

L'ÉNERGIE SOLAIRE AU MAROC

1. INTRODUCTION

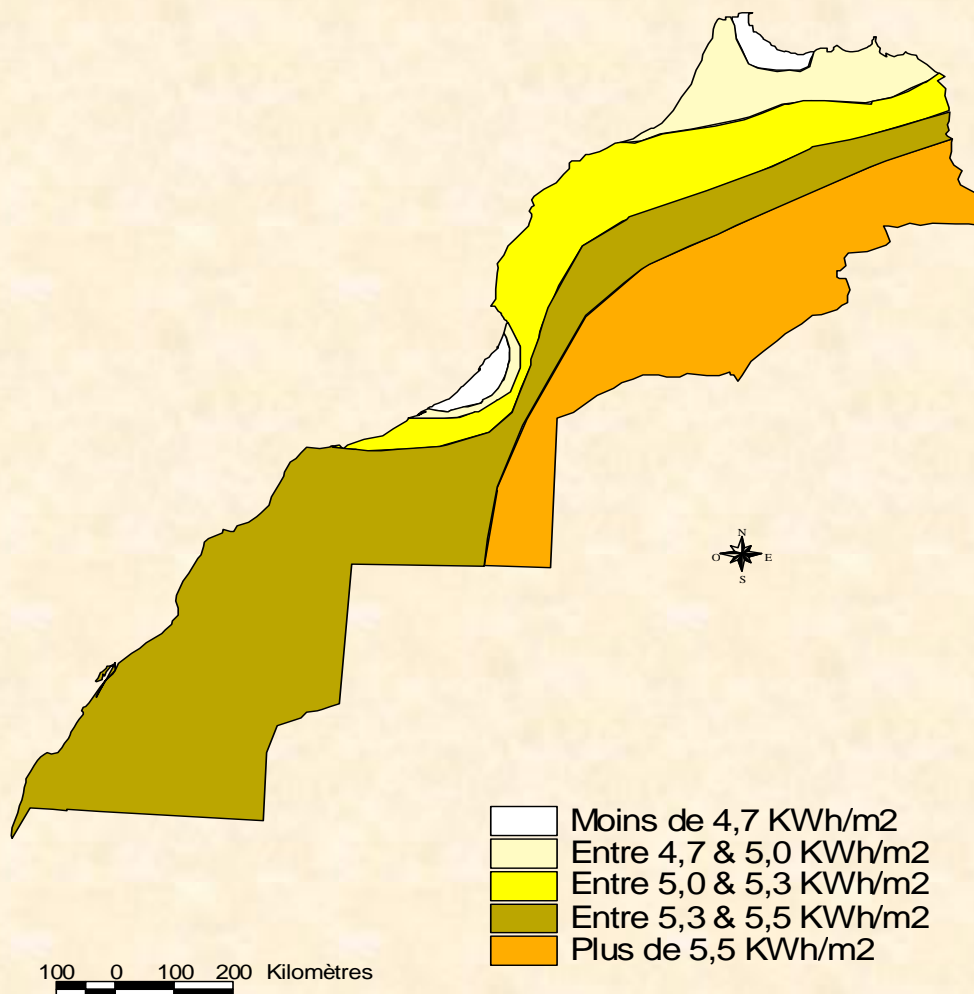
Le soleil est une source d'énergie propre, abondante, inépuisable et presque uniformément répartie sur le globe terrestre. La récupération de la totalité de l'énergie solaire reçue sur terre, durant une heure seulement est largement suffisante pour répondre aux besoins énergétiques de l'humanité pendant un an.

Depuis plusieurs années, sous la menace de la flambée des prix du pétrole, tous les pays du Monde se sont intéressés aux technologies de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Le Maroc, pays de soleil, possède un gisement solaire très important.

2. POTENTIEL ENERGIE SOLAIRE AU MAROC

Depuis 1982, le Laboratoire d'énergie solaire de la Faculté des sciences de Rabat, a publié un ouvrage intitulé "Le gisement solaire marocain", qui donne la carte solaire du pays ; il en ressort que la durée annuelle d'insolation au Maroc, varie de 2700 heures dans le nord du pays à plus de 3500 heures dans le sud.

L'énergie solaire annuelle reçue par un plan horizontal varie de 1,7 à plus de 2,2 MWh/m²/an ; soit 4,7 kWh/m²/jour à 5,5 kWh/m²/jour, voir carte ci-dessus.



Les mêmes résultats sont confirmés par l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF) : << Le Maroc dispose d'un potentiel d'énergie solaire très intéressant, dont un rayonnement solaire incident moyen variant de 4,7 à 5,6 kWh par jour et par mètre carré et un nombre d'heures d'ensoleillement qui oscille entre 2 800 heures/an et 3 400 heures/an selon les régions.>>

Exemple d'estimation :

Hypothèse :

- Surface du territoire marocain : 710 000 km² ;
- Zones à forte ensoleillement : 30%,
- A raison de 5,4 kWh/j x 340 jours = 1836 kWh/m²/an;
- Taux du sol convenable : 30%,
- Taux d'équipement : 1% en panneaux au silicium monocristallin : 15%,
- Rendement installation : 75%

Pour une surface de panneaux solaires de 639 km² la production nette d'énergie électrique est de : **131 985 GWh/an** ;

L'équivalent de **6** fois la consommation d'énergie électrique de notre pays ; une autosuffisance en électricité pour plus de 20 ans.

3. PROCÉDES D'UTISATION D'ENERGE SOLAIRE

3.1. Les capteurs thermiques

Il existe une panoplie de capteurs et de procédés solaires adaptés à la fourniture de chaleur à des températures (de 90 à 200 °C) et à des applications spécifiques comme la production de froid, la climatisation ou les procédés industriels (dessalement de l'eau de mer, production de vapeur...).

3.1.1. Les capteurs thermiques à eau

L'eau ou plus souvent un liquide caloporteur à circuit fermé, circule dans des tubes munis d'ailettes. Les ailettes, qui forment ce qu'on appelle l'absorbeur, sont chauffées par le rayonnement solaire et transmettent leur chaleur à l'eau ou au liquide caloporteur qui circule dans les tubes. Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour produire de l'eau chaude sanitaire dans un chauffe eau solaire individuel. C'est actuellement la solution la plus rentable en terme de solaire.

3.1.2. Les capteurs thermiques à air

L'air qui circule et qui s'échauffe au contact des absorbeurs est ensuite ventilé dans les habitats pour le chauffage ou pour le séchage de productions agricoles ou industrielles.

Dans le domaine de production d'électricité, il existe des centrales solaires thermodynamiques, où une « chaudière solaire » constitue la source chaude d'un cycle thermodynamique. A titre d'exemple, la centrale de 100 kW à Vignola, en Corse mise en service en 1980 ; ce type de centrale de faible puissance, destiné à la production décentralisée d'électricité, n'a pas résisté à la concurrence des systèmes photovoltaïques.

Pour des puissances supérieures, deux technologies ont été développées :

- Les centrales à tour où des miroirs orientables concentrent les rayons du soleil sur une chaudière située au sommet d'une tour (fonctionnement de 400 à 500 °C). Ce type de centrales est rentable économiquement entre 30 et 100 MW.
- Les centrales à concentrateurs cylindro-paraboliques, concentrant le rayonnement solaire direct sur un tube absorbeur où circule un fluide (caloporteur) résistant à la chaleur (fonctionnement de 250 à 300 °C), qui sert à produire de la vapeur d'eau. Des centrales, qui totalisent une puissance supérieure à 350 MW, ont été construites en Californie jusqu'au début des années 1990.

La construction de nouvelles centrales est tributaire du contexte économique, mode de financements internationaux attractifs, ou de subventions dans le cas d'investissements dans des pays en développement.

3.2. Les panneaux photovoltaïques

Les panneaux solaires photovoltaïques transforment directement l'énergie du rayonnement solaire en une force électromotrice, en utilisant les propriétés électroniques des semi-conducteurs dont principalement le silicium ; ces matériaux lorsqu'ils sont éclairés captent les photons et convertissent leur énergie lumineuse en une énergie électrique.

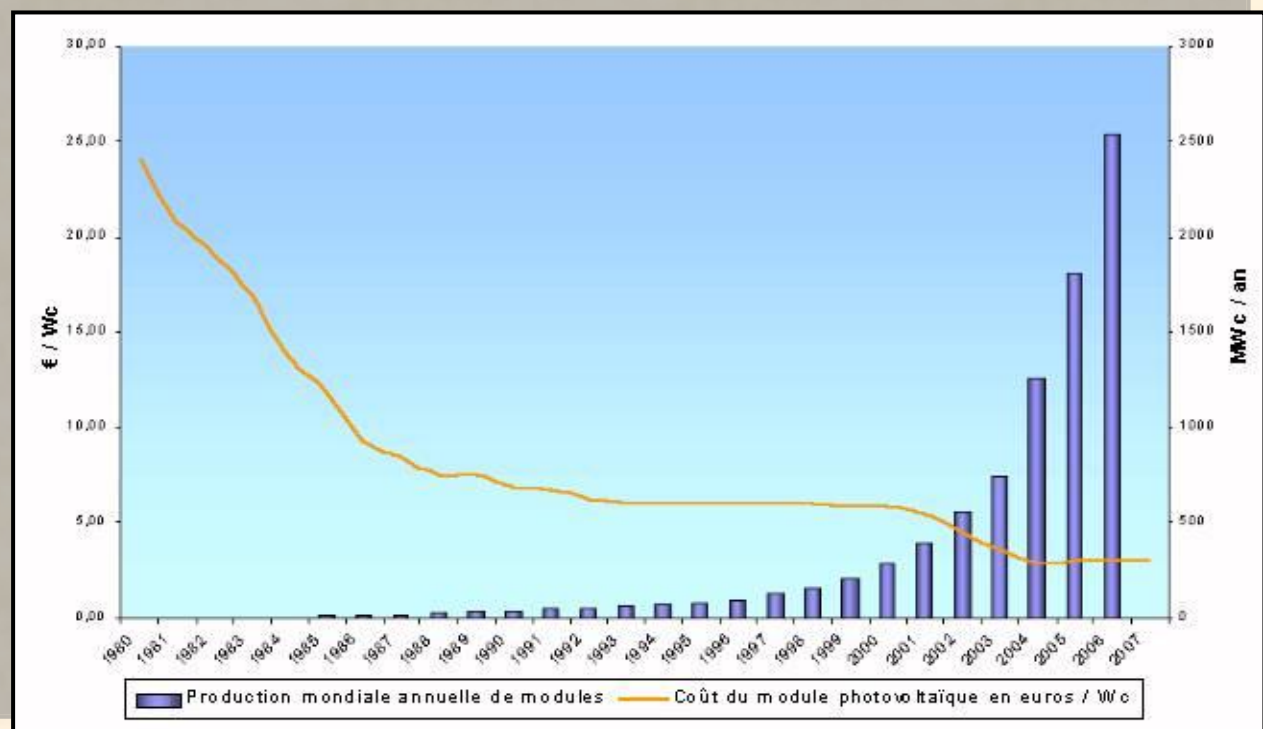
Les semi-conducteurs sont les matériaux de base des capteurs photovoltaïques appelés généralement cellules photovoltaïques ; des panneaux solaires photovoltaïques regroupent des cellules photovoltaïques reliées entre elle en série et en parallèle.

Ces cellules existent sur le marché, sous différentes formes :

- Cellules monocristallines. Il s'agit de monocristaux de silicium découpés en "tranches fines". Chaque tranche constitue une cellule. Les panneaux fabriqués avec ce type de capteurs offrent le meilleur rendement, c'est aussi les plus coûteux!
- Cellules poly cristallines. Elles sont constituées de plusieurs "petits" cristaux bien visibles. Le rendement et le coût sont légèrement inférieurs à ceux des cellules monocristallines.
- Cellules amorphes. Ces cellules ne possèdent pas de structure cristalline, elles existent sous forme de couches minces. Leur coût de fabrication et leur efficacité sont encore inférieurs.

Le marché des panneaux solaires est en pleine expansion depuis plusieurs années, sous l'effet de l'augmentation continue des prix du pétrole et la prise de conscience sur la nécessité de réduire les émissions de dioxyde de carbone (CO₂).

Selon le cabinet d'études iSuppli, les cellules photovoltaïques représentent un marché de 9,6 milliards de dollars en 2007, et l'ordre de 22,1 milliards de dollars en 2012.



Le flux solaire incident en dehors de l'atmosphère est en moyenne de 1 367 W/m². Mais les spécialistes du photovoltaïque utilisent comme unité de référence la puissance crête (maximale) débitée par une photopile à 25 °C sous une puissance lumineuse incidente fixée, pour les tests d'évaluation, à 1 kWc/m² sur terre.

3.2.3.1. Influence de l'ensoleillement

En production d'énergie photovoltaïque on parle du **nombre d'heures d'équivalent plein soleil** ; du fait que la terre tourne en permanence, les rayons du soleil sont rarement perpendiculaires aux panneaux solaires.

La production d'électricité en fin de journée est donc une somme de productions partielles exprimée en kWh ; le total annuel de l'énergie produite correspond donc au nombre d'heures d'équivalent plein soleil qui n'a rien à voir avec le nombre d'heures d'ensoleillement donné par la Météo.

Pour des applications industrielles de l'énergie solaire, le gisement solaire local doit être caractérisé soigneusement puisqu'il présente des variations géographiques et saisonnières importantes. Des campagnes de mesures du gisement solaires sont quelquefois nécessaires en cas de microclimats très accentués.

Le rendement de conversion énergétique (c'est-à-dire le rapport de l'énergie électrique produite sur l'énergie primaire fournie, ici rayonnée par le Soleil) est à plus de 20% en laboratoire et à 15% en production industrielle sans concentration.

Le montage sur deux axes des modules solaires avec un système automatique permettant de suivre le soleil au cours de la journée de la même manière qu'un tournesol, améliore le rendement de 30%.

3.2.3.2. Autres facteurs intervenants dans le rendement

- **Au niveau des cellules photovoltaïques :**
 - la présence de poussières (facteur 0.94),
 - la température des cellules est supérieure à la température de 25°C (facteur 0.8 pour les cellules au silicium cristallin),
- **Au niveau des auxiliaires :**
 - Les batteries ne restituent qu'une partie de l'énergie reçue (facteur 0.8 affectant uniquement la partie de l'énergie stockée) ;
 - Les pertes d'énergies dans les câbles de liaison (facteur 0.99)
 - Les pertes au niveau des convertisseurs électroniques associés aux panneaux ; le rendement moyen de ces convertisseurs. (facteur 0.9 pour un convertisseur DC/AC).
 - Le fonctionnement optimum n'est toujours pas réalisé :
 - facteur **0.8** dans le cas d'un dispositif sans poursuite du point optimum
 - facteur **0.98** dans le cas de poursuite de l'optimum.
 - Pertes dues aux différentes consommations des circuits électroniques qui assurent la surveillance et le contrôle de l'installation.

L'installation, l'exploitation, l'entretien et la maintenance des centrales photovoltaïques sont particulièrement simples, et avec un minimum de formation le personnel chargé de l'installation, de l'entretien et de la maintenance s'approprient facilement la technologie, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement.

3.2.4. les prix

On s'intéresse surtout au prix du kilowattheure, seule unité qui nous permettra de comparer le prix de l'énergie solaire à celui de l'énergie fournie par le réseau ou par d'autres sources.

Le prix de revient du kWh photovoltaïque diminue en moyenne de 5 % par an, dans le monde, depuis plusieurs années grâce aux innovations techniques. Mais en 2006 et 2007 la tendance a été stoppée par une hausse due à la pénurie de silicium.

Les prévisions de prix données par différentes entreprises du secteur sont orientés à la baisse ; par exemple l'Américaine Heliovolt a annoncé depuis 2010 un prix du kWh de 0,15 dollar, donc de 0,11 euros (1,28 DH).

3.2.5. Production industrielle d'électricité photovoltaïque

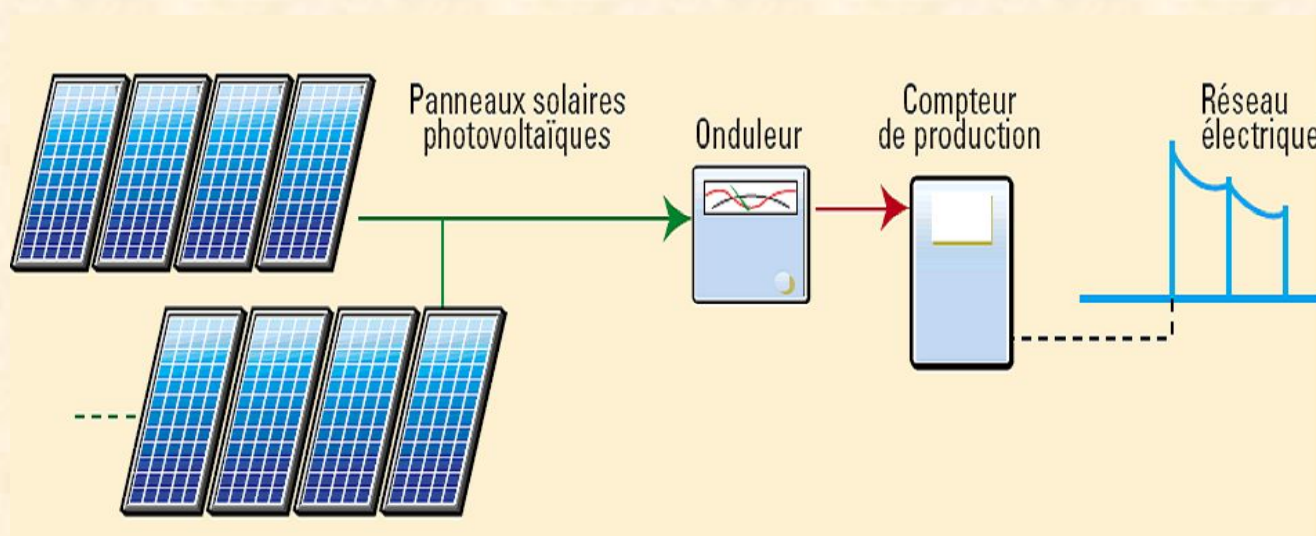
3.2.5.1. Installations autonomes

Lorsque le système de capteurs photovoltaïques est installé dans un endroit isolé, loin du réseau, il fonctionne de manière autonome. Un régulateur électronique contrôle la charge et la décharge des batteries. On dispose ainsi de courant continu produit et stocké localement. On peut également équiper le système d'un onduleur pour alimenter en 230V des appareils standards.

3.2.5.2. Installations raccordées au réseau

L'installation solaire peut être raccordée au réseau électrique public. Un onduleur est nécessaire pour transformer le courant continu des cellules photovoltaïques en courant alternatif conforme au réseau électrique (230V, 50Hz). Cette configuration a plusieurs avantages :

1. Le courant alternatif peut être utilisé avec des appareils standards ;
2. Les batteries de stockage ne sont pas nécessaires ;
3. Le surplus de production est réinjecté et revendu au Distributeur ;
4. En cas de surconsommation l'énergie est disponible sur le réseau.



3.2.6. Exemples de centrales photovoltaïques

Nous donnons ci-après des types de centrales avec leurs caractéristiques :

Commune	M.E.S	MW	GWh/an	MEuro	ha	Modules	Euro/kW	H/an	ha/MW
Noto (Sicile)	2 009	40		200,0	80		5 000		2,00
Serpa (Portugal)	2 007	11				52 000	-		-
Moura (Portugal)	en cours	62	91,0		114	350 000		1 468	1,84
Saxe (Allemagne)	2 009	40		130,0			3 250		
Hemau Allemagne)	2 003	4	3,9	18,4	4	35 000	4 600	975	0,88
Laudun (France)	2 008	1	1,7		5			1 179	3,86
Narbonne (France)	2 009	10			8				0,80

Il ressort de ces exemples que le prix du kW varie entre 3250 à 5000 Euros tout compris ; le MW installé nécessite un espace de 1 à 2 hectares pour des puissances de plus 10 MW.

4. CONCLUSION

Pour faire face à la conjoncture économique internationale, caractérisée par une hausse continue et sans précédent des énergies fossiles, le Maroc a choisi de diversifier ses ressources énergétiques par le lancement de programmes ambitieux de développement des énergies renouvelables.

Mais pour y arriver, et dans la situation actuelle de l'énergie, un effort serait nécessaire pour trouver **un montage financier adéquat** avec des **subventions intéressantes et un tarif d'achat par ONEE raisonnable** et encourageant.

En effet, acheter de l'énergie électrique toute prête à un producteur autonome permet à l'ONEE d'économiser des dépenses qu'il aurait été amené à engager en l'absence de cette fourniture.

Par conséquent, le tarif d'achat doit refléter l'économie réalisée par la collectivité, qui correspond aux coûts marginaux évités de combustible, d'investissements en moyenne de production et de transport.

Le tarif aurait la configuration suivante :

- Une prime fixe en DH / kW pour une puissance garantie toute l'année ;
- Une redevance par kWh appliquée à l'énergie livrée au réseau par poste horo-saisonnier.

Cette tarification valorisera la production d'énergie solaire et permettra, par conséquent d'économiser des investissements lourds à ONEE.

18/4/2016

- **Source** : *Extrait d'une étude de centrale solaire photovoltaïque au sud du Maroc - février 2009.*
- **Auteurs** : *Mohamed Chenguir & Thami Belemkaddem (Energies)*