

## Objectifs de ce TP :

- analyser les caractéristiques de modules photovoltaïques de différentes technologies.
- comprendre comment l'irradiance, la température, les ombres modifient ces caractéristiques.
- comprendre l'intérêt d'intercaler un convertisseur DC/DC entre le générateur photovoltaïque et la charge continue.
- analyser les fonctionnalités d'un régulateur du commerce.

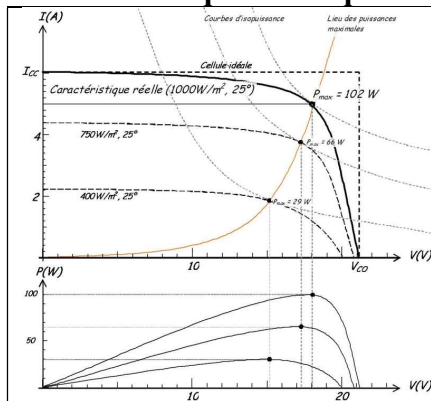
Les trois panneaux étudiés seront : panneau photowatt PW90Wc **multicristallin**, Flexcell 27Wc **amorphe** souple, Solbian SP 50L **monocristallin** cellule technoback contact, doc fournies en fichiers joint.

**Les parties avec un trait sur la gauche attendent une réponse de votre part et nécessitent parfois une préparation préalable obligatoire qui sera regardée et/ou ramassée en début de séance.**

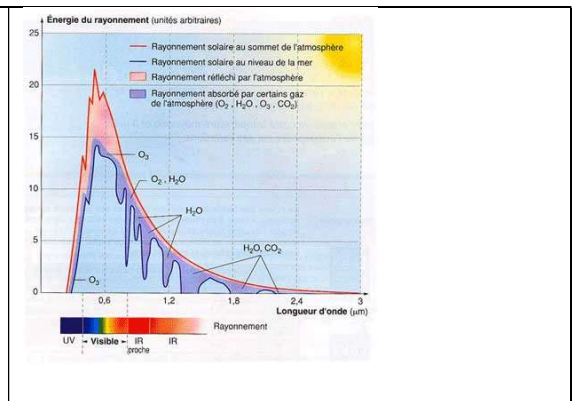
*Le compte rendu de votre travail (feuilles manuscrites ou fichier avec votre nom) est à rendre à la fin de la séance.*

## 1. RAPPEL ET COMPLEMENTS SUR LES PANNEAUX SOLAIRES PV

### a/Caractéristique théorique d'un panneau solaire.



**Figure 1.** Caractéristiques typiques d'un panneau solaire photovoltaïque. [1]



**Figure 2.** Spectres du soleil (hors atmosphère et au sol).

La partie supérieure de la figure 1 donne la forme des caractéristiques  $I(V)$  d'un panneau solaire pour différents ensoleillements (exprimés en  $W/m^2$ ). La partie inférieure présente les caractéristiques  $P(V)$  correspondantes. Un panneau se comporte comme un générateur de tension près de la tension de circuit-ouvert et comme un générateur de courant près du courant de court-circuit. Différents spectres solaires sont donnés figure 2.

### b/ Notations :

Courant de court-circuit :  $I_{SC}$  (A),

Tension de circuit ouvert :  $V_{OC}$  (V)

Ensoleillement (ou irradiance):  $G$  ( $W/m^2$ ). Une irradiance de  $1000 W/m^2$  est obtenue à Toulouse vers midi au mois de juin, il est rare d'avoir plus (cf figure 5).

AM: Air Masse (précise les conditions spectrales d'ensoleillement). Le spectre du soleil (cf figure 2) à la surface de la Terre dans les conditions standard est noté AM 1,5. AM 0 correspond au spectre du soleil hors atmosphère et AM 1 au spectre du soleil au zénith. Si on note  $\varphi$ , l'angle d'élévation du soleil (azimut), on a approximativement :

$$AM = \frac{1}{\sin(\varphi)} \quad \text{Eq. 1}$$

Soit  $\varphi = 42^\circ$  pour  $AM = 1,5$  *Température* : T (°C) *STC*: Standard Test Conditions : (1000 W/m<sup>2</sup>, AM1,5 , 25°C). La fiche technique d'un panneau donne ces performances dans les STC.

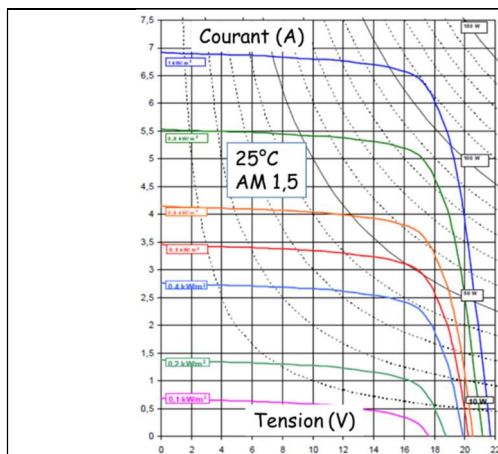
*Puissance max* : P<sub>MAX</sub> (W)

*Puissance crête* : P<sub>C</sub> (P<sub>P</sub>). (W<sub>C</sub> -Watt crête- ou W<sub>P</sub> -Watt peak-) P<sub>MAX</sub> récupérée dans les STC.

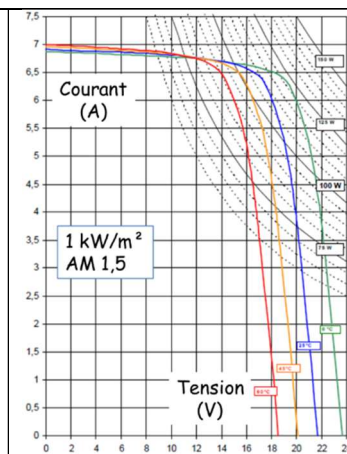
*Facteur de forme* : FF 
$$FF = \frac{P_{MAX}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad \text{Eq. 2}$$

### c/ Influence de l'irradiance :

Comme on peut le constater sur la figure 3, le courant de court-circuit est proportionnel à l'irradiance et en première approximation, la puissance maximale aussi.

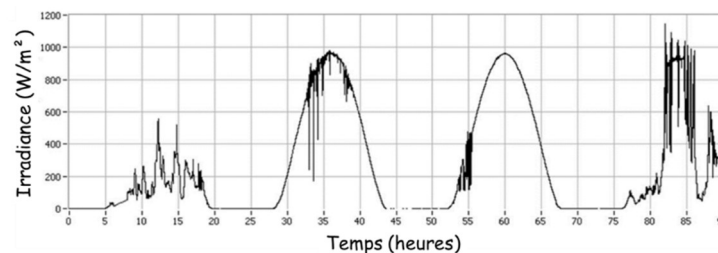


**Figure 3.** Caractéristiques I(V) du panneau Photowatt PW6 pour différentes irradiances.



**Figure 4.** Caractéristiques I(V) du panneau Photowatt PW6 pour différentes températures.

Le soleil est aussi une grandeur variable sur la journée comme le montre la figure 5.



**Figure 5.** Relevé de l'irradiance à Toulouse entre le 11 juin 0h et le 14 juin 17h 2009 -données fournies aimablement par le Laboratoire d'Aérodologie de Toulouse-.

### d/ Influence de la température :

La figure 4 montre l'influence de la température.

Quantitativement, dans le cas des panneaux utilisés (Tab 1), le courant de court-circuit augmente d'environ 2,085 mA / °C et la tension de circuit ouvert décroît de 79 mV / °C. La baisse globale de puissance est d'environ de 0,43 % / °C. Ainsi, plus la température augmente et moins la cellule est performante.

## 2. ANALYSE DE LA DOC DU PANNEAU PW6-110

Un des panneaux que vous allez utiliser est un Photowatt PW6-110 avec 90 W<sub>C</sub>. Le tableau ci-dessous donne ses spécifications techniques : (colonne 90 W pour puissance typique).

On donne de plus :

Ce panneau est composé de 4x9 cellules polycristallines chacune de 150 mm x 150 mm.

La taille du panneau est de 1424 mm x 655 mm x 45mm

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES				
PW6-110		Configuration 12 V		
Puissance typique	W	90	100	110
Puissance minimale	W	85	95,1	105,1
Tension à la puissance typique	V	16,4	16,7	17,2
Intensité à la puissance typique	A	5,5	6,0	6,4
Intensité de court circuit	A	6,1	6,5	6,9
Tension en circuit ouvert	V	21,1	21,5	21,7
Tension maximum du circuit	V	1000V DC		
Coefficients de température		$\alpha = +2,085 \text{ mA}/^\circ\text{C}$ ; $\beta = -79 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ; $\gamma \text{ P/P} = -0,43 \text{ \%}/^\circ\text{C}$		
Spécifications de puissance à 1000 W/m <sup>2</sup> ; 25°C : AM 1,5				

**Tableau 1** Extrait de la notice technique du panneau Photowatt PW6.

*Question : Pour le panneau PW6-110 déjà présenté avec une puissance de 90 Wc, tracez I(V) et P(V) et rappelez sur les figures les grandeurs importantes et leur valeur.*

*calculez dans les STC :  $\eta_{PV}$ , FF:*

*Question : Un jour de beau temps ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ), la température est de 60°C sur ce panneau, quelles est la perte par rapport aux STC en % et quelle sera la puissance max?*

### 3. EXPERIMENTATIONS

Plusieurs panneaux de technologies différentes sont à votre disposition. Vous devrez les caractériser et comparer leurs caractéristiques avec celles des docs techniques.

#### a/ Relevé des caractéristiques I(V) et P(V) avec un traceur.

**Attention**, si vous n'avez pas noté sur une feuille les divers manipulations, vous serez perdus au moment d'exploiter les courbes obtenues=> il est impératif de noter au fur et à mesure sur un cahier les manip que vous réalisez et leurs successions dans le temps.

*N'oubliez pas de faire le schéma de câblage avec les appareils utilisés obligatoire*

*Pour faire un relevé I(V) et P(V)*

Branchez la panneau au traceur en suivant la notice du traceur.

Branchez le traceur, mise en marche, puis autoscan, touche I/V pour avoir I(V) et non V(I) si nécessaire. Attendre la fin du relevé et prendre une photo de la courbe et des mesures associées.

Vous ne ferez pas d'ombre sur le panneau. Si vous êtes trop près du panneau, vous modifiez le rayonnement diffus vu par le panneau => s'éloignez si possible du panneau.

*Mesure irradiance* : Le pyranomètre est dans le même plan que le panneau.

Il est important d'effectuer les relevés à ensoleillement constant. Si le ciel est sans nuage, cela ne pose pas de problème, si le ciel est nuageux les changements d'irradiance sont rapides même si l'on ne le ressent pas "à l'œil"!

Il faut noter l'irradiance en début et en fin de relevé pour voir si elle a peu bougé. Si elle a trop bougé: refaire la manipulation.

Vous utiliserez le Splitte (sortie analogique ou directement un pyranomètre à sortie numérique).

*Mesure température*: Thermocouple +multimètre pour lecture directe de la température.

## Mesures à faire

### Mesure de base (3 relevés)

Pour les 3 technologies de panneaux disponibles, faire le relevé de  $I(V)$  et  $P(V)$ , le panneau étant face au soleil.

Vous notez aussi le jour, l'heure, les dimensions du panneau, l'irradiance, la température du panneau, la température ambiante et les conditions météorologiques (vent, nuages, pluie...)

Effet ombrage (5 relevés). Pour cette partie on utilise le panneau Polycristallin sur lequel on peut connecter ou non les bypass.

Relevé initial : le panneau est orienté face au soleil, sans ombre dessus, son petit côté au sol.

Puis, vous faites un relevé en cachant une cellule avec un carton noir de préférence (celle en bas à droite),

puis en cachant deux cellules, (celle en bas à droite et celle en bas à gauche).

vous refaites les mêmes manips en déconnectant les diodes bypass.

Effet température (s'il fait beau).

Relevé initial : le panneau est sous un carton (et donc à température ambiante).

On enlève le carton et on démarre le relevé. Il est fait à température ambiante.

Vous attendez 5 minutes, panneau en plein soleil et vous refaites la manip. On mesurera la température du panneau avec un thermocouple fixé sur la partie supérieure du panneau pour avoir une idée de la température des cellules.

Passez sur un PC en salle pour faire le traitement de vos données.

nom utilisateur sur les PCs : **étudiant**, password **etudiant**

**Remarque** : Pour les groupes de 16h30, en fonction de la météo, vous ferez tout de suite les autres manipulations avant que la nuit tombe.

## 4. EXPLOITATION DES MESURES, POUR TOUS LES BINOMES:

Questions : Sur un tableur, pour les courbes relevées sans ombrage, sur les courbes  $I(V)$  et  $P(V)$ , indiquez les grandeurs suivantes :  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$ ,  $P_{MAX}$ ,  $V_{@P_{MAX}}$ ,  $I_{@P_{MAX}}$ ,  $G$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{panneau}$  et donnez leurs valeurs puis calculer  $FF$ ,  $\eta_{PV}$  (rendement du panneau) et  $\eta_{cell}$  (rendement de la cellule solaire)

Relier ces valeurs aux valeurs fournies par la documentation. (Les documentations des panneaux vous sont fournies). Les résultats sont-ils cohérents ?

Analysez les courbes avec effet d'ombrage, avec ou sans diode bypass.

## 5. CONVERTISSEUR DC/DC

On souhaite montrer dans cette partie les fonctionnalités courantes d'un régulateur de charge solaire. Le régulateur est interconnecté entre le générateur photovoltaïque, la batterie et la charge.

### Etude préparatoire

En annexe, vous trouverez la fiche technique du solarix de STECA.

A partir de cette doc et de la doc fournit à la fin du TD, retrouvez les fonctionnalités d'un tel chargeur. Pour vous aider :

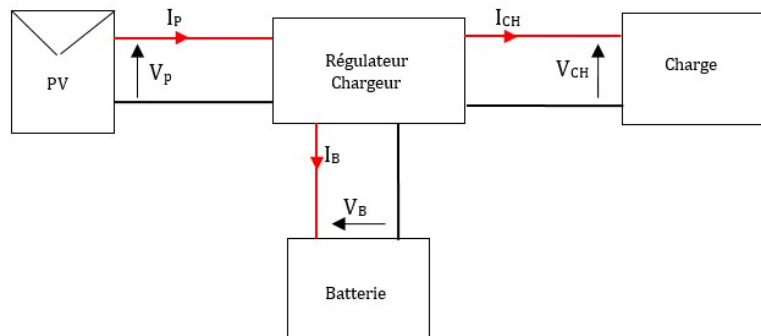
- Quels sont les mode de charges : MPPT, tension constante, tension constante, courant constant ?
- Que signifie pour la batterie les charges types floating, bulk ou egalization ?
- Quelles sont les protections indispensables pour la batterie ?

### Mise en œuvre.

Lire la documentation concernant le régulateur de charge mis à votre disposition.

Peut-on l'utiliser avec le panneau et la batterie qui vous sont proposés ? (niveaux de tension , de courant ?)

Faire le schéma sur le papier puis réaliser le câblage : PV- régulateur – batterie – charge, en rajoutant les voltmètres et ampèremètres nécessaires pour visualiser les tensions et les courants (6 appareils nécessaires) (**Ne pas connecter la batterie et le panneau solaire sans l'enseignant**)



**Branchement :** avec l'enseignant (un seul panneau et batterie de 12V)

**Mesures :**

Bon fonctionnement ? (Partage du courant)

Quel type de commande ? (PWM avec ou sans MPPT ? régulateur série ou parallèle ?)

Rendement ?

Consommation à vide ? Consommation la nuit.

Que se passe-t-il si la batterie est trop chargée ? (pas toujours réalisable)

Extrait de la doc du SOLARIX de STECA.

Disponible sur : [http://www.stecasolar.com/index.php?Steca\\_Solarix\\_MPPT\\_fr](http://www.stecasolar.com/index.php?Steca_Solarix_MPPT_fr)

### Steca Solarix MPPT

MPPT 1010, MPPT 2010

Steca Solarix MPPT est un régulateur de charge solaire avec la

fonction MPP Tracking. Il convient parfaitement à toutes les technologies de panneaux solaires courants et est idéal pour les systèmes solaires avec des tensions de panneaux solaires plus élevées que celle de la batterie. Le Steca Solarix MPPT est

particulièrement adapté pour l'utilisation avec des panneaux solaires normalement prévus pour les installations couplées au réseau. L'algorithme perfectionné de la fonction « MPP Tracking » de Steca permet de disposer constamment de la puissance utile maximale du panneau solaire. Grâce à sa technologie

de pointe, le Steca Solarix MPPT garantit une puissance maximale dans toutes les conditions d'utilisation, une protection professionnelle de la batterie, un design moderne et des fonctions de protection exceptionnelles.



### Caractéristiques du produit

Dispositif de poursuite du point de puissance maximale (tracker MPP)

Régulation de tension et de courant

Régulation MLI

Déconnexion de consommateurs en fonction du courant

Reconnexion automatique du consommateur

Compensation de température

Charge d'entretien mensuelle

### Fonctions de protection électroniques

Protection contre les surcharges

Protection contre les décharges profondes

Protection contre une polarité inversée des panneaux solaires, des consommateurs et de la batterie

Protection contre une polarité inversée par fusible interne

Protection contre les courts-circuits

Protection contre les surtensions sur l'entrée du panneau solaire

Protection contre circuit ouvert sans batterie

Protection contre courant inverse pendant la nuit

Protection contre surtempérature et surcharge

Déconnexion en cas de surtension de la batterie

### Affichages

Afficheur à DEL multifonction

DEL multicolore

5 DEL indiquent les états de service

pour le service, l'état de charge, les messages de dysfonctionnement

### Options

Fonction éclairage nocturne d'origine ou Steca PA RC 100 réglable

Paramétrage des valeurs de fonction via le Steca PA RC 100

Sonde de température externe

### Certificats

Conforme aux normes européennes (CE)

Conforme à la directive RoHS

Fabriqué en Allemagne

Développé en Allemagne

Fabriqué selon les normes ISO 9001 et ISO 14001

	MPPT 1010	MPPT 2010
<b>Caractérisation des performances de fonctionnement</b>		
Tension de système	12 V (24 V)	
Puissance nominale	125 W (250 W)	250 W (500 W)
Efficacité max.	> 98 %	
Consommation propre	10 mA	
<b>Côté entrée DC</b>		
Tension MPP	15 V (30 V) < V <sub>panneau</sub> < 75 V	15 V (30 V) < V <sub>panneau</sub> << 100 V
Tension à vide du panneau photovoltaïque (à la température de service minimale)	17 V ... 75 V (34 V ... 75 V)	17 V ... 100 V (34 V ... 100 V)**
Courant du panneau	9 A	18 A
<b>Côté sortie DC</b>		
Courant de charge	10 A	20 A
Courant du consommateur	10 A	
Tension finale de charge*	13,9 V (27,8 V)	
Tension de charge rapide*	14,4 V (28,8 V)	
Charge d'égalisation*	14,7 V (29,4 V)	
Point de référence de réenclenchement (LVR)*	12,5 V (25 V)	
Protection contre la décharge profonde (LVD)*	11,5 V (23 V)	
<b>Conditions de fonctionnement</b>		
Température ambiante	-25 °C ... +40 °C	
<b>Installation et construction</b>		
Borne de raccordement (à fils fins / à un fil)	16 mm <sup>2</sup> / 25 mm <sup>2</sup> - AWG 6 / 4	
Degré de protection	IP 32	
Dimensions (X x Y x Z)	187 x 153 x 68 mm	
Poids	900 g env.	

\* regardez options

Données techniques à 25 °C / 77 °F

### \*\*ATTENTION

Si la tension à vide du panneau photovoltaïque raccordé dépasse 100 V, le régulateur sera détruit. Lors de la sélection du panneau photovoltaïque, veillez à ce que la tension à vide ne dépasse jamais 100 V sur toute la plage de température. En cas d'utilisation de panneaux photovoltaïques dont la tension à vide max. (sur toute la plage de température) est comprise entre 75 et 100 V, l'ensemble de l'installation doit être réalisée selon la classe de protection II.