

**Roger Cadiergues**

**MémoCad nW02.a**

# **L'UTILISATION DU SOLAIRE**

## **SOMMAIRE**

- nW02.1.** Le solaire : survol
- nW02.2.** Le solaire passif
- nW02.3.** Le solaire thermique
- nW02.4.** La performance des capteurs solaires
- nW02.5.** Le solaire photovoltaïque
- nW02.6.** Compléments sur le photovoltaïque



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

## nW02.1. LE SOLAIRE : SURVOL

**Le solaire, comme la biomasse, sont les énergies renouvelables essentielles dans nos applications : le livret qui suit concerne uniquement le solaire.**

**Attention : il ne s'agit que d'une présentation générale, regroupant les données communes que l'on retrouvera dans plusieurs applications (avec leurs livrets).**

### L'UTILISATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE : UNE AMBITION DÉJÀ ANCIENNE

En bâtiment la prise en compte du rayonnement solaire est une exigence assez fondamentale, qui peut se traduire par trois catégories de dispositions.

1. Le solaire joue, normalement, un rôle fondamental dans la conception même des bâtiments, les choix architecturaux classiques le prenant en compte au plan de l'orientation des bâtiments et des vitrages.
2. Cette prise en compte peut également donner lieu à des dispositions archi-tecturales particulières, ce qu'il est convenu d'appeler le **solaire passif**, le «mur Trombe» en étant l'illustration principale.
3. Il est également possible de faire appel à des systèmes spécifiquement conçus pour utiliser l'énergie solaire, basés sur l'emploi de dispositifs captant directement le rayonnement : les *capteurs*. Dans ce cas, où l'on fait appel à des dispositifs très spécifiques, nous disons qu'il s'agit de **solaire actif**.

### LE SOLAIRE PASSIF ET LA CONCEPTION DES BÂTIMENTS

Les points essentiels de la conception «solaire» des bâtiments, y compris les dispositifs spécifiques de solaire passif, sont traités plus loin, dans les fiches auxquelles il vous faudra vous reporter, qui renvoient elles-mêmes à d'autres livrets.

### LE SOLAIRE ACTIF

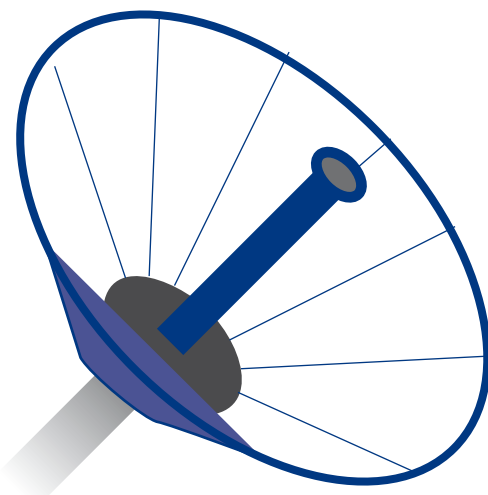
Les systèmes actifs utilisent des capteurs chargés de recueillir le rayonnement solaire direct et diffus. Les différents systèmes que nous retenons sont les suivants :

- . ceux qui utilisent des **capteurs thermiques**, utilisés pour le chauffage des piscines, la production d'eau chaude, le chauffage d'ambiance (voir plus loin dans ce livret) ;
- . les **fours solaires**, destinés à des usages «haute température» (voir ci-dessous) ;
- . les capteurs destinés à la production directe d'électricité (les **panneaux photovoltaïques**).

Les systèmes solaires **actifs** à base de capteurs thermiques peuvent être utilisés : soit pour produire de l'**eau chaude** dans les services classiques d'eau chaude, soit pour réchauffer l'eau des **piscines**, . soit pour **chauffer** des locaux, soit pour produire de la **chaleur à usage professionnel**, soit pour produire (indirectement) du **froid** - pour la climatisation en particulier.

### LE SOLAIRE ACTIF HAUTE TEMPÉRATURE

On a, depuis longtemps, cherché à utiliser l'énergie solaire pour des températures voisines de 100 °C ou plus. Dans ces systèmes (les «fours solaires») on concentre optiquement le rayonnement, la figure ci-dessous illustrant l'une des tentatives d'A. Mouchot à l'Exposition Universelle de 1878. Entre 1864 et 1878 diverses installations solaires réalisées par A. Mouchot ont permis de fournir de la vapeur basse pression pour la production d'électricité. Les résultats obtenus sur une installation réelle ont été malheureusement de rentabilité insuffisante. Depuis lors d'autres tentatives ont eu lieu, en particulier en France (Odeiho), mais sans succès significatif. Il est, néanmoins, régulièrement question de reprendre le sujet.



## nW02.2. LE SOLAIRE PASSIF

### LE CLASSEMENT DES SYSTÈMES SOLAIRES DANS MÉMOCAD

En laissant de côté les fours solaires, nous retenons trois catégories de systèmes :

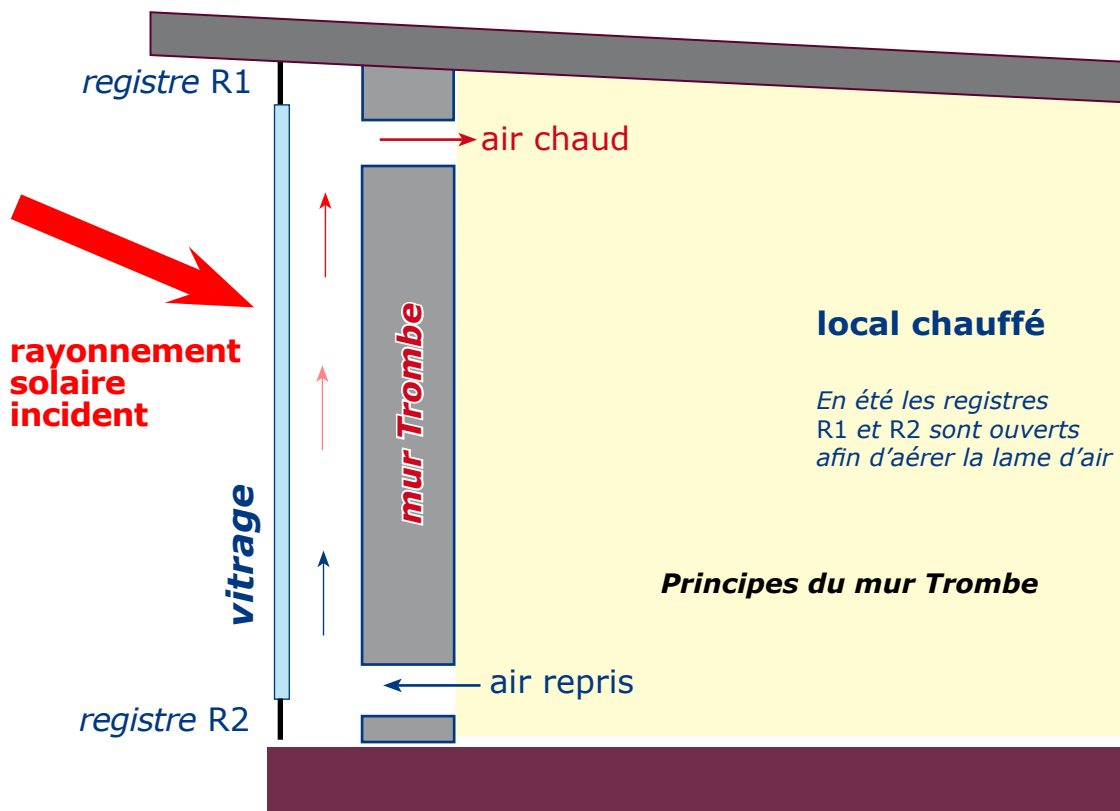
- . le **solaire thermique passif**, examiné plus en détail à la suite,
- . le **solaire actif thermique**, présenté à la fiche **nW02.3**,
- . et le **solaire actif photovoltaïque**, présenté à la fiche **nW02.4**.

### LE SOLAIRE PASSIF

Nous appelons «**solaire passif**» toute technique qui permet de réduire les besoins de chauffage grâce à une conception adéquate du bâti, *sans recourir - sauf pour l'appoint - à des installations spécifiques* telles que celles que nous examinerons dans le cadre du solaire actif.

Nous retenons ici deux procédés passifs :

- . la récupération **par les vitrages**, utilisant une intégration naturelle et forte au bâti, présentée plus en détail au livret ME20. Les vitrages ;
- . l'utilisation de murs extérieurs sous la forme que nous appelons **héliodynamique**, dits souvent «**murs Trombe**» (du nom de leur «inventeur» français), système dont les principes sont illustrés au schéma ci-dessous;



En dehors de la solution qui consiste à utiliser - pour le chauffage d'ambiance - les apports gratuits à travers les vitrages normaux, le solaire thermique passif est essentiellement représenté par le «**mur Trombe**» (du nom de son auteur), illustré ci-dessus. L'air ascendant, contenu dans la lame d'air derrière le vitrage, s'échauffe sous l'action du soleil, et se répartit alors dans le local arrière (dit «local chauffé» dans le schéma).

Ce système n'a connu que très peu d'applications. De plus son efficacité est, malheureusement, insuffisante dans le cadre des développements actuels.

## nW02.3. LE SOLAIRE THERMIQUE

### LES CAPTEURS DE BASE

Le solaire thermique utilise des capteurs chargés de recueillir, localement, le rayonnement solaire. Ces capteurs (thermiques) appartiennent à l'une des quatre catégories suivantes :

- . ou bien il s'agit d'**absorbeurs**, de simples tubes méplats en général, permettant de réchauffer l'**eau des piscines** intérieures ou extérieures de quelques degrés (3 à 4 K en général),
- . ou bien il s'agit de **capteurs plans à eau** les plus courants en France, utilisés surtout dans les **services d'eau chaude**, plus rarement en **chauffage à eau chaude** ;
- . ou bien il s'agit de **capteurs plans à air**, rares en France, servant à réchauffer l'air dans les systèmes de **chauffage à air chaud** ;
- . ou bien il s'agit de **capteurs à tubes sous vide**, fournissant un fluide (frigorigène en général) à d'assez hautes températures, capteurs surtout destinés à des installations spécifiques, assez rares en France.

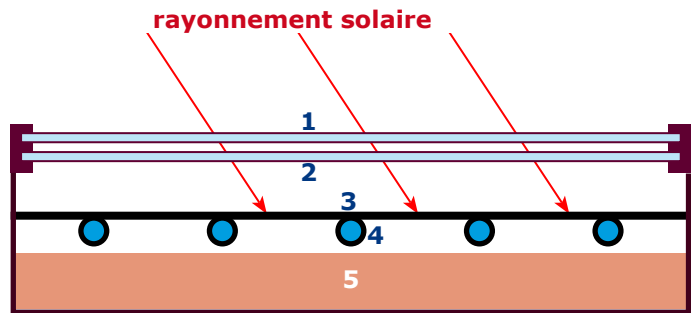
### LES ABSORBEURS

Les absorbeurs sont les capteurs **les plus simples, ne comportent pas de vitrage**. Ils sont utilisés pour le réchauffage d'eau de piscine. Ce sont, aujourd'hui, des nattes ou des ensemble de tubes en matériaux de synthèse, peu coûteux. Nous les signalons ici pour mémoire car il s'agit d'équipements de commodité sans calcul précis. Leur emploi plus systématique fait actuellement l'objet d'études.

### LE PRINCIPE DES CAPTEURS À EAU

Les capteurs les plus courants sont conçus comme indiqué ci-contre. Ils utilisent l'eau (chauffée par le soleil) comme fluide caloporteur.

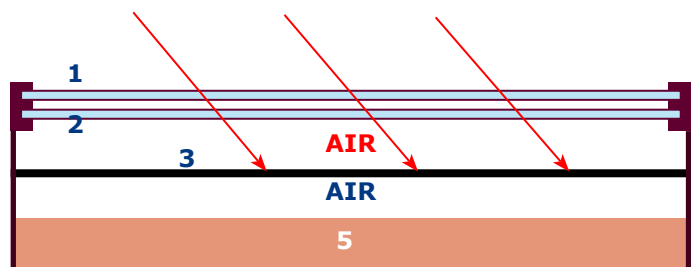
- 1 et 2** : vitrages
- 3** : plaque absorbante (métallique noire)
- 4** : tube (eau) évacuant la chaleur reçue par la plaque
- 5** : isolant.



### LE PRINCIPE DES CAPTEURS À AIR

Peu utilisés actuellement les **capteurs à air** fonctionnent schématiquement comme indiqué ci-contre.

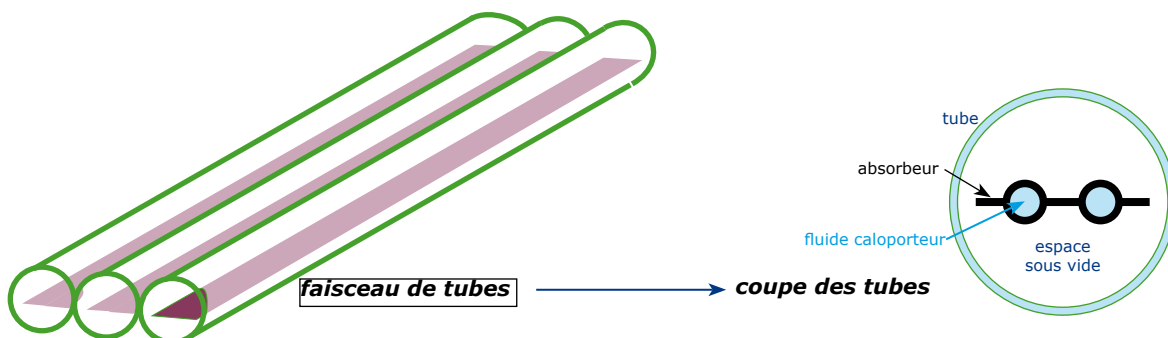
- 1 et 2** : vitrages
- 3** : plaque absorbante (métallique noire)
- 5** : isolant.



### LE PRINCIPE DES CAPTEURS SOUS VIDE

Pour améliorer le rendement des capteurs, et pour pouvoir atteindre des températures suffisamment élevées, ont été mis au point des capteurs à base de **tubes sous vide**.

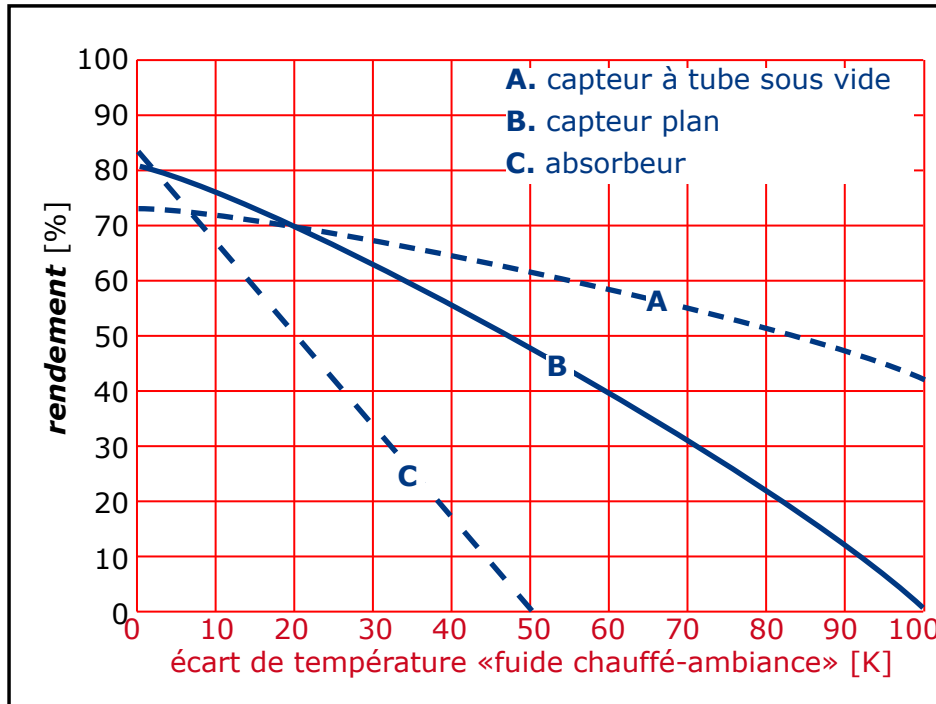
Plusieurs configurations ont été tentées, la solution la plus simple figurant ci-dessous, les tubes étant regroupés sous la forme de panneaux plans.



## nW02.4. LA PERFORMANCE DES CAPTEURS SOLAIRES

### LE RENDEMENT NORMALISÉ DES CAPTEURS THERMIQUES

Les capteurs thermiques sont caractérisés par leur courbe de rendement, établie **pour un flux solaire incident donné**. Vous trouverez au schéma ci-dessous trois courbes types, correspondant aux catégories de base que nous venons de décrire (capteurs à air exclus). Ces courbes sont fournies pour un flux solaire incident de  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ , l'abscisse étant l'écart de température entre le fluide chauffé et l'air environnant le capteur. De tels résultats doivent être fournis pour chaque modèle de capteur commercialisé, avec référence à la norme d'essai (**EN 12975, 12976, 12977**).



La présentation précédente - *normalisée* - repose sur les conventions suivantes, le flux surfacique incident étant fixé conventionnellement à  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$  :

- . figure en abscisse l'écart de température ( $T_f - T_e$ ),  $T_f$  étant la température de sortie du fluide chauffé et  $T_e$  [°C] la température extérieure,
- . figure en ordonnée le **rendement**, c'est à dire la rapport entre l'énergie thermique récupérée et le flux incident.

### REMARQUES SUR UNE PRÉSENTATION DIFFÉRENTE

La présentation des rendements peut varier avec les conventions (ci-dessus normalisées). Si - tout en maintenant le rendement en ordonnée - nous adoptons, pour caractériser les performances du capteur, l'échelle des abscisses suivante :

$$x = (T_f - T_e) / \Phi'' \quad [\text{m}^2 \text{ K/W}]$$

$T_f$  [°C] étant la température moyenne du fluide chauffé et  $\Phi''$  [W/m<sup>2</sup>] le flux surfacique global incident, les courbes de rendement sont souvent linéaires et générales (indépendantes du flux incident).

## nW02.5. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

### L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

La **conversion directe** du rayonnement solaire en électricité est due à l'**effet photoélectrique** dont la découverte est déjà ancienne (18<sup>e</sup> siècle), effet où il y a libération d'un électron lorsqu'un photon d'énergie suffisante est absorbé par certains matériaux. On distingue deux types d'effets photoélectriques : «externe» et «interne», le second étant le seul pris ici en compte. Dans ce cas il faut qu'un champ électrique se crée naturellement dans la masse, ce qui est la propre des jonctions de matériaux semiconducteurs différents.

### LE RENDEMENT

L'un des aspects essentiels du phénomène est son **rendement** de production d'électricité. Ce rendement varie selon les matériaux utilisés, la table ci-contre - très générale - illustrant les valeurs essentielles.

Jusqu'ici, et dans la pratique on a surtout utilisé, comme matériau photovoltaïque - le **silicium**, mais la situation pourrait évoluer ces prochaines années avec la mise en service de nouvelles usines.

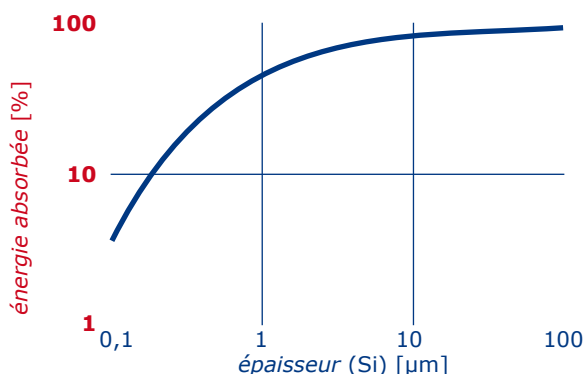
### RENDEMENTS PHOTOÉLECTRIQUES TYPES

Matériaux	Rendements [%]
<b>Silicium</b> (Si) en masse	12 à 18
<b>Silicium</b> en film mince	2 à 5
<b>GaAs/GaAlAs</b> (niveau expérimental, exemples)	16 à 20
<b>CdS/Cu<sub>2</sub>S</b>	5 à 8
<b>CdTe</b>	5 à 6
<b>InP</b>	2 à 5
<b>SiC ou GaP</b>	1 à 3

### L'INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR

Le coût étant essentiel on peut avoir tendance à utiliser des couches très minces de matériaux photo-électriques.

Comme l'indique le schéma ci-contre (attention, échelle logarithmique en ordonnée) il faut prendre quelques précautions de façon à ce que les photons puissent pénétrer suffisamment.



### L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

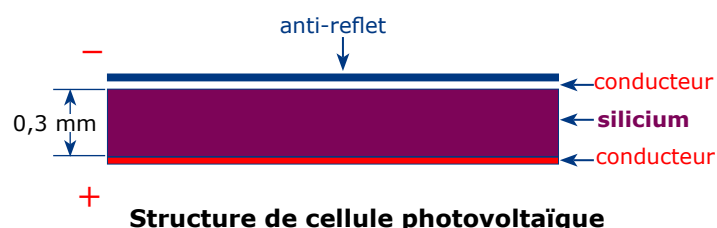
Afin d'améliorer les résultats on peut être tenté d'utiliser des systèmes optiques de concentration du rayonnement, mais on utilise alors d'assez fortes températures, assez défavorables au rendement comme l'indique la table ci-contre. C'est une des raisons pour lesquelles nous ne parlerons pas ici des dispositifs à concentration.

### RENDEMENTS TYPES selon température

Matériau	Température du semi-conducteur		
	0 [°C]	100 [°C]	200 [°C]
<b>Si</b>	25 %	14 %	6 %
<b>GaS/GaP</b>	19 %	16 %	13 %
<b>GaAs</b>	28 %	21 %	13 %

### SUR LE PLAN PRATIQUE

Les panneaux photovoltaïques courants sont constitués d'une juxtaposition de cellules identiques dont la structure est indiquée au schéma ci-dessous. Pour davantage de détails sur l'emploi de ces panneaux pour la production locale d'électricité, pour plus de détails sur leur montage et sur l'organisation de leurs branchements, compléments divers compris, consultez le livret à paraître sur **les capteurs photovoltaïques**.



## nW02.6. COMPLÉMENTS SUR LE PHOTOVOLTAÏQUE

### LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Les cellules photovoltaïques convertissent directement la lumière en électricité. Dans notre cas il s'agit de cellules placées à l'extérieur, *face au rayonnement solaire*. Ces cellules sont incorporées dans des modules fournissant chacun une tension (*continue*) et une intensité données. Les modules peuvent être, de plus, montés en série ou en parallèle, ce qui permet de s'adapter aux caractéristiques électriques souhaitées.

Les cellules peuvent utiliser différents matériaux, capables d'effet photovoltaïque grâce à leur structure atomique. Dans les cas courants, actuels et nous concernant, il s'agit de *silicium* (monocristallin, polycristallin, ou amorphe). Le recours à des matériaux plus « rares » est également envisagé (l'arséniure de gallium, le séléniure de cuivre et d'indium, le tellure de cadmium, le phosphore d'indium, etc.) mais nous n'en tiendrons pas compte leur avenir semblant incertain.

Les modules utilisés en production solaire d'électricité, ne comportant pratiquement aucune partie mobile, sont relativement robustes et possèdent en principe une assez longue durée de vie. Ceci dit les modules étant généralement soumis à des conditions climatiques sévères, il est essentiel de veiller aux garanties du fournisseur et de suivre ses recommandations.

### LE FONCTIONNEMENT DES CELLULES

Les photons, provenant du rayonnement incident et atteignant la cellule photovoltaïque, peuvent être soit réfléchis soit absorbés, deux phénomènes physiques à bien distinguer. Ce sont les photons *absorbés* qui provoquent – au sein du matériau cellulaire – les arrachages d'électrons provoquant la formation de courant utile. Afin de renforcer le rôle de l'absorption les modules sont normalement recouverts d'une couche réduisant le phénomène de réflexion. De sorte qu'un module type est constitué, outre le cœur en matériau photovoltaïque, d'un cadre de soutien et d'une couche anti-réflexion face à l'ensoleillement. Le courant fourni par le module dépend de la tension appliquée et de l'éclairement solaire.

### LE FONCTIONNEMENT ÉLECTRIQUE

Il est possible de représenter le fonctionnement électrique d'un module au moyen des deux *courbes caractéristiques* présentées sur un même diagramme fournissant en fonction de la *tension* en volt [V] :

- . l'*intensité* mesurée en ampère [A],
- . la *puissance* mesurée en watt [W].

Cette représentation fait apparaître, sur chacune de ces courbes caractéristiques, trois points particuliers de fonctionnement :

- . le point le plus à gauche, où la tension est nulle (court-circuit), l'intensité [A] étant alors maximale ( $I_{cc}$ ) et la puissance nulle,
- . le point « médian », où la puissance [W] est maximale ( $P_{max}$ ), la tension et l'intensité valant alors  $V_{max}$  et  $I_{max}$ ,
- . le point le plus à droite, où la puissance ( $P_o$ ) et l'intensité ( $I_o$ ) sont nulles (circuit ouvert), la tension étant alors maximale ( $V_{co}$ ).

Les caractéristiques de chaque module doivent être fournies par le fabricant, lequel doit en particulier indiquer la tension maximale supportable, et d'une manière générale les dispositions prises en matière de sécurité électrique.

### LES ACCESSOIRES COMPLÉMENTAIRES

Outre les cellules proprement dites et l'équipement électrique transformant le courant continu en courant alternatif type (220 V, 50 Hz), les composants photovoltaïques comportent souvent les composants suivants :

- . des *régulateurs de tension* destinés à maximiser le courant fourni par les modules,
- . des *batteries* (à décharge rapide) destinées à accumuler l'électricité pendant les périodes non ensoleillées, complétées par des *régulateurs de charge* (afin d'éviter les surcharges pendant les périodes ensoleillées).

Dans beaucoup de pays développés des normes et des contrôles de qualité viennent compléter les exigences, et les conforter.

