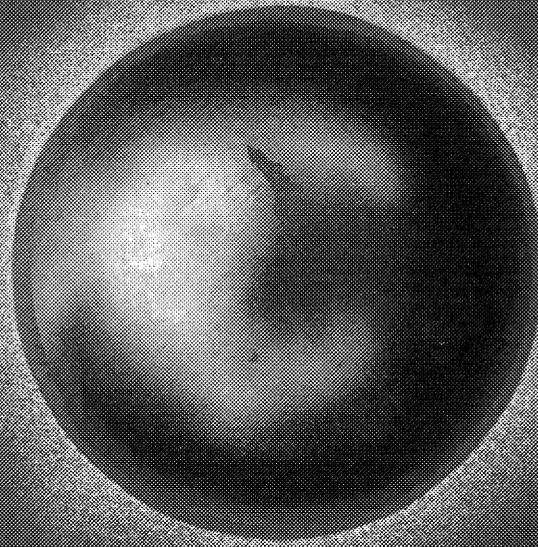


ROYAUME DU MAROC

MINISTRE DE L'ENERGIE ET DES MINES



XXV 25 10



**ENERGIE
SOLAIRE**

**CENTRE DE DEVELOPPEMENT
DES ENERGIES RENOUVELABLES**

MARRAKECH

SOMMAIRE

Introduction	1
Le Gisement Solaire	3
Conversion Thermique	4
Applications	5
Conversion Photovoltaïque	6
Applications	8
Mission et activités du C.D.E.R.	10
Incitations à l'utilisation des énergies renouvelables	11
Répertoire des sociétés dans le domaine de l'énergie solaire	12

ENERGIES RENOUVELABLES : LA FILIERE SOLAIRE

Aujourd'hui les énergies renouvelables sont largement utilisées de par le monde.

En effet, les énergies renouvelables contribuent à la diversification énergétique et sont tout à fait indiquées dans des endroits difficilement accessibles et isolés. Elles peuvent constituer une nouvelle filière de production et d'utilisation d'énergie et jouer un rôle dans le développement économique et social, notamment en milieu rural.

La "filière solaire" utilise le rayonnement électromagnétique émis par le soleil. L'énergie alors disponible peut être employée sous forme thermique ou sous forme électrique. La conversion thermique se fait au moyen de capteurs de différentes conceptions, la conversion électrique au moyen de cellules photovoltaïques.

Dans ce domaine, de nombreux projets sont déjà opérationnels au Maroc. Cette brochure a pour vocation une information générale sur ce qu'on appelle "l'énergie solaire", qu'elle soit thermique ou photovoltaïque.

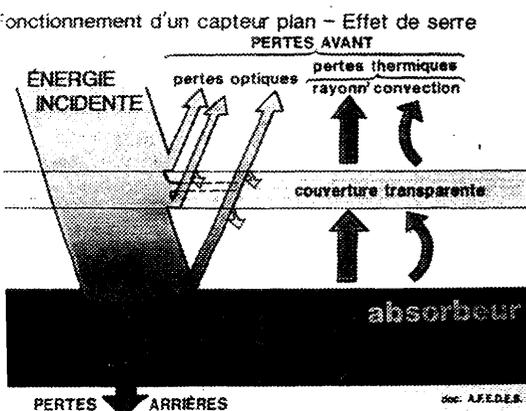
Pour des renseignements d'ordre plus technique, le Centre de Développement des Energies Renouvelables se tient à votre disposition.

CONVERSION THERMIQUE

L'énergie du rayonnement solaire est captée, puis convertie en chaleur. Pour obtenir des basses et moyennes températures on se sert de l'effet de serre. Pour des températures plus élevées on utilise la concentration. La chaleur obtenue est soit employée directement (chauffage, séchage), soit elle-même transformée en énergie mécanique ou électrique.

L'effet de serre

La fraction de rayonnement reçu transmise par la paroi transparente est piégée à l'intérieur du capteur. Les isolations arrière, latérale et avant réduisent les pertes d'énergie par convection et conduction. Le rayonnement solaire est transformé en chaleur au niveau de l'absorbeur.

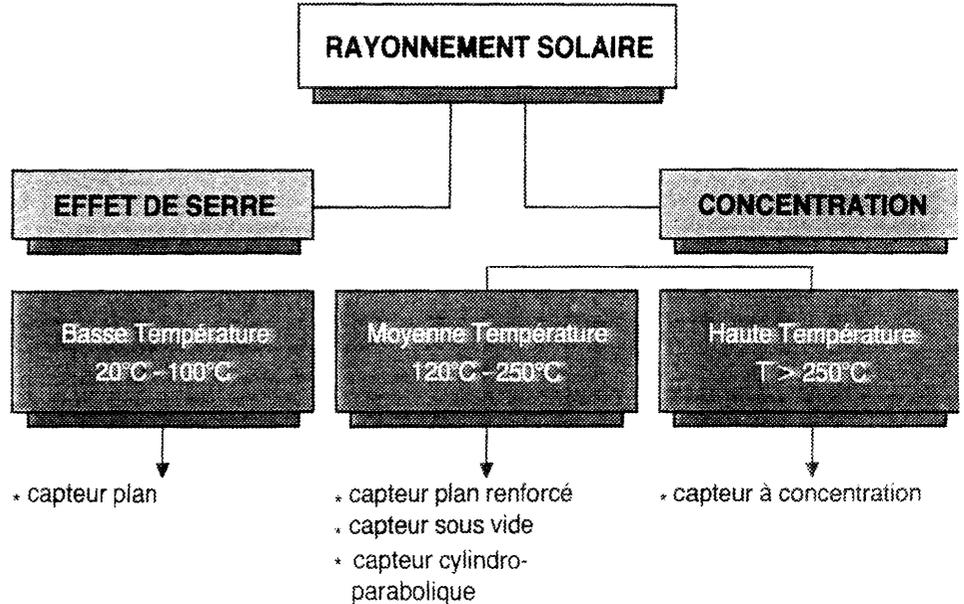


Bilan thermique d'un capteur plan

La concentration

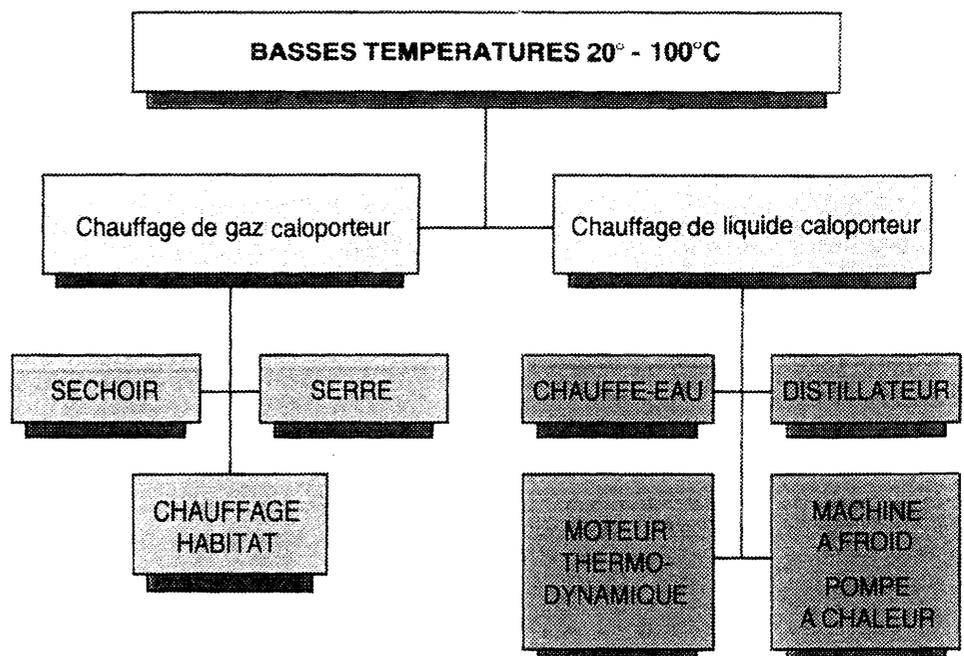
La concentration consiste à focaliser le rayonnement solaire direct atteignant une grande surface en un point.

Le résumé graphique suivant indique les voies de conversion thermique, les températures obtenues et les types de capteurs utilisés.



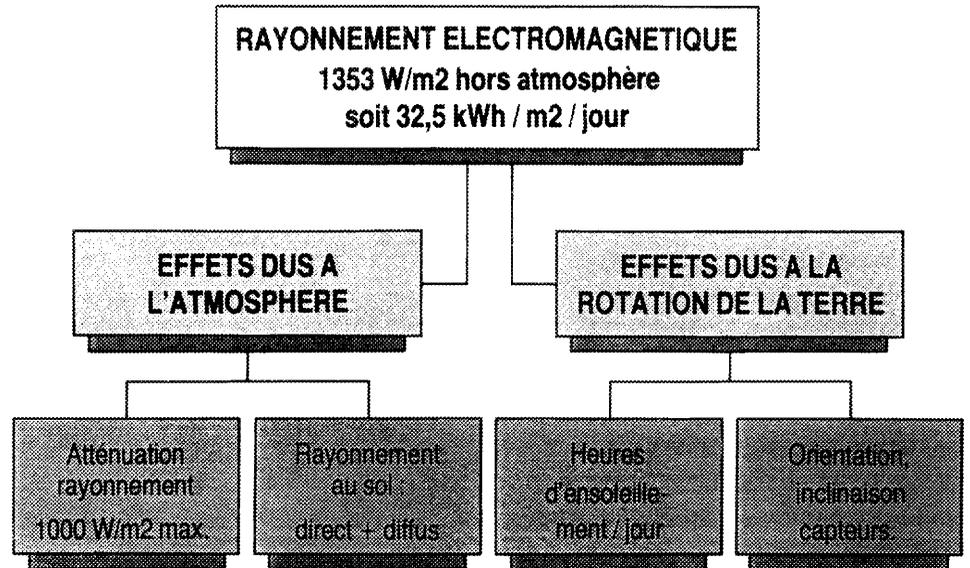
APPLICATIONS

Pour les basses et moyennes températures les capteurs peuvent s'appliquer aux utilisations suivantes :

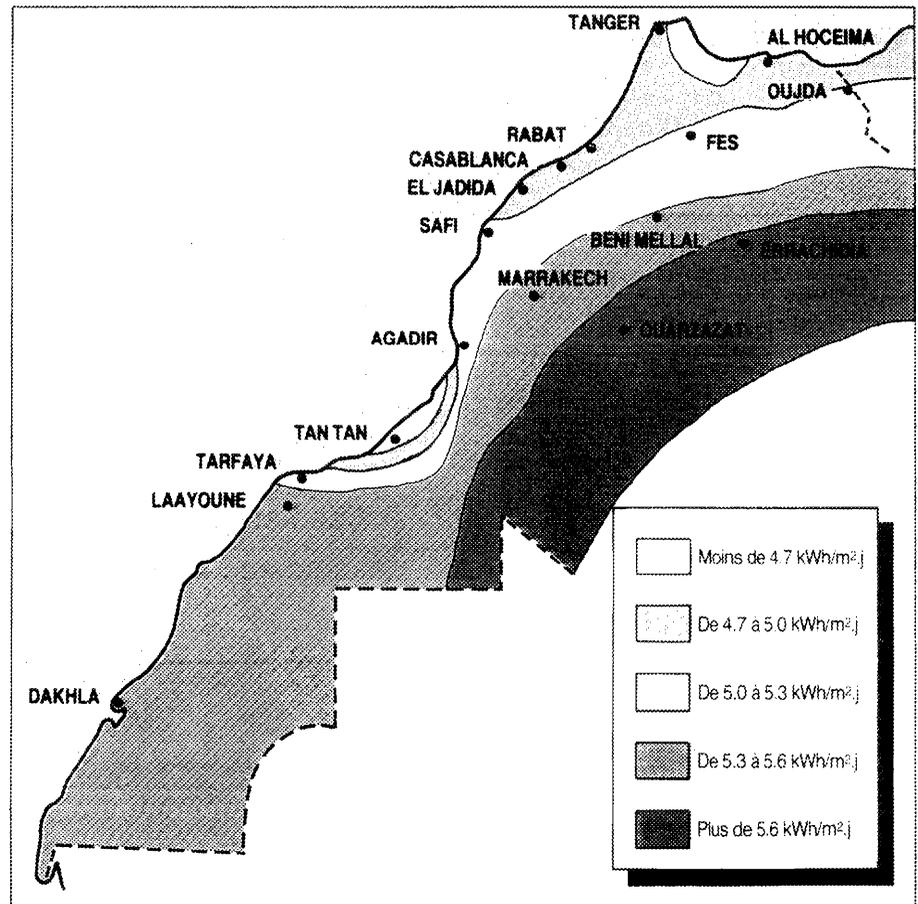


LE GISEMENT SOLAIRE

A son origine, le rayonnement émis par le soleil atteint des valeurs considérables. Sur le chemin vers la terre, celles-ci sont fortement affectées par l'atmosphère et par la rotation de la terre autour d'elle-même et autour du soleil. Au niveau du sol ceci se traduit par une atténuation de la puissance captée. Le rayonnement arrive sur la surface terrestre sous forme directe et diffuse. La durée d'insolation est dans le meilleur des cas au Maroc de 12 heures par jour, ainsi des précautions doivent être prises au niveau de l'orientation et de l'inclinaison des capteurs afin d'optimiser le rendement des systèmes solaires.



Au Maroc, un mètre carré au sol reçoit en moyenne entre 4,7 à 5,6 kWh/jour. La durée moyenne d'ensoleillement varie de 2 800 heures par an pour les régions les moins favorisées à plus de 3 400 heures par an pour les régions les mieux exposées.

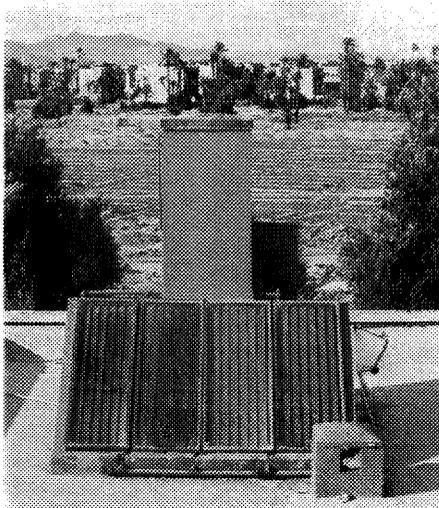


GISEMENT SOLAIRE DU MAROC

Carte établie par la Faculté de Sciences de Rabat

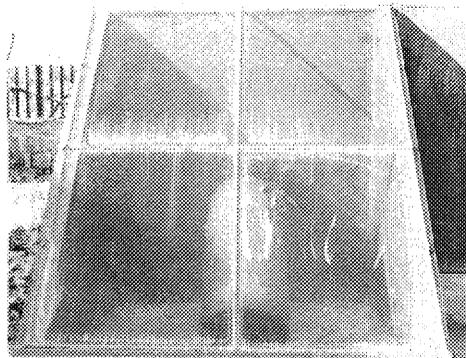
Le chauffe-eau solaire

La chaleur accumulée par l'absorbeur dans le capteur est extraite de celui-ci par le fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Le fluide caloporteur transfère sa chaleur à l'eau dans le ballon de stockage par l'intermédiaire d'un échangeur. Un capteur plan d'une superficie de 2m^2 peut fournir jusqu'à 150 litres d'eau chaude (50°C) par jour.



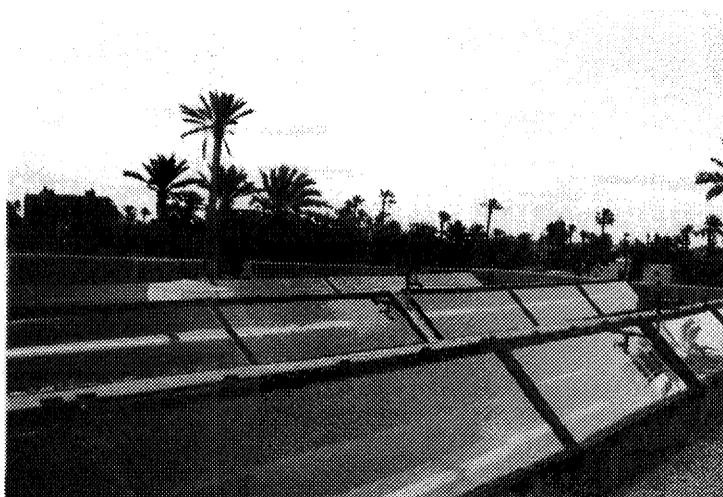
Un champ de capteurs cylindro-paraboliques d'une surface de $2,6\text{m}^2$ peut fournir jusqu'à 250 litres d'eau chaude par jour.

Un système simple, le ballon stockeur, peut fournir environ 200 litres d'eau chaude pour une surface vitrée de 4m^2 .



Ballon stockeur
Institut Abbou Abbès Essebt
Province de Marrakech. 1984

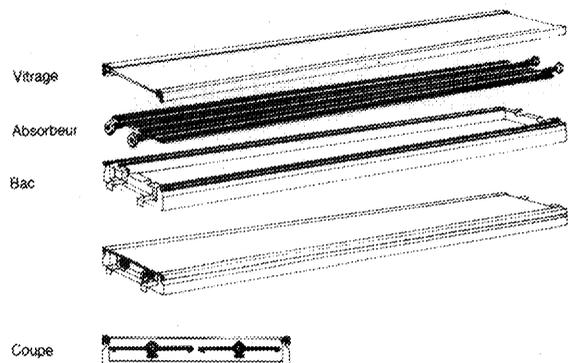
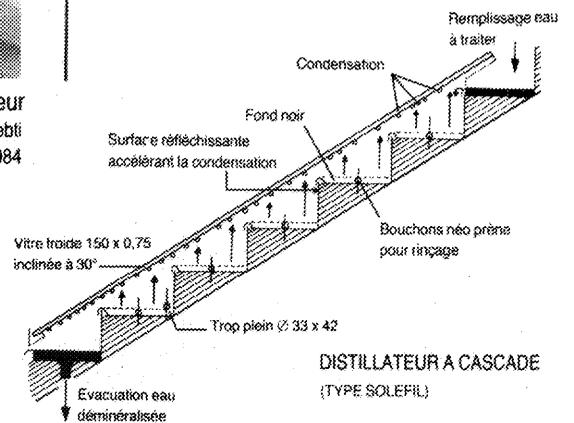
Capteurs plans
Institut Abbou Abbès Essebt.
Province de Marrakech



Capteurs cylindro-parabolique
Institut Abbou Abbès Essebt
Province de Marrakech. 1984

Le distillateur solaire

Le traitement des eaux saumâtres par distillation solaire procure de l'eau potable et de l'eau distillée pour usage dans les dispensaires, par exemple, dans les zones arides ou des zones où la nappe phréatique est salée. L'insolation du système élève la température de l'air à l'intérieur qui se charge alors de vapeur. La condensation s'effectue sur la paroi intérieure du vitrage. Les gouttes d'eau distillée ruissellent le long de la paroi et sont recueillies au point le plus bas par la gouttière qui les sépare de la saumure.



CAPTEUR SOLAIRE
(D'APRES VENTELIMAT)

CONVERSION THERMIQUE

Le séchoir solaire

Le séchage des denrées alimentaires (graines, fruits, légumes, poisson) permet une conservation plus longue, des facilités de transport (poids moindre) et une consommation différée.

La chaleur produite par un ou plusieurs capteurs à air évapore l'eau contenue dans les produits à sécher. La circulation de l'air se fait par convection naturelle, ou bien elle est forcée à l'aide d'un ventilateur. Les denrées à sécher sont disposées sur des claies à l'intérieur de l'enceinte de séchage. Ce procédé permet de traiter une grande quantité d'aliments dans un laps de temps réduit.

Les capteurs à concentration

Les capteurs à concentration ne peuvent fonctionner qu'avec un rayonnement direct, ce qui suppose un temps clair.

Ils sont conçus pour des températures moyennes ou élevées :

- type cylindro-parabolique de 100 à 450°C
- type paraboloïde de 250 à 3 500°C.

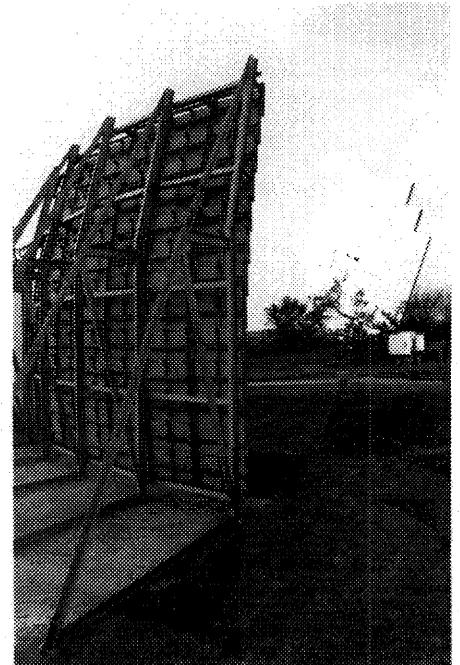
Leur rendement énergétique est bon à toute température. Les applications de ce genre de matériel sont surtout à vocation industrielle, notamment pour la production d'énergie mécanique.

Un four solaire est installé à Témara. Sa chaleur concentrée (de 250

à 1 100° C) a servi à diverses expérimentations dont la cuisson de céramiques, l'émaillage de poteries et la cuisson de poudre de gypse pour sa transformation en plâtre. Sa puissance moyenne est de 11 kW thermiques. Il comporte un héliostat de 30 m² et un concentrateur de 20 m².



Séchoir solaire à convection naturelle
INAV - Saâda, province de Marrakech 1984



Four solaire
Province de Skhirat - Témara

CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

Les systèmes photovoltaïques

Les systèmes solaires photovoltaïques forment un tout : le générateur solaire n'est qu'un maillon dans la chaîne.

Dans ce domaine, il n'existe pas de kits standards. Chaque installation doit correspondre à des besoins précis dans un site donné. Pour un fonctionnement optimal le dimensionnement, la conception et l'assemblage des différents éléments doivent être faits par des professionnels.

Le générateur solaire

L'effet photovoltaïque transforme directement le rayonnement électromagnétique en énergie électrique. La lumière est composée de particules corpusculaires (photons) qui véhiculent l'énergie. Le courant électrique est créé par des déplacements d'électrons sous l'effet d'un champ électrique. L'effet photovoltaïque résulte du bombardement par photons d'un matériau où règne un champ électrique. Les matériaux qui permettent cet effet sont appelés semi-conducteurs.

La photopile (ou cellule photovoltaïque) est la partie élémentaire d'un générateur photovoltaïque. Les matériaux couramment utilisés sont le silicium monocristallin et le silicium polycristallin. Un nouveau matériau, le silicium amorphe semble, en raison de son coût de fabrication, très prometteur pour l'avenir. A titre d'exemple, le silicium monocristallin produit une tension de 0,45 volt.

Les caractéristiques d'une photopile sont les suivantes :

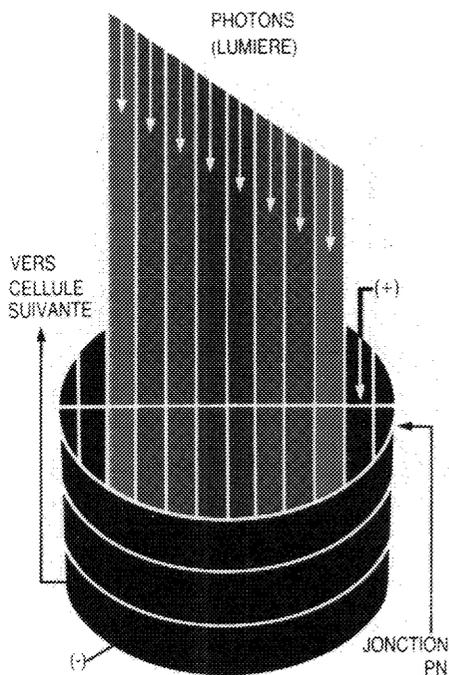
- le courant induit est proportionnel au rayonnement incident.

Rendement

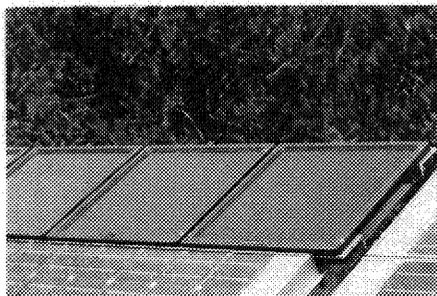
silicium monocristallin	10 à 14 %
silicium polycristallin	9 à 11 %
silicium amorphe	5 %

La puissance crête est une valeur maximale dont on se sert pour le dimensionnement d'une installation. Elle se définit ainsi : puissance maximale générée par la cellule à une température de 25°C pour un rayonnement de 1000 W/m².

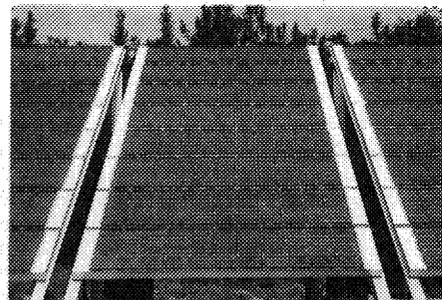
Afin de parvenir à des tensions et à des puissances exploitables, les cellules sont reliées entre elles en série (guirlandes) et les guirlandes entre elles en parallèle. On obtient alors un **module photovoltaïque**.



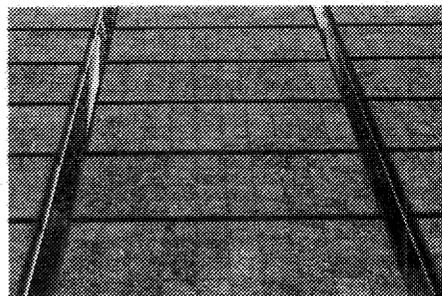
SCHEMA PHOTOPILE



Photopiles silicium amorphe



Module photovoltaïque silicium monocristallin



Module photovoltaïque silicium polycristallin

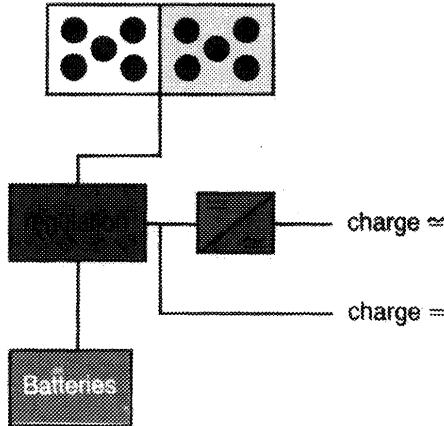
CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

L'association en série-parallèle des modules, jusqu'à obtention des tensions et puissances désirées, forme un **générateur photovoltaïque**. Son support est généralement en aluminium.

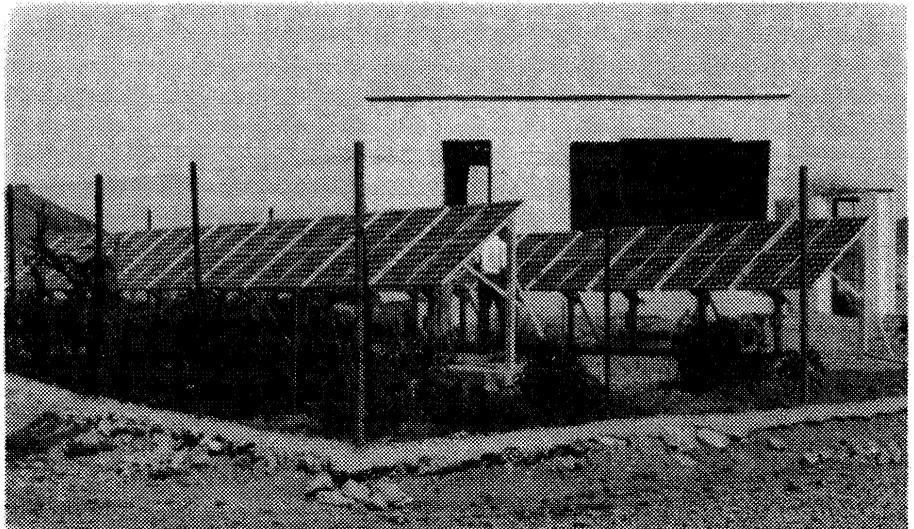
L'implantation de l'ensemble doit être soignée, notamment dans les régions fortement ventées.

Les générateurs photovoltaïques peuvent être utilisés "au fil du soleil" ou avec un stockage par batteries. Dans un générateur sans stockage, l'utilisation de l'électricité est possible uniquement pendant les journées ensoleillées. Ce système s'applique notamment au pompage d'eau. Dans un système avec stockage, les batteries emmagasinent l'énergie produite et permettent une utilisation différée (éclairage, réfrigération).

AVEC STOCKAGE

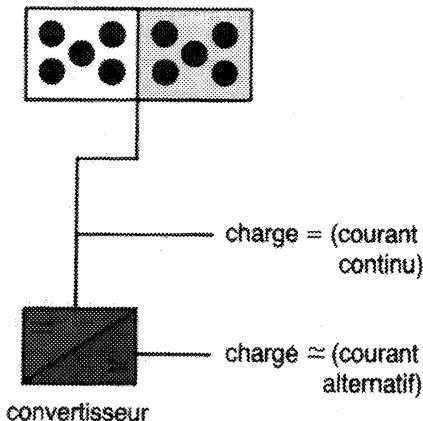


Parmi les avantages des générateurs photovoltaïques, on compte une durée de vie élevée, et une maintenance réduite. Bien que les coûts de la technologie actuelle des systèmes soient assez élevés, plusieurs projections dans l'avenir laissent espérer un abaissement, notamment par le biais du silicium amorphe.



Pompe solaire de Béni Oukil
Générateur photovoltaïque de 2600 w
Province d'Oujda

SANS STOCKAGE



APPLICATIONS

Pompage.

Cette application est intéressante pour la production d'eau potable pour les collectivités en milieu rural. Pour 15 ans d'exploitation le coût du mètre cube d'eau pompée varie entre 1 et 3 dirhams (hauteurs manométriques totales entre 15 et 50 mètres). La production d'eau est de 20 à 60 m³ par jour.

Eclairage

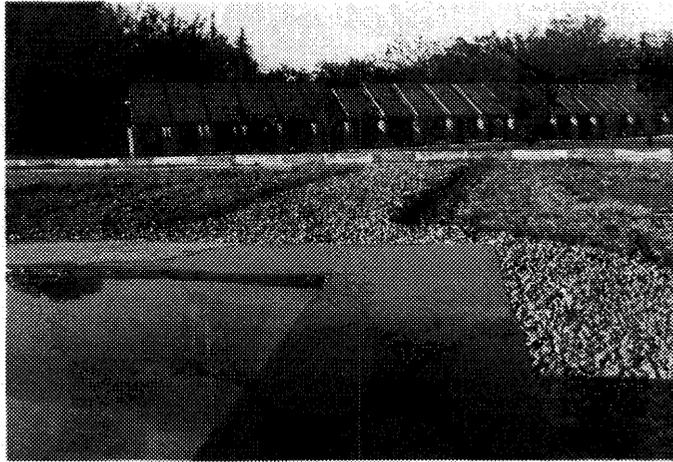
Pour l'éclairage, on se sert de tubes à néon de 8 à 40 W, car ils ont un meilleur rendement que les lampes à incandescence. Un kit de 40 watt-crête permet l'utilisation de deux tubes fluorescents de 20 W à raison de trois heures par jour.

Réfrigération

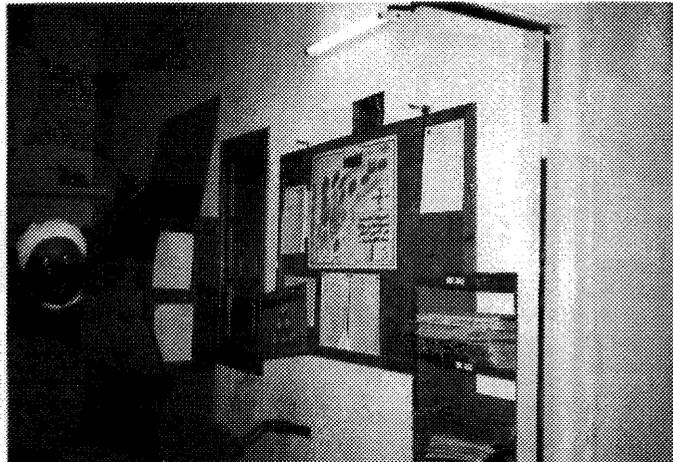
Cette application vise particulièrement les dispensaires en milieu rural. Un réfrigérateur permet de stocker et conserver médicaments et vaccins à des basses températures.

Alimentation de relais de télécommunication

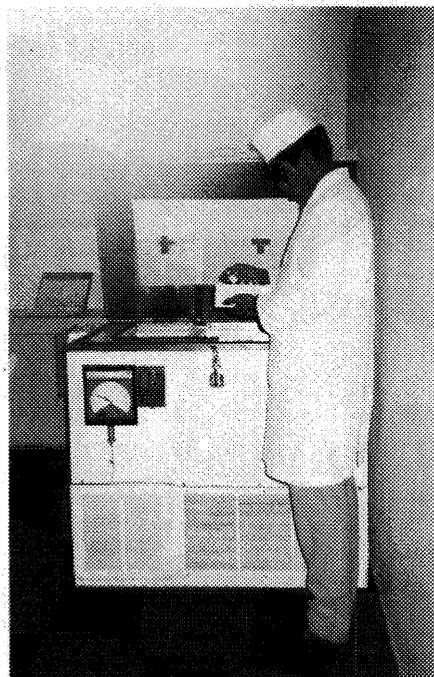
La Radio Télévision Marocaine et l'Office National des Télécommunications s'orientent de plus en plus vers l'emploi de systèmes photovoltaïques. Leur fiabilité dans des conditions climatiques et géographiques difficiles n'est plus à prouver, et à ceci s'ajoute une maintenance réduite.



Station d'expérimentations photovoltaïques du CDER à l'Ecole des Mines Marrakech 1986



Eclairage par générateur photovoltaïque
Ecole de souk Larbaâ du Sahel
Province de Tiznit, 1985



Réfrigérateur
Dispensaire de Bouabout
Province de Marrakech 1984

MISSION ET ACTIVITES DU C.D.E.R.

Créé en 1982 et placé sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines, le C.D.E.R. est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie administrative et financière.

Les attributions du CDER peuvent se résumer ainsi :

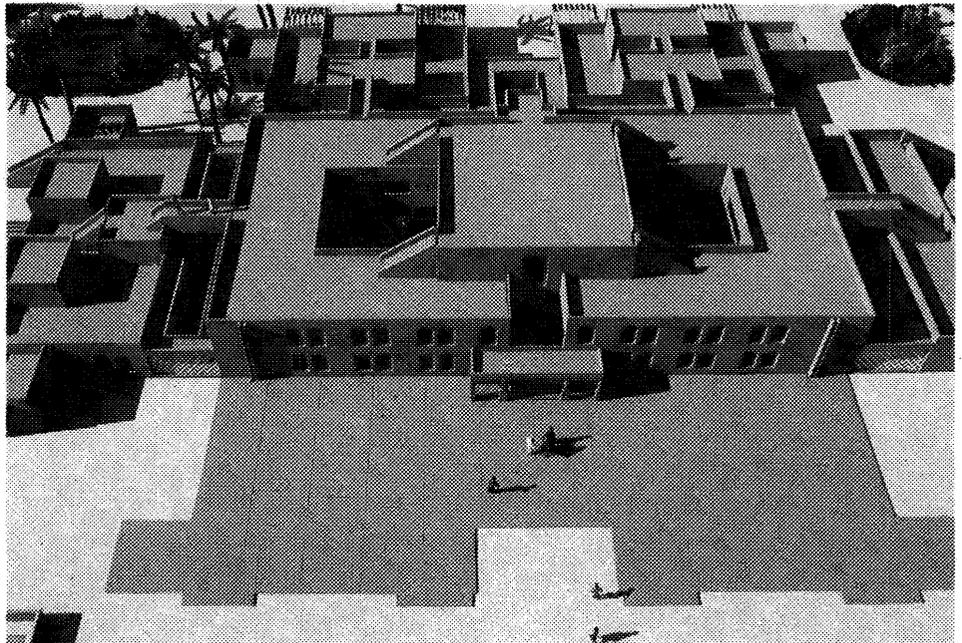
- mise au point de procédés et d'équipements utilisant les énergies renouvelables.
- établissement et exécution de programmes d'études et de recherches scientifiques et techniques dans le domaine des énergies renouvelables.
- démonstration de l'intérêt technique, économique et social de l'utilisation des énergies renouvelables.
- formation technique du personnel spécialisé dans la recherche et l'utilisation des énergies renouvelables.

• réalisation, pour le compte de tiers, d'études, de recherches et de travaux relevant de ses compétences.

Dans le cadre de ses missions, le CDER a depuis sa création réalisé de nombreux projets pilotes de démonstration.

Dans le domaine solaire, comme dans ses autres secteurs d'activité, le rôle du CDER en tant que bureau d'étude et en tant que conseiller est à souligner. Cette assistance peut s'effectuer aussi bien auprès du secteur public qu'auprès du secteur privé.

La section solaire du C D E R reste à votre disposition pour tout renseignement concernant une valorisation thermique ou photovoltaïque de l'énergie solaire.



Vue partielle de la maquette du futur siège du C.D.E.R.

INCITATIONS A L'UTILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES

Un certain nombre de dispositions législatives ont été prises en vue d'encourager l'utilisation des énergies renouvelables. Ces textes de loi concernent :

- Le Code d'Investissement Industriel. Deux chapitres de cette loi, promulguée le 17 janvier 1983, encouragent l'utilisation des énergies renouvelables. Le chapitre II exonère des droits de douane et de la taxe sur les produits les entreprises qui achètent du matériel, de l'outillage et des biens d'équipement appartenant aux deux catégories suivantes :

- appareils qui permettent de réaliser des économies d'énergie.

- appareils qui utilisent les ressources énergétiques nationales plutôt que celles à base d'hydrocarbures. Cette loi spécifie également qu'une prime d'équipement sera versée aux entreprises dont les achats satisfont à l'un ou les deux critères suscités.

- Chauffage des bâtiments. Pour réduire la dépendance énergétique, la loi exige des institutions marocaines qu'elles brûlent le charbon local pour le chauffage des locaux. Une dérogation peut toutefois être accordée par le Ministère de l'Energie et des Mines si le demandeur envisage d'utiliser d'autres ressources énergétiques locales, y compris les énergies renouvelables.

ORGANISMES ET SOCIETES DANS LE DOMAINE SOLAIRE *

Ets H. DOLBEAU & FILS	81, rue Karatchi Casablanca tél. : 30.41.82 / 30.68.38	Thermique Photovoltaïque
PROTEC	625, Bd Mohammed V Casablanca tél. : 24.84.41	Thermique
SOCOCHARBO	Rue l'Ecrivain Casablanca tél. : 24.97.20 / 24.34.70	Thermique
COMPAGNIE MAROCAINE CHAFFOTEAUX ET MAURY	Cité Mabrouka lot n°4, Route de Rabat, Aïn Sebâa - Casablanca tél. : 35.22.83 / 35.25.28	Thermique
COGEDIR	51, rue Omar Slaoui Casablanca tél. : 22.41.04	Photovoltaïque
AASTRE	625, Bd Mohammed V Casablanca tél. : 24.07.67	Thermique Photovoltaïque
Entreprise Commerciale BAHJA	Rue Tarik Ben Ziad Marrakech tél. : (04) 318.42 / 348.46	Thermique Photovoltaïque
SERIT	42, Bd Emile Zola Casablanca tél. : 30.64.75	Thermique
SODEPAR	279, Av. Mohammed V Rabat tél. : 786.38	Thermique Photovoltaïque
SICOTEL	Complexe Commercial des Habous, Av. des FAR 3e étage - Casablanca tél. : 31.22.93	Photovoltaïque
SUNLIGHT MAROC	433, Bd Mohammed V Casablanca tél. : 24.84.02	Thermique Photovoltaïque
SOMACIEL	304, Bd Mohammed V Casablanca tél. : 30.29.92 / 30.80.51	Photovoltaïque
EQUIPEMENTS INDUSTRIELS	256, Bd Dahmad Casablanca tél. : 24.54.03 / 24.11.51	Photovoltaïque

* Concerne les sociétés ayant répondu au questionnaire du CDER