81 A	7.95 A	8.08 A	8.22 A
Module Efficiency (%)	13.6 %	13.9 %	14.2 %	14.5 %	14.8 %	15.1 %
Cell Efficiency (%)	15.5 %	15.8 %	16.1 %	16.5 %	16.8 %	17.2 %

Considérons, par exemple, le panneau 230W:

Si l'on multiplie le courant I<sub>mpp</sub> par la tension V<sub>mpp</sub> => 30 x 7.67 = 230,1W

Le rendement est calculé en fonction de la surface de captage...

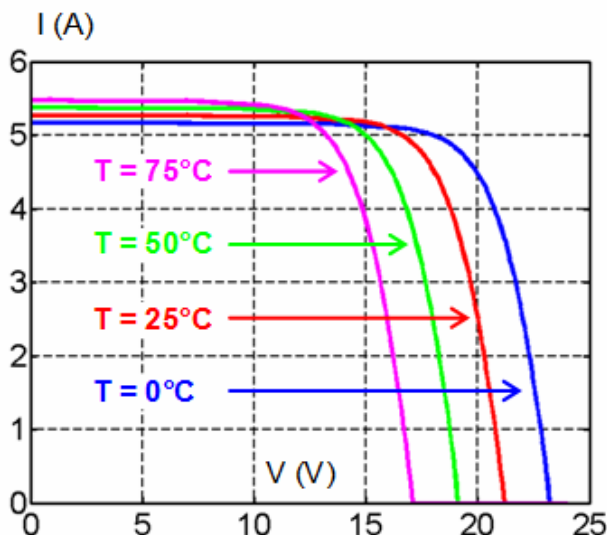
Attention ces valeurs sont obtenues par le constructeur dans des conditions bien particulières :

Les conditions de test standards : STC c'est-à-dire avec un ensoleillement équivalent à 1000W/m<sup>2</sup> avec une température de 25°. Les conditions STC sont donc optimales.

En utilisation normale (Normal Operating Cell Temperature : NOCT), la valeur P<sub>mpp</sub> est de 167W pour ce panneau.

Les conditions normales étant 45°C, et une puissance lumineuse de 800W/m<sup>2</sup>.

Les paramètres changent en fonction de la température, plus le panneau est froid et meilleur est son rendement.



C'est pour cette raison que souvent la production photovoltaïque est plus élevée au printemps que l'été.

Rien ne vaut une comparaison des documents constructeurs. Car la qualité d'un panneau ne s'arrête pas au type de cellule utilisé, mais aussi à l'assemblage et à la fabrication du panneau. Au moment de choisir un panneau photovoltaïque, le principal critère est le Watt crête noté  $W_c$  et exprimé en Watt. Ce paramètre dépend évidemment de la surface, de la qualité du panneau, etc... mais ce qui nous intéresse c'est combien au maximum on peut récupérer de puissance. Et comme tout choix passe par le coût, pour comparer les panneaux les uns aux autres, on peut ramener les prix au prix du  $W_c$ .

## 5 - Météo et ensoleillement par année à Metz (et environs proches)

Données climatiques pour Metz-Nancy-Lorraine ☐

Année	Température [°C]			Vent [km/h]		Ensoleillement <sup>4</sup> [h]	Précipitations totales <sup>5</sup> [mm]	Pression <sup>6</sup> [hPa]	
	Min <sup>1</sup>	Max. <sup>2</sup>	Moy.	Moy. <sup>3</sup>	Max.			Min	Max.
2015	-4.0	21.3	8.6	–	81.5	255h 6min	99.1	998.9	1041.3
2016	-8.4	36.0	10.6	–	118.5	1633h 54min	789.5	982.3	1047
2017	-11.1	36.2	10.9	–	81.5	1928h 36min	639.6	977.2	1042
2018	-12.5	35.8	11.9	–	68.5	2041h 42min	640.5	985.5	1038.4
2019	-7.5	39.5	11.9	–	57.4	2130h 24min	550.5	976.5	1040.8
2020	-3.6	10.8	4.1	–	25.9	0h 12min	3.0	1014.6	1037.7
Total	-12.5	39.5	9.7	0	118.5	7989h 54min	2722.2	976.5	1047

En 2019, nous relevons une durée de 2130 heures d'ensoleillement. Selon d'autres sources cette durée ne serait que de 1629 heures.

**Considérons une moyenne de 1900 heures par an.**

## 6 - Expérimentation et relevés à Lorry les Metz

### 6-1 Principes

Une surface exposée au soleil reçoit, à un instant donné, un rayonnement solaire en  $W/m^2$ , qui est un flux, une puissance par unité de surface. Ce flux varie au passage d'un nuage, selon les heures de la journée, etc. Au bout d'une journée, ce flux a produit une énergie journalière ou rayonnement solaire intégré, en  $Wh/m^2$  par jour.

Un module photovoltaïque se caractérise avant tout par sa puissance maximale ou puissance crête  $P_{max}$  (W).

Cette valeur de puissance correspond à la valeur obtenue dans les conditions STC (conditions optimales d'exposition en laboratoire) ( $1000 W/m^2$  à  $25^\circ C$ ), si le module est exposé dans ces conditions STC, il va produire, à un instant donné, une puissance électrique égale à cette puissance crête.

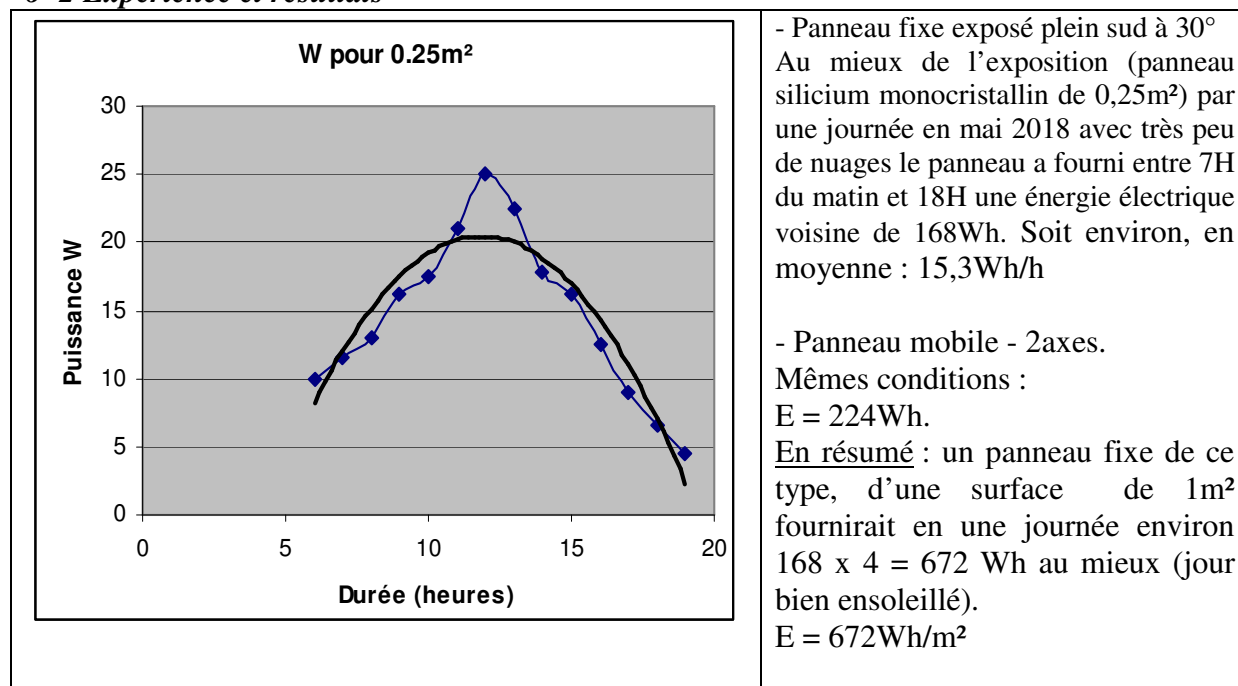
Si cela dure  $N$  heures, il aura produit pendant ce laps de temps une énergie électrique  $E = N \times P_{max}$ .

Un panneau solaire monocristallin produit environ  $100W/m^2$  au mieux de sa forme et par beau temps !

S'il fonctionne 6 heures par jour il aura produit une énergie électrique de  $6 \times 100 = 600Wh$ .

Selon l'orientation du panneau relativement à la course apparente du soleil, la production d'électricité n'est pas informe ; elle varie aussi en fonction de la température.

## 6 -2 Expérience et résultats



Energie maximale produite en une année par un panneau de 1m<sup>2</sup> : 4 x 15,3 x 1900 = 116280Wh. soit **116,28KWh**.

### En résumé :

**Un panneau photovoltaïque d'une surface de 1m<sup>2</sup> produit (produira) en une année environ 116 KWh d'énergie électrique** (à Lorry si ensoleillement comme en 2019).

## 6 -3 Données installateur

Pour une production potentielle de 3000 KWh / an, il faut installer une puissance photovoltaïque proche de 3 KWc en fonction de la zone géographique où l'on se situe. Si la puissance crête nominale d'un panneau de 1,7m<sup>2</sup> est égale à 180 Wc (cas courant), il faut savoir que la puissance réelle est bien inférieure, de l'ordre de 160 Watts.

Il faut donc nous équiper de : 3 000 / 160 = 18,75 panneaux de 1,7m<sup>2</sup> soit une surface totale de 32m<sup>2</sup>

## 6 -4 Bilan économique :

Le crédit d'impôt 2019 applicable pour les installations solaires aérovoltaiques (thermiques + photovoltaïques) est fixé à 30 %, mais avec un plafond de 5000 € qui limite le crédit d'impôt pour éviter les dérapages de l'ancienne période de l'essor du photovoltaïque. 30 % de 5 000€ = 1500 € de crédit d'impôt maximum.

## 6 -5 Coût d'une installation photovoltaïque 3000 watts/crête en 2019.

Aide de la région 0 € (variable suivant les régions mais la tendance est à zéro d'aide).

Crédit d'impôt : 0 %.

Coût de l'installation complète : 10000 à 12000 € ttc avec matériel et main d'œuvre.

Coût de raccordement à ERDF 1000 € à 1500 € ttc (si non prévu dans le devis d'installation complète).

Amortissement pour l'onduleur : 100 € ttc annuel (son remplacement doit être envisagé tous les 10 ans).

Location annuelle du compteur électrique : 62 € ttc.



Frais annexes : surcoût de l'assurance multirisque habitation (variable suivant les compagnies d'assurance).

L'installation de panneaux photovoltaïques facturés 23000 € ou 30000 €, en tenant compte des coûts de crédit, n'est pas rentable. Les délais d'amortissement dans ce dernier cas dépassant largement la durée de vie des panneaux (20/25ans).

### **La production moyenne par m<sup>2</sup> et par an en France est de 100 kilowatts-heure.**

Quelques précisions sur les investissements et la rentabilisation aux conditions actuelles :

Une installation moyenne en France possédant une puissance de 3322 kWh / an coûte en moyenne 12000 euros. La pose représente environ 15 % du prix global. Le coût du matériel ouvre droit à un crédit d'impôt (remboursable aux foyers non imposables) que l'on peut chiffrer à 1056 € ttc euros.

Initialement on valorisait la production en la vendant à EDF au départ à 0.60 euros par kWh puis 0,3159 euros par kWh et 0,2696 euros par kWh jusqu'au 31/12/2014 (si le système PV remplaçait votre toiture tout en faisant office d'étanchéité) actuellement le tarif d'achat de l'électricité en France étant pratiquement arrivé au prix des barèmes de vente d'EDF, nous pouvons donc songer à l'autoconsommation plutôt qu'à la vente totale à EDF.

Calcul de seuil de rentabilité des panneaux photovoltaïques :

Un investissement peut être rentable si l'investissement ne dépasse pas 12000 € ttc.

### **7 - Energie utilisée pour la production du panneau et énergie électrique restituée - temps de retour -**

Chauffage à 3000°C (morceaux de quartz), raffinage, découpage du silicium métallurgique, dopage (au bore ou au phosphore), connectique, polymérisation, encadrement....recyclage sont des opérations qui consomment de l'énergie. Il est actuellement admis par l'ensemble de la communauté scientifique internationale que l'étape impactant le plus le bilan énergétique des panneaux solaires est leur fabrication et qu'il faut l'équivalent de 2500 kWh d'énergie par kWc de panneaux solaires installé.

**Si donc nous disposons d'une puissance installée de 3 kWc qui peut produire environ 2575 kWh d'énergie électrique en une année, le temps de retour sera très voisin de 3 ans.**

### **8 - Fabrication, recyclage...**

#### **Quel est le véritable impact écologique des panneaux solaires ?**

Trop polluants ou trop chers, fabriqués avec des terres rares... Suite aux nombreuses questions de nos lecteurs et face aux fausses informations qui circulent sur Internet, We Demain livre un état des lieux de l'impact environnemental de la filière photovoltaïque, avec des experts.

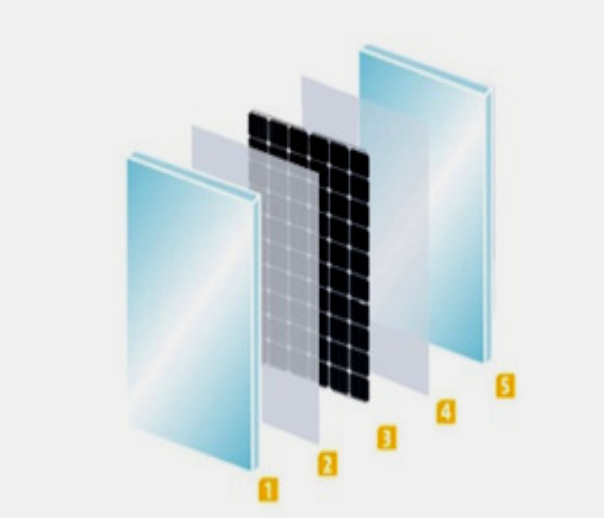


(Crédit : Skeeze / Pixabay)

En France, **55 000** tonnes de panneaux solaires ont été posées durant l'année 2016. Un chiffre qui devrait tripler d'ici 2023, alors que le pays s'achemine vers un objectif de 20,2 GW de puissance installée contre 6,8GW actuellement.

Problème : ces quantités industrielles de panneaux solaires représenteront d'ici quelques décennies autant de déchets à traiter. L'impact écologique de leur production et la question de leur recyclage préoccupe de plus en plus les lecteurs de *We Demain* qui l'expriment dans leurs commentaires. Une inquiétude légitime, mais qui est aussi exploitée par certains défenseurs du nucléaire et qui entraîne son lot de **contrevérités**.

Pour faire le point sur l'impact écologique réel de la filière photovoltaïque, *We Demain* a interrogé des spécialistes de la question.

<p>Composition des panneaux solaires. (Crédit : Solarworld)</p>  <ol style="list-style-type: none"><li>1 Verre solaire fin (2 mm) avec un revêtement antireflet</li><li>2 Éthylène-acétate de vinyle (EVA)</li><li>3 Matrice des cellules solaires</li><li>4 Éthylène-acétate de vinyle (EVA)</li><li>5 Verre solaire fin (2 mm) et transparent</li></ol>	<p><b>IDÉE REÇUE N°1 : "LES PANNEAUX SOLAIRES NE SONT PAS RECYCLABLES"</b></p> <p><i>"C'est faux. Tout du moins pour les modèles au silicium cristallin, qui représentent 90 % du marché mondial", assure Bertrand Lempkowicz, directeur de la communication de PV Cycle, un organisme public chargé du recyclage des panneaux solaires.</i></p> <p><i>"On peut recycler un panneau à 100 %, tout dépend de l'intérêt économique. Nous ouvrirons en mars prochain une usine pilote en partenariat avec Veolia dans les Bouches-du-Rhône. Notre objectif est d'y retraiter 98 % des matériaux qui composent les panneaux".</i></p> <p>Et pour cause : un panneau solaire est composé à 75 % de verre. Une matière recyclable à l'infini, tout comme l'aluminium qui compose son cadre. À l'intérieur, on retrouve un film plastique en EVA qui peut être transformé en granules pour être refondu ou brûlé pour générer de l'électricité. Enfin, restent les cellules en silicium et les conducteurs électriques qui peuvent être en aluminium, en argent ou en cuivre. Ces éléments sont séparés mécaniquement et chimiquement avant d'être fondus, puis réutilisés.</p>
---	--

**IDÉE REÇUE N°2 : "LES PANNEAUX NÉCESSITENT DES TERRES RARES ET AUTRES MINÉRAIS DONT LA QUANTITÉ EST LIMITÉE"**

*"C'est largement exagéré. On parle de quelques milligrammes d'argent, de bore ou de phosphore par centaine de kilos de panneaux. Ces éléments sont utilisés pour doper le silicium ou améliorer sa conductivité", détaille Xavier Daval, président de SER-Soler, la branche solaire du Syndicat des énergies renouvelables.*

*"Peut-être que certaines de ces ressources seront un jour en tension, mais nous en sommes loin. Le silicium est après tout le deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre après l'oxygène ! Et il y a chaque mois de nouvelles découvertes scientifiques dans le domaine du photovoltaïque qui réduisent la quantité de silicium nécessaire."*



*L'île de Kauai dans le Pacifique a été équipée de batteries Tesla pour stocker l'énergie produite par sa ferme solaire. (Crédit : Tesla)*

### ***IDÉE REÇUE N°3 : "IL FAUT PLUS D'ÉNERGIE POUR FABRIQUER LES PANNEAUX QU'ILS N'EN RAPPORTENT"***

"C'est totalement faux ! La production nécessite beaucoup d'énergie, c'est vrai, car il faut faire fondre le verre et le silicium métallurgique pour qu'il se cristallise. Mais il en va de même pour fabriquer l'acier et le béton qui composent les centrales atomiques", *précise Xavier Daval*. Mais si on utilise de l'énergie solaire pour faire fondre ces matériaux, on crée un cycle vertueux. Plus nous aurons d'énergie solaire, plus celle-ci sera propre."

*De plus, les processus industriels ont beaucoup évolué ces dernières décennies. Comme le rapporte une étude parue dans Nature Communications en décembre dernier. En 1986, il fallait compter 409 grammes d'équivalent CO2 pour un kWh. Aujourd'hui, l'empreinte d'un panneau solaire n'est plus que de 20 à 25 grammes d'équivalent CO2 par kWh. Concrètement, cela signifie que les panneaux "remboursent" leur dette énergétique en seulement un an et demi en France, contre 5 ans en 1992. "Et même si vous habitez en Norvège, où il y a beaucoup moins de soleil, cela reste très intéressant. Vous remboursez leur dette énergétique en deux ans et huit mois, ajoute Bertrand Lempkowickz. Ensuite, c'est de l'énergie gratuite et 100 % propre !"*

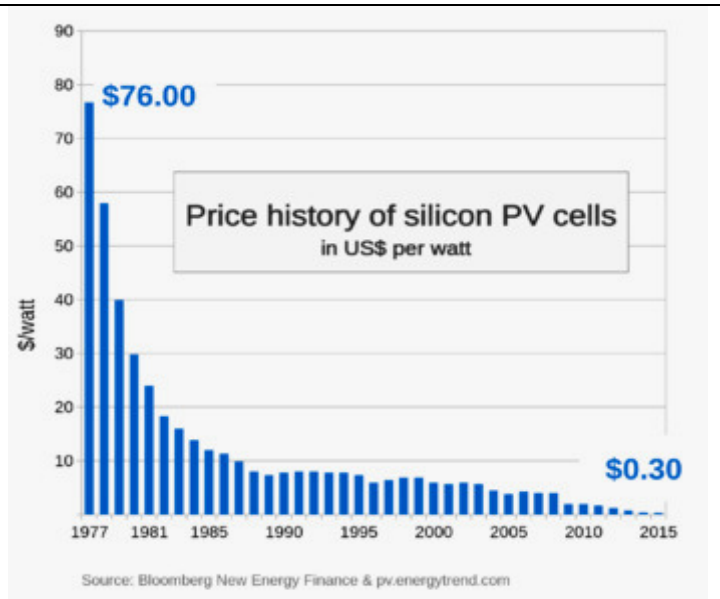
### ***IDÉE REÇUE N°4 : "LES PANNEAUX NE DURENT QUE 25 ANS"***

"C'est un chiffre que l'on entend souvent, mais qui ne concerne en fait que les premiers panneaux produits dans les années 1980. C'est à dire ceux qui arrivent aujourd'hui dans les filières de recyclage. Pour les nouveaux modèles, on a aucun recul. C'est probablement 50 ans, peut-être plus !, *avance le cadre de PV Cycle*. Au pire, ils produiront un peu moins avec les années, mais de toute façon les panneaux seront largement amortis et tout ce qui est produit sera du bonus."

*Mais alors, pourquoi les fabricants ne mettent-ils pas en avant cette durée de vie d'au moins 50 ans ? "Pour ne pas s'engager sur une garantie. Mais Tesla a osé récemment franchir ce pas pour ses toitures solaires avec une garantie illimitée", pointe le dirigeant syndical.*

## **IDÉE REÇUE N°5 : "LE PHOTOVOLTAÏQUE COUTE TROP CHER POUR LES PARTICULIERS"**

"Le prix du solaire a baissé de 80 % ces 16 dernières années. C'est comme le prix des téléphones : il est en chute libre et désormais n'importe qui peut s'en équiper, réagit Xavier Daval. Pour donner un ordre d'idée en s'appuyant sur les derniers contrats d'achat, le kWh solaire se négocie actuellement autour de 6,4 centimes en France et 5,8 centimes en Allemagne. Alors qu'une centrale nucléaire de dernière génération comme l'EPR d'Hinkley Point en Angleterre facturera du 21 centimes du kilowatt-heure !"

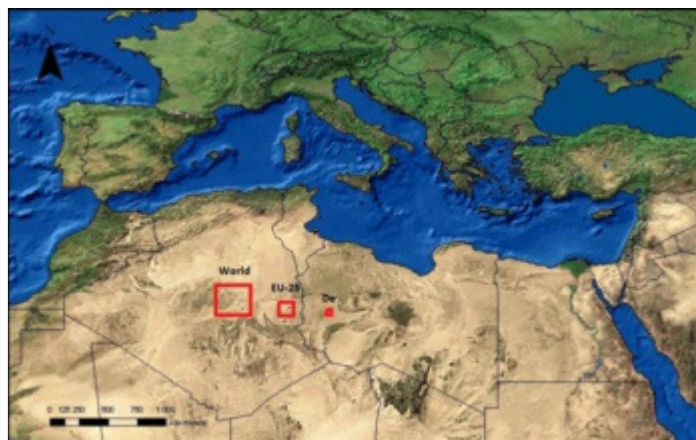


Historique du prix des cellules photovoltaïques en dollars. (Crédit : Wikimedia)

## **IDÉE REÇUE N°6 : "IMPORTER LES PANNEAUX SOLAIRES DE CHINE EST TRÈS POLLUANT »**

"Les panneaux sont acheminés en bateau. Et même s'ils émettent du CO<sub>2</sub>, leurs tonnages sont tellement énormes que la pollution individuelle de chaque panneau est minime. L'idéal serait bien sûr d'avoir des cargos électriques mais ils sont encore au stade de prototype", constate Bertrand Lempkowicz.

"Très peu d'entreprises européennes de panneaux solaires ont survécu à la concurrence étrangère, mais c'est par manque de soutien des États, déplore Xavier Daval. Nous avons les ressources et le marché pour inventer un second Tesla en Europe, mais il nous manque un industriel avec la volonté d'Elon Musk."



Une surface de quelques centaines de kilomètres carrés suffirait à répondre à l'ensemble des besoins en énergie de l'humanité. (Crédit : Nadine May / Université du Braunschweig)



## **IDÉE REÇUE N°7 : "ON NE PEUT PAS STOCKER L'ÉNERGIE PRODUITE"**

"C'est de moins en moins vrai. On le voit avec Tesla qui installe en ce moment un peu partout dans le monde des batteries géantes au lithium. Mais il y a d'autres façons de stocker l'énergie verte, par exemple en pompant de l'eau dans des barrages ou d'anciennes mines pour la libérer au besoin et alimenter des génératrices, détaille Bertrand Lempkowicz. Et avec les futures smart grids, on pourra ajuster la production aux besoins de façon très précise."

"Il faudrait peut-être aussi apprendre à consommer de façon plus rationnelle. Qui a vraiment besoin d'allumer le four ou la machine à laver à 3 heures du matin ? On aime tous ce confort, mais il faut aussi en voir le prix pour l'environnement, note Xavier Daval. Si on veut approvisionner 10 milliards d'humains d'ici la fin du siècle, il faudra apprendre à être plus sobre énergétiquement. Mais la bonne nouvelle est que l'énergie solaire est répartie sur toute la planète. Ce qui en fait un puissant facteur de paix pour l'avenir, contrairement au pétrole."

**NOTES :** La très grande majorité des **panneaux solaires** sont constitués de **silicium cristallin**, élément que l'on extrait du sable ou du quartz et qui, comme le verre, est 100 % recyclable. Ces panneaux solaires contiennent aussi des éléments en argent, en aluminium ou en cuivre et, selon les modèles, du plastique. Ils couvrent 90 % du marché du solaire. D'autres technologies photovoltaïques ont recours à des métaux rares et controversés (et non des « terres rares »), mais elles concernent moins de 10 % du marché. **Des cellules de 3e génération constituées de molécules organiques** sont aussi à l'étude.

### **8 - Quelques données pratiques**

Dans notre région et plus précisément à Lorry, une toiture équipée d'une surface de 10m<sup>2</sup> de panneaux solaires (monocristallin) et dont l'orientation (ouest) et l'inclinaison (30° à 40°) sont considérées optimales peut fournir jusqu'à 1100KWh d'énergie électrique par année. (Expérimentation faite à Lorry en 2019)

La consommation annuelle d'un ménage moyen - qui cuisine au gaz et dont la production d'eau chaude n'est pas électrique - peut être estimée à **2960 kWh**. (voir sur vos factures d'électricité)

#### **Consommation d'énergie électrique de quelques appareils**

Type d'appareil	Puissance	Durée d'utilisation	Consommation /an	Prix en euros
Frigo	C	365 jours, en continu	500 KWh	125
Lave vaisselle	A+++	48 semaines 5x/semaine	220KWh	55
Cafetière	1000W	5 minutes/jour	30KWh	7,50
Four micro ondes	1000W	48 semaines 1,5h/sem	60 KWh	15
Four électrique	3000W	4,5 heures/semaine	150 KWh	37,50
Plaque à induction	2500W	2 utilisations/jour	210 KWh	52,50
TV led 123cm		4 heures/jour	90 KWh	22,50
Sèche linge à évacuation	C	100 cycles/an	500 KWh	125
Lave linge performant	A+++	200 cycles/an	180 KWh	45

Davantage de données sur <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/combien-les-appareils-electromenagers-consomment-ils/71/>