

20 janvier 2020

1. Introduction

Les contrôleurs de charge PWM comme MPPT sont largement utilisés pour charger des batteries avec l'énergie solaire.

Le contrôleur PWM est essentiellement un commutateur qui connecte des panneaux photovoltaïques à une batterie. Il permet de réduire la tension des panneaux pour l'adapter à celle de la batterie.

Le contrôleur MPPT est plus sophistiqué et donc plus cher : il règle sa tension d'entrée pour récupérer le maximum d'énergie du champ de panneaux photovoltaïques, et pour ensuite transformer cette énergie afin d'alimenter les différentes tensions requises pour la batterie et les recharges. Il est donc primordial de découpler les tensions du champ et de la batterie, afin qu'il y ait, par exemple, une batterie de 12 V sur un côté du contrôleur de charge MPPT, et de l'autre, des panneaux branchés en série pour produire 36 V.

Il est généralement accepté qu'un régulateur MPPT sera plus performant qu'un PWM sous des climats froids et tempérés, alors qu'ils auront des performances sensiblement égales sous des climats tropicaux.

Nous verrons ci-dessous l'effet de la température en détail, ainsi qu'une analyse quantitative sur les performances des deux types de régulateurs.

2. La courbe I/U et P/U d'un panneau solaire

Les exemples présentés aux pages suivantes, sont basés sur un panneau solaire monocristallin moyen de 100 W/36 cellules, avec les spécifications suivantes :

Panneau de 100 W 36 cellules

Pm	100 W	Coeff. temp. de Pm	γ	-0,45 %/°C
Vm	18 V	Coeff. temp. de Vm	ϵ	-0,47 %/°C
Im	5,56 A	Coeff. temp. de Im	δ	0,02 %/°C
Voc	21,6 V	Coeff. temp. de Voc	β	-0,35 %/°C
Isc	6,12 A	Coeff. temp. de Isc	α	0,05 %/°C

Tableau 1 : Spécifications du panneau solaire utilisé dans les exemples ci-dessous

La courbe courant-tension de ce panneau est présentée à la figure 1

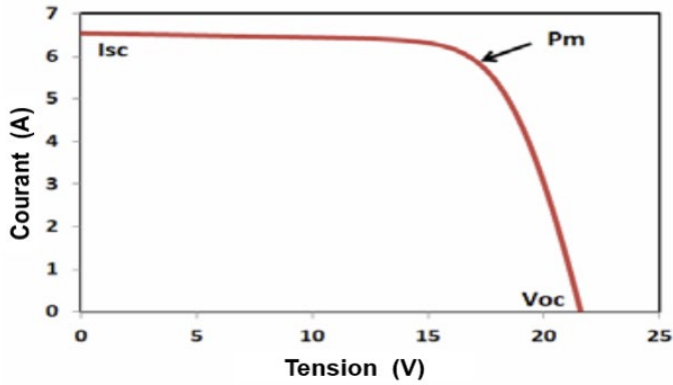


Figure 1 : Courbe courant-tension d'un panneau solaire 100 W/36 cellules
Conditions d'essai standard (STC) : Temp. des cellules : 25 °C, irradiance : 1000 W/m², AM : 1,5

À partir de cette courbe de base, la courbe de tension de puissance peut être dérivée en mesurant $P = V \times I$ par rapport à V .

Le résultat est la courbe bleue est représenté à la figure 2 ci-dessous.

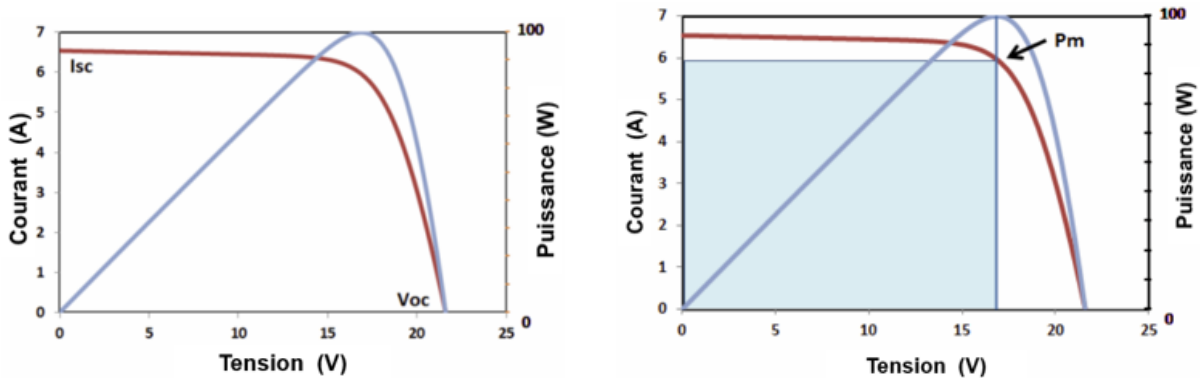


Figure 2 : Courbe courant-tension (marron) et Figure 3 : La zone du rectangle bleu est courbe
puissance-tension (bleu, $P = V \times I$) proportionnelle au produit $P_m = V_m \times I_m$

Bien entendu, la puissance obtenue du panneau est nulle lorsqu'il est court-circuité ($0 \times I_{sc} = 0$) ou lorsqu' aucun courant n'est tiré du panneau ($V_{oc} \times 0 = 0$).

Entre ces deux points de puissance zéro, le produit $P = V \times I$ atteint un maximum : le point de puissance ($P_m = V_m \times I_m$).

L'importance du point de puissance maximum peut être illustrée comme suit :

Le produit $V_m \times I_m$ est proportionnel à la surface du rectangle représenté à la figure 3. P_m est atteint lorsque la surface de ce rectangle est à son maximum. Les figures 4 et 5 montrent deux résultats moins optimaux obtenus lorsque l'énergie est récoltée à une tension trop faible ou trop élevée.

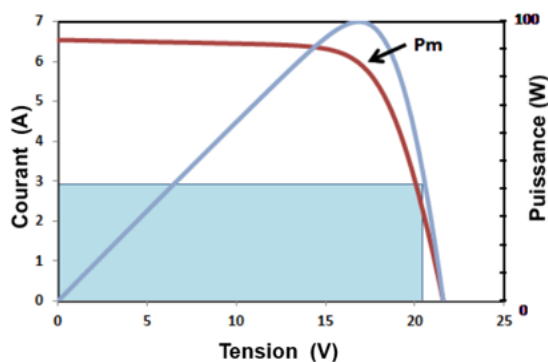


Figure 4 : Moins de puissance récoltée : la tension est trop faible

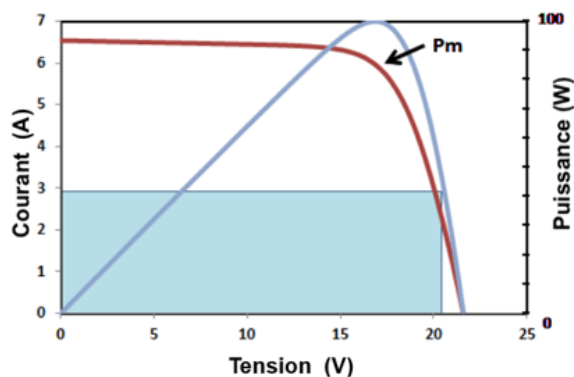


Figure 5 : Moins de puissance récoltée : la tension est trop élevée

Le rendement maximal d'un panneau solaire de 100 W est, par définition, de 100 W dans les conditions STC (température des cellules : 25 °C, irradiance : 1000 W/m², AM : 1,5).

Comme le montre la figure 3, dans le cas d'un panneau cristallin de 100 W/36 cellules, la tension correspondant au point de puissance maximum est $V_m = 18$ V et le courant est $I_m = 5,56$ A. Par conséquent 18 V x $5,56$ A = 100 W.

Conclusion :

Afin d'obtenir le maximum d'énergie d'un panneau solaire, un contrôleur de charge doit être en mesure de choisir le point courant-tension optimal sur la courbe courant-tension : le point de puissance maximum.

C'est exactement ce que fait un contrôleur MPPT.

La tension d'entrée d'un contrôleur PWM est, en principe, égale à la tension de la batterie connectée à sa sortie (à laquelle il faut ajouter les pertes de tension dans le câblage et le contrôleur). Dans la plupart des cas, le panneau solaire n'est donc pas utilisé à son point de puissance maximum.

3. Le contrôleur de charge MPPT

Comme le montre la figure 6, la tension V_m correspondant au point de puissance maximum peut être trouvée en traçant une ligne verticale à travers le haut de la courbe puissance-tension, et le courant I_m peut être trouvé en traçant une ligne horizontale à travers l'intersection de la ligne V_m et de la courbe courant-tension.

Ces valeurs doivent être égales à celles spécifiées dans le tableau 1.

Dans cet exemple, $P_m = 100$ W, $V_m = 18$ V and $I_m = 5,56$ A.

Avec son microprocesseur et son logiciel sophistiqué, le contrôleur MPPT détectera le point de puissance maximum P_m et, dans notre exemple, fixera la tension de sortie du panneau solaire à $V_m = 18$ V et tirera $I_m = 5,56$ A du panneau.

Que se passe-t-il ensuite ?

Le contrôleur de charge MPPT est un convertisseur DC-DC qui peut transformer l'énergie d'une tension supérieure en énergie d'une tension inférieure. La quantité d'énergie ne change pas (à part une petite perte lors du processus de transformation). Par conséquent, si la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée, le courant de sortie sera supérieur au courant d'entrée, de sorte que le produit $P = V \times I$ reste constant.

Lors de la charge d'une batterie à $V_{bat} = 13\text{ V}$, le courant de sortie sera donc

$$I_{bat} = 100\text{ W} / 13\text{ V} = 7,7\text{ A}.$$

(De même, un transformateur AC peut fournir une charge de 4,4 A à 23 VAC ($4,4 \times 23 = 100\text{ W}$) et donc tirer 0,44 A du secteur 230 V ($230 \times 0,44 = 100\text{ W}$)).

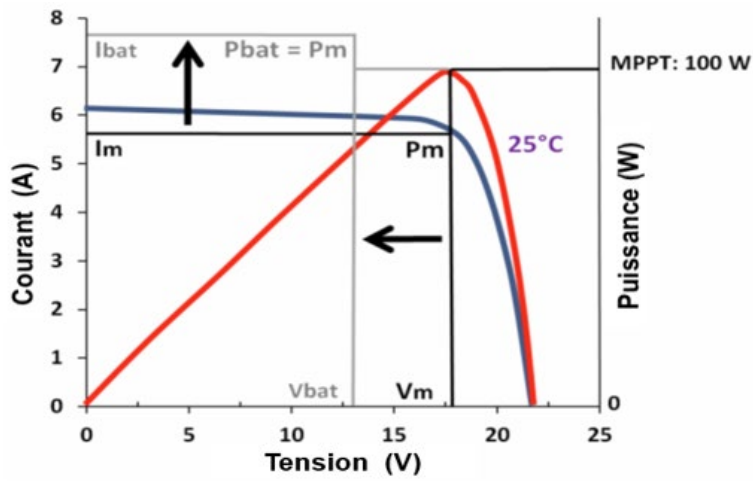


Figure 6 : Contrôleur MPPT, représentation graphique de la conversion DC en DC

$$P_m = V_m \times I_m = 18\text{ V} \times 5,6\text{ A} = 100\text{ W}, \text{ et}$$
$$P_{bat} = V_{bat} \times I_{bat} = 13\text{ V} \times 7,7\text{ A} = 100\text{ W}$$

4. Le contrôleur de charge PWM

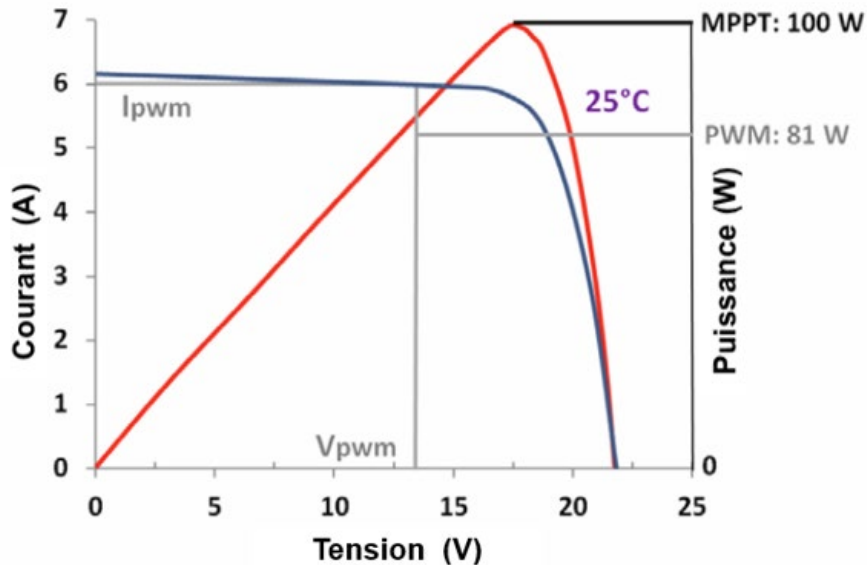


Figure 7 : Contrôleur de charge PWM

Dans ce cas, la tension de charge imposée au panneau solaire peut être trouvée en traçant une ligne verticale au point de tension égale à V_{bat} plus 0,5 V. La tension supplémentaire 0,5 V représente la perte de tension dans le câblage et le contrôleur. L'intersection de cette droite avec la courbe courant-tension donne le courant $I_{pwm} = I_{bat}$.

Un contrôleur PWM n'est pas un convertisseur DC-DC. Le contrôleur PWM est un commutateur qui connecte le panneau solaire à la batterie. Lorsqu'il est fermé, le panneau et la batterie sont presque à la même tension. En supposant une batterie déchargée, la tension de charge initiale sera d'environ 13 V, et en supposant une perte de tension de 0,5 V sur le câblage et le contrôleur, le panneau sera à $V_{pwm} = 13,5 V$. La tension augmentera lentement avec l'augmentation de l'état de charge de la batterie. Lorsque la tension d'absorption est atteinte, le contrôleur PWM commence à déconnecter et à reconnecter le panneau pour éviter la surcharge (d'où son nom : Pulse Width Modulated controller).

La figure 7 montre que dans notre exemple, avec $V_{bat} = 13 V$ and $V_{pwm} = V_{bat} + 0,5 V = 13,5 V$, la puissance récoltée du panneau est $V_{pwm} \times I_{pwm} = 13,5 V \times 6 A = 81 W$, soit 19 % de moins que les 100 W récoltés avec le contrôleur MPPT.

De toute évidence, à 25 C, un contrôleur MPPT est préférable à un contrôleur PWM.

Cependant, la température a un effet important sur la tension de sortie du panneau solaire. Nous décrivons cet effet à la section suivante.

5. L'effet de la température

5.1 L'effet de la température est beaucoup trop important pour être négligé

Lorsqu'un panneau chauffe car le soleil brille sur sa surface, la tension du circuit ouvert et la tension du point de puissance maximum descendent toutes deux. Le courant reste cependant pratiquement constant. En d'autres termes : la courbe courant-tension se déplace vers la gauche avec l'augmentation de la température, comme montré par la figure 8.

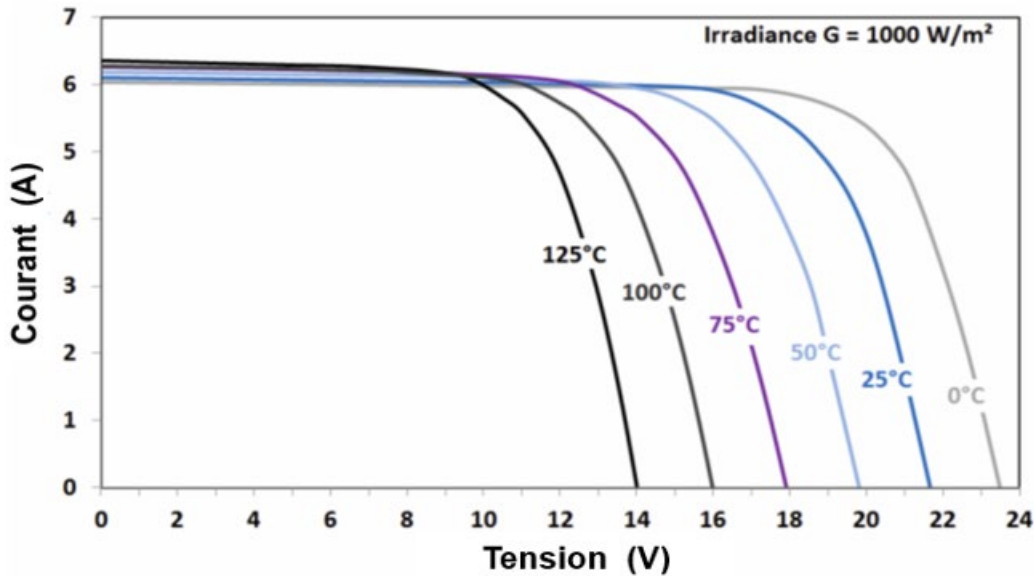


Figure 8 : La courbe courant-tension se déplace vers la gauche avec l'augmentation de la température

Évidemment, comme montré sur la figure 9 ci-dessous, le point de puissance maximum se déplace également vers la gauche, et vers le bas parce que le produit $V_m \times I_m$ diminue avec l'augmentation de la température.

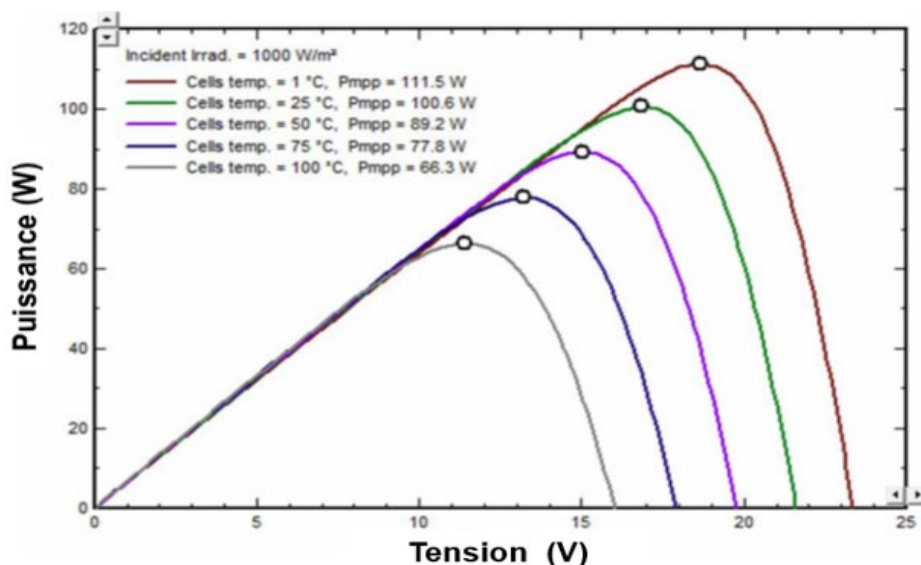


Figure 9 : Le point de puissance maximum se déplace vers la gauche et vers le bas avec l'augmentation de la température

5.2. Le contrôleur MPPT lorsque la température des cellules est de 75 °C

La puissance, le courant et la tension du MPPT peuvent être obtenus comme suit à partir des spécifications du panneau solaire :

$$P_m(75\text{ °C}) = P_m(25\text{ °C}) \times (1 + (75\text{ °C} - 25\text{ °C}) \times \gamma) = 100 \times (1 + (50 \times -0,45/100)) = 77,5\text{ W}$$

Et, suivant la même méthode :

$$I_m(75\text{ °C}) = 5,6\text{ A}$$

$$V_m(75\text{ °C}) = 13,8\text{ V}$$

Et une vérification : $I_m(75\text{ °C}) \times V_m(75\text{ °C}) = 5,6 \times 13,8 = 77,3\text{ W}$. La différence par rapport au $P_m(75\text{ °C})$, tel que calculé précédemment, est de 0,2 W, un résultat suffisamment proche et corrélé.

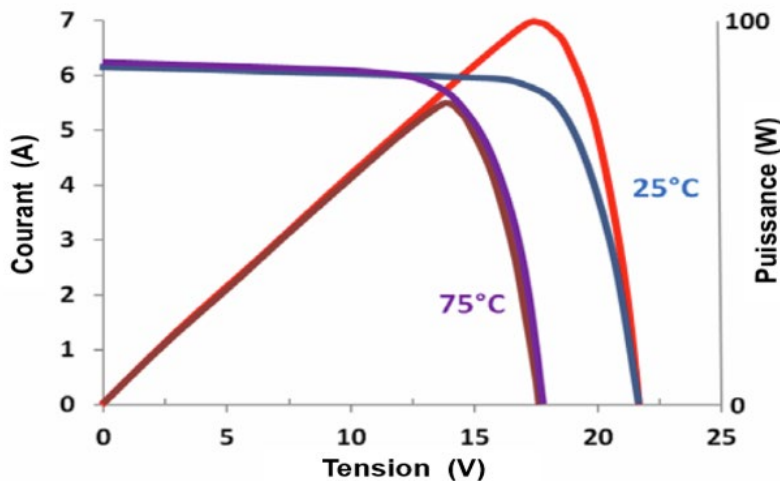


Figure 10 : Courbes courant-tension et puissance-tension à 25 °C et 75 °C

Remarque:

La plupart des fabricants de panneaux ne spécifient pas les coefficients de température de I_m (δ) et V_m (ϵ), et s'ils le font, ils attribuent souvent une valeur beaucoup trop faible à ϵ . Il en résulte que le calcul de V_m à l'aide de son coefficient de température donne une valeur incorrecte (beaucoup trop optimiste dans la plupart des cas) et $I_m \times V_m$ sera également erroné, avec $I_m \times V_m \neq P_m$, ce qui est mathématiquement impossible.

5.3 Le contrôleur PWM lorsque la température des cellules est de 75 °C

Toujours en supposant une tension de batterie de 13 V, la tension imposée au panneau sera de 13,5 V. À l'aide de la figure 11, le courant PWM peut être trouvé en traçant la ligne de tension verticale et la ligne de courant horizontale. Le courant PWM résultant est de 5,95 A et la sortie du panneau solaire est de $13,5 \text{ V} \times 5,7 \text{ A} = 77 \text{ W}$.

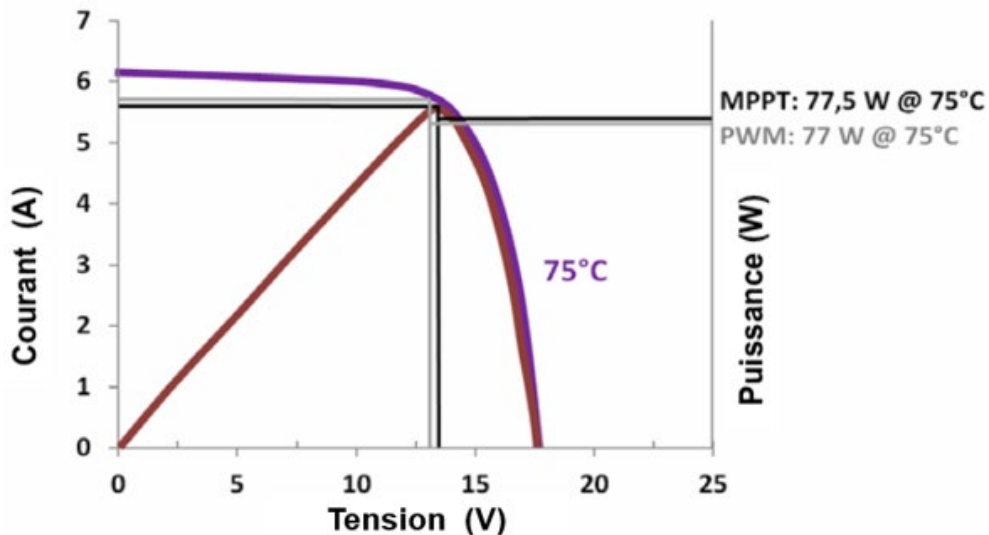


Figure 11 : Comparaison des performances MPPT et PWM à une température de panneau de 75 °C

Lignes noires : MPPT (77,5 W).

Lignes grises : PWM (77 W). Avantage de performance du MPPT : aucune

Conclusion : à $T_{\text{cell}} = 75 \text{ °C}$ et $V_{\text{bat}} = 13 \text{ V}$, la différence de performances entre les deux contrôleurs est négligeable.

5.4 Température des cellules 100 °C

Il est intéressant de voir ce qu'il se passe à des températures encore plus élevées.

La figure 12 montre ce qu'il se passe à 100 °C.

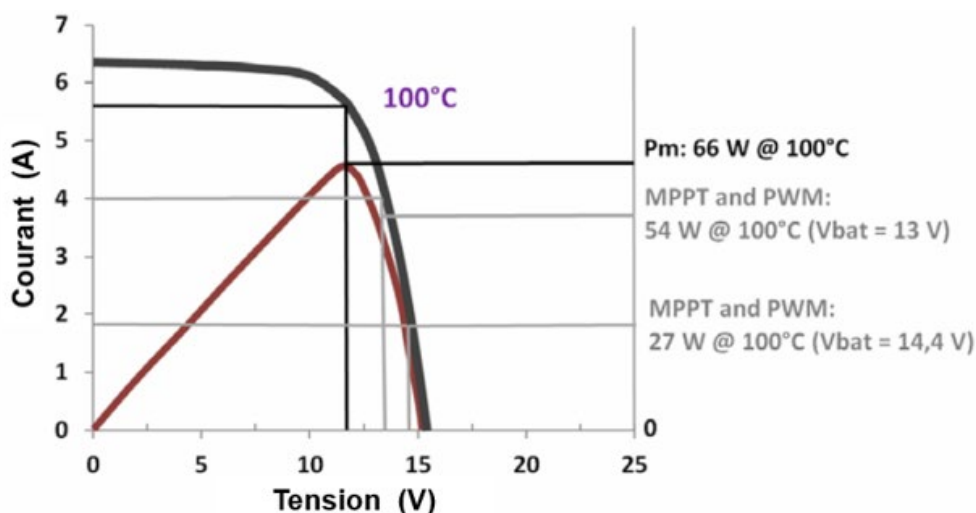


Figure 12 : À une température du panneau de 100 °C, la tension du point de puissance maximum est de 11,7 V.

La plupart des contrôleurs MPPT ne peuvent pas transformer une tension inférieure en une tension supérieure, car ils ne sont pas conçus à cette fin. Si la tension MPPT V_m devient inférieure à V_{bat} , ils fonctionneront donc comme un contrôleur PWM, connectant le panneau directement à la batterie. Comme le montre la figure 11, si $V_{bat} = 13 \text{ V}$, le courant récolté du panneau sera limité à 4 A.

Et la situation s'aggrave avec l'augmentation de la tension de la batterie (ou l'augmentation de la température) : le courant de charge se réduit rapidement à quelques ampères seulement. Cependant, si le contrôleur MPPT pouvait toujours fonctionner dans cette situation au point de puissance maximum, il pourrait récolter 66 W, que V_{bat} soit faible ou élevé !

6. La solution

De toute évidence, dans notre exemple, les contrôleurs MPPT et PWM ne fonctionnent pas à des températures de cellules élevées.

La solution pour améliorer les performances du contrôleur MPPT à des températures de cellules élevées consiste à augmenter la tension du panneau en augmentant le nombre de cellules en série.

Bien entendu, cette solution n'est pas applicable aux contrôleurs PWM : l'augmentation du nombre de cellules en série réduira les performances à basse température.

Dans le cas du contrôleur MPPT : remplacez le panneau 12 V/100 W par un panneau 24 V/100 W ou par deux panneaux 12 V/50 W en série. Vous doublerez la tension de sortie et le contrôleur MPPT chargera une batterie 12 V avec 66 W (5,1 A à 13 V), à une température de cellule de 100 °C, voir la figure 13.

Un avantage supplémentaire : comme la tension du panneau a doublé, le courant du panneau est réduit de moitié ($P = V \times I$ et P n'a pas changé mais V a doublé).

La loi d'Ohm nous apprend que les pertes dues à la résistance du câble sont $P_c \text{ (Watt)} = R_c \times I^2$, où R_c est la résistance du câble. **Cette formule montre que pour une perte de câble donnée, la section efficace du câble peut être réduite par un facteur de 4 en doublant la tension du champ.**

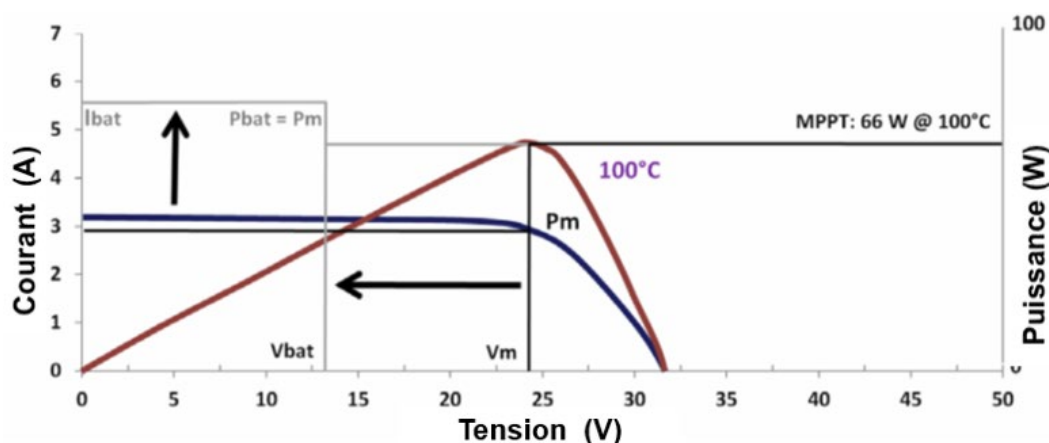


Figure 13 : Deux panneaux 12 V/50 W en série au lieu d'un panneau 12 V/100 W

$$P_m = V_m \times I_m = 23,4 \text{ V} \times 2,8 \text{ A} = 66 \text{ W and}$$

$$P_{bat} = V_{bat} \times I_{bat} = 13 \text{ V} \times 5,1 \text{ A} = 66 \text{ W}$$

Conclusion :

Lorsque vous utilisez un contrôleur de charge MPPT, il existe deux raisons impérieuses d'augmenter la tension PV (en augmentant le nombre de cellules en série) :

- Récolter autant d'énergie que possible à partir des panneaux solaires, même à température de cellule élevée.
- Diminuer la surface de la section du câble et donc diminuer les coûts.

7. Graphique des performances relatives

7.1 Performance relative en tant que fonction de la température

Supposons maintenant que le contrôleur MPPT est connecté à un réseau solaire avec suffisamment de cellules en série pour atteindre une tension MPPT supérieure de plusieurs volts à la tension de batterie la plus élevée.

Par exemple :

Batterie 12 V : 72 cellules (un réseau 24 V) ou plus

Batterie 24 V : 108 cellules (un réseau 36 V) ou plus

Batterie 48 V : 216 cellules (un réseau 72 V) ou plus

Le contrôleur PWM est connecté à un réseau de panneaux solaires d'exactly la même puissance W_p , avec le nombre habituel de cellules en série et utilisé pour charger une batterie 12 V, 24 V ou 48 V avec respectivement 36, 72 ou 144 cellules.

Les performances relatives des deux contrôleurs en fonction de la température de cellule, peuvent être comparées comme cela est montré sur la figure 14.

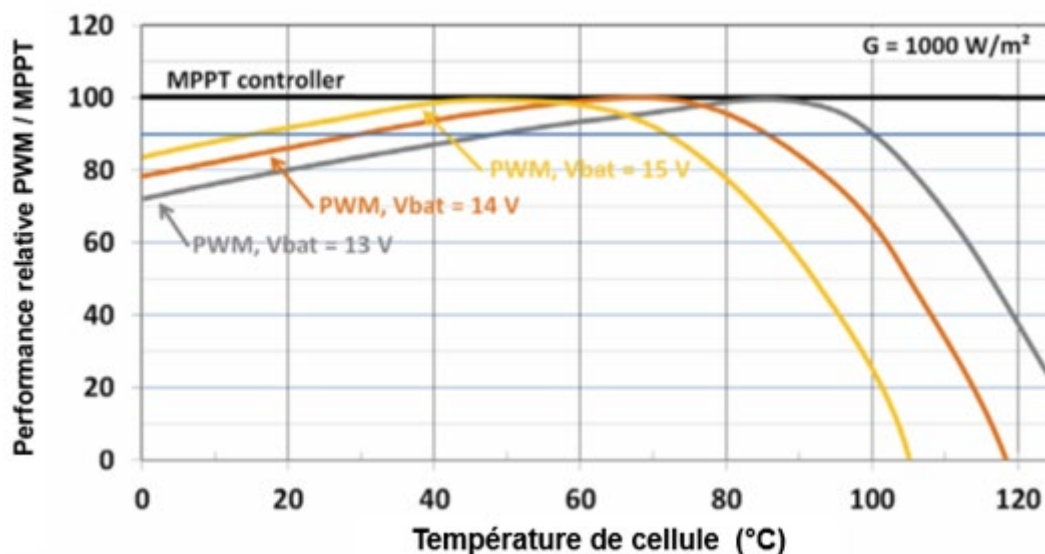


Figure 14 : Comparaison des performances entre PWM et MPPT en fonction de la température de cellule et de la tension batterie sous STC et en supposant une perte de 0,5 V dans le câblage et le contrôleur.

Les performances du contrôleur MPPT sont réglées sur 100 %. Les performances du PWM correspondent à celles du MPPT (performance relative de 100 %) lorsque la tension de la batterie plus les pertes dans le câble et le contrôleur se trouve être égale à la tension du MPPT. Trois courbes de performance relative du PWM sont présentées, basées sur trois tensions de batterie différentes, et, comme prévu, le point de 100 % est atteint à des températures plus basses lorsque la tension de la batterie augmente.

7.2 Performance absolue en fonction de la température

Si l'on tient compte de la dépendance à la température de P_m , on obtient la figure 15 ci-dessous. Les performances du contrôleur MPPT sont réglées à 100 % sur 25 °C selon les conditions STC.

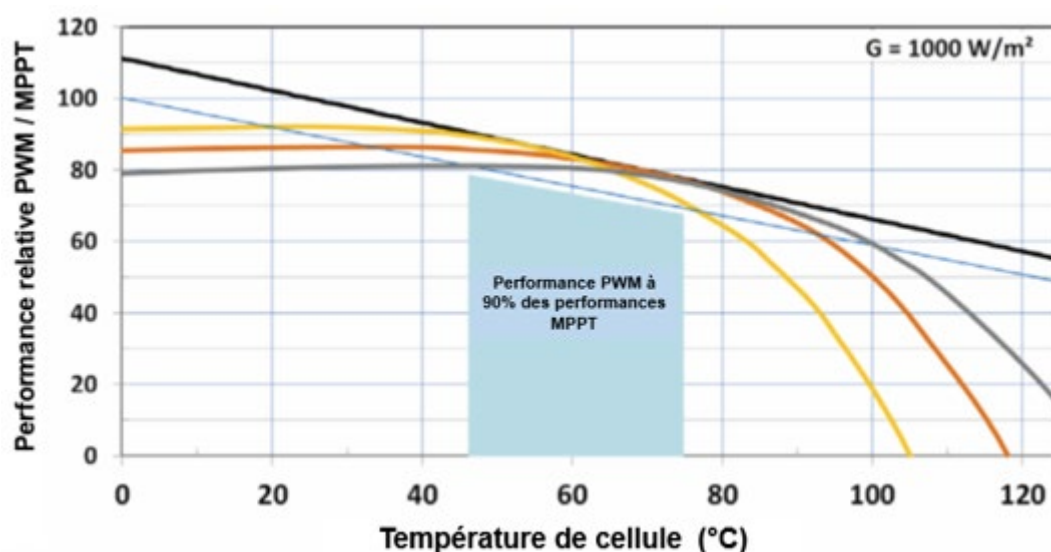


Figure 15 : Comparaison des performances absolues entre PWM et MPPT en fonction de la température de cellule et de la tension de batterie selon les conditions STC et en supposant une perte de 0,5 V dans le câble et le contrôleur.

La zone bleue montre qu'un contrôleur PWM fonctionne presque aussi bien (marge de 10 %) qu'un contrôleur MPPT sur des plages de tensions de charge de batterie (13 V à 15 V) et de températures (45 °C et 75 °C) relativement larges.

La limite de 10 % est représentée par une fine ligne bleue sur les figures 14 et 15.

Avant de tirer des conclusions, quelques autres paramètres des cellules solaires et du système doivent être pris en compte.

7.3 L'influence de l'irradiance

Le rendement d'un panneau solaire est approximativement proportionnel à l'irradiance, mais V_m reste presque constant tant que l'irradiance dépasse 200 W/m^2 . L'irradiance n'influence donc pas substantiellement le rapport de performance MPPT/PWM tant que l'irradiance dépasse 200 W/m^2 (voir figure 16).

Mais à faible irradiance (ciel couvert, hiver) V_m chute rapidement et un contrôleur MPPT connecté à un réseau de panneaux avec une tension nominale beaucoup plus élevée que la batterie fonctionnera beaucoup mieux qu'un contrôleur PWM.

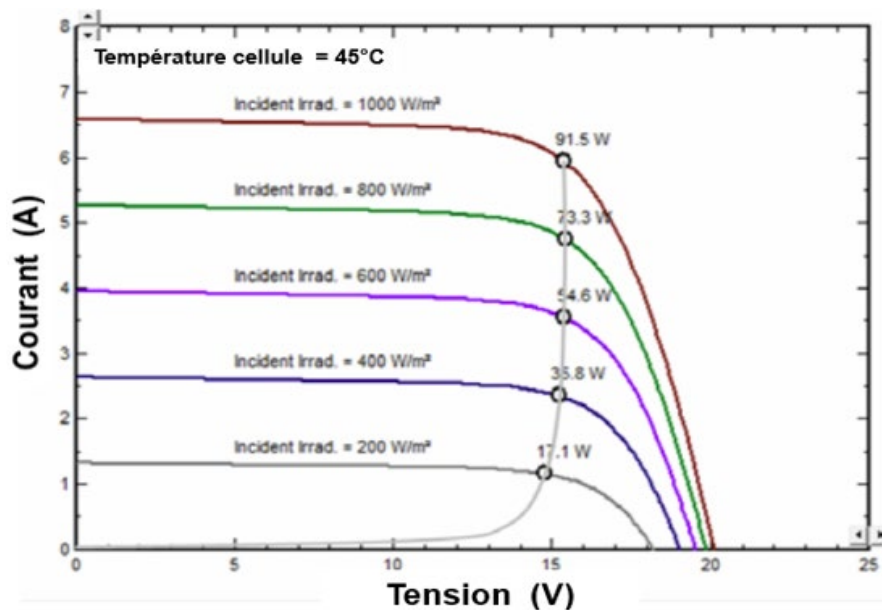


Figure 16 : Dépendance de M_p et V_{mp} à l'irradiance

7.4 Monocristallin ou polycristallin

Selon les fiches techniques du fabricant, V_m est, en moyenne, légèrement inférieure dans le cas des panneaux polycristallins. Dans le cas d'un panneau 12 V, la différence est de 0,35 V à 0,7 V et le coefficient de température est similaire pour les deux technologies. En conséquence, les courbes du PWM sur les figures 13 et 14 se déplacent de 5 à 10 °C vers la gauche dans le cas d'un panneau polycristallin.

7.5 Ombrage partiel

L'ombrage partiel diminue la tension de sortie. Le MPPT présente donc un net avantage par rapport au PWM en cas d'ombrage partiel.

7.6 Pertes dans le câble et le contrôleur

Dans une bonne installation, ces pertes sont faibles par rapport à l'effet de la température. Notez que tout au long de cet article, la puissance, la tension et le courant sont mesurés à la sortie du panneau et ne prennent pas en compte les pertes, sauf indication contraire.

7.6 Température des cellules

La prochaine question est : quelle est la température des cellules solaires dans la pratique ?

Une première indication est donnée par la NOCT (température nominale d'utilisation des cellules) qui est aujourd'hui spécifiée par la plupart des fabricants de panneaux solaires.

Les conditions NOCT sont définies comme suit :

- Température ambiante : 20 °C
- Irradiance : 800 W/m^2
- Masse d'air : 1,5
- Vitesse du vent : 1 m/s
- Montage : face arrière ouverte (réseau de panneaux autoportant)
- Aucune charge électrique : aucune alimentation n'est tirée du panneau

Selon les données du fabricant, en moyenne $\text{NOCT} = 45^\circ\text{C}$. Cela signifie que dans les conditions indiquées, la température des cellules solaires est supérieure de 25 °C à la température ambiante.

Une formule plus générale pour calculer la température des cellules T_c is :

$$T_c = T_a + G/U \quad \text{ou} \quad \Delta T = T_c - T_a = G/U$$

Avec

T_a : température ambiante

G : irradiance (W/m^2)

U : facteur de perte thermique ($W/m^2 \cdot \Delta T$)

Et un modèle simple pour le facteur de perte thermique :

$$U = U_c + U_v \cdot W_v$$

Où U_c est une composante constante et U_v un facteur proportionnel à la vitesse du vent W_v (m/s) au niveau du réseau de panneaux.

La formule thermique résultante:

$$T_c = T_a + G/(U_c + U_v \cdot W_v) \quad \text{or} \quad \Delta T = T_c - T_a = G/(U_c + U_v \cdot W_v)$$

En extrapolant à partir de http://files.pvsyst.com/help/index.html?noct_definition.htm et d'autres sites internet, les valeurs approximatives pour U_c et U_v sont les suivantes :

Panneaux autoportants :

$$U_c \approx 20 W/m^2 \cdot \Delta T$$

$$U_v \approx 12 W/m^2 \cdot \Delta T/m/s$$

Réseaux de panneaux dont la face arrière est entièrement isolée :

$$U_c \approx 10 W/m^2 \cdot \Delta T$$

$$U_v \approx 6 W/m^2 \cdot \Delta T/m/s$$

La figure 17 montre l'augmentation résultante de la température des cellules par rapport à la température ambiante pour les réseaux de panneaux autoportants et ceux dont la face arrière est entièrement isolée.

De toute évidence, la circulation de l'air est extrêmement importante.

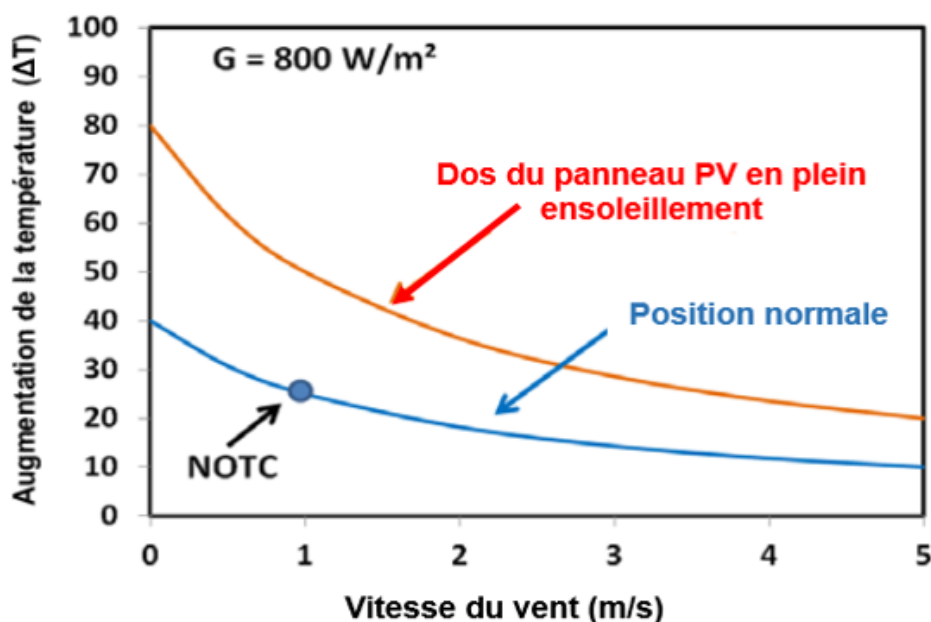


Figure 17 : Vitesse du vent et augmentation de la température

Réseau de panneaux autoportant

Sans vent, l'augmentation de température de 40 °C d'un réseau autoportant peut entraîner des températures de cellules de 70 à 80 °C par une chaude journée ensoleillée en Europe. Dans de telles conditions, les performances du PWM sont inférieures de 10 % aux performances du MPPT.

Face arrière entièrement isolée

Dans un réseau avec une face arrière entièrement isolée, la température des cellules peut systématiquement dépasser 100 °C. Charger complètement la batterie avec un contrôleur PWM devient alors impossible car le courant de charge sera très faible ou même nul avant que la tension d'absorption ne soit atteinte.

Dans la plupart des installations, la face arrière d'un réseau de panneaux n'est pas entièrement isolée. Lorsqu'il est monté sur un toit incliné, par exemple, on a normalement pris soin de permettre un certain flux d'air entre le toit et l'arrière des panneaux solaires.

La capacité calorifique de l'air est cependant très faible. L'air circulant sous les panneaux peut rapidement atteindre l'équilibre avec la température des panneaux, ne conduisant à aucun échange thermique sauf pour les premiers décimètres du conduit d'air. Par conséquent, pour la plus grande partie du réseau, la valeur U du côté arrière peut correspondre à la valeur U entièrement isolée.

8. Conclusion générale

Température

Un panneau solaire cristallin standard avec une tension nominale de 12 V se compose de 36 cellules en série. À une température de cellule de 25 °C, le courant de sortie de ce panneau sera presque constant jusqu'à environ 17 V. Au-dessus de cette tension, le courant chute rapidement, entraînant une puissance maximale produite à environ 18 V.

Malheureusement, le point de tension auquel le courant commence à chuter diminue avec l'augmentation de la température. En dessous de ce point de tension, le courant reste cependant pratiquement constant, et n'est pas influencé par la température.

La puissance de sortie et la tension de sortie diminuent toutes deux d'environ 4,5 % pour chaque augmentation de température de 10 °C.

Contrôleur PWM

Lorsqu'un panneau solaire est connecté à la batterie par l'intermédiaire d'un contrôleur de charge PWM, sa tension est réduite pour se rapprocher de celle de la batterie. Cela conduit à une puissance de sortie en watts sous-optimale ($\text{Watt} = \text{Amp} \times \text{Volt}$) lorsque les températures des cellules solaires sont basses ou très élevées.

Par temps de pluie ou journée nuageuse, ou avec de fortes charges intermittentes, la tension de la batterie peut devenir inférieure à la normale. Cela réduirait encore la tension du panneau, dégradant le rendement encore davantage.

À des températures de cellule très élevées, le point de chute de tension peut diminuer en dessous de la tension nécessaire pour charger complètement la batterie.

Comme la surface du réseau de panneaux augmente linéairement avec la puissance, la surface de la section transversale du câble et la longueur du câble augmentent donc toutes deux avec la

puissance, entraînant des coûts de câble substantiels, dans le cas de réseaux dépassant quelques 100 Watts.

Le contrôleur de charge PWM est donc une bonne solution à faible coût pour les petits systèmes uniquement, lorsque la température des cellules est modérée à élevée (entre 45 °C et 75 °C).

Contrôleur MPPT

En plus de remplir la fonction d'un contrôleur de base, un contrôleur MPPT comprend également un convertisseur de tension DC-DC, qui convertit la tension du réseau pour fournir aux batteries celles dont elles ont besoin, avec très peu de perte d'énergie.

Un contrôleur MPPT tente de récupérer de l'énergie à partir du réseau près de son point d'alimentation maximum, tout en alimentant les différentes tensions requises pour la batterie et la charge. Il est donc primordial de découpler les tensions du réseau de panneaux et de la batterie, afin qu'il y ait une batterie de 12 V sur un côté du contrôleur de charge MPPT, et de l'autre, deux panneaux de 12 V ($V_{max} = 18$ V) branchés en série pour produire 36 V.

S'il est connecté à un réseau PV avec une tension nominale sensiblement plus élevée que la tension de la batterie, un contrôleur MPPT fournira donc un courant de charge même à des températures de cellule très élevées ou dans des conditions de faible irradiance où un contrôleur PWM ne serait pas d'une grande aide.

À mesure que la taille du réseau de panneaux augmente, la surface de la section transversale du câble et la longueur du câble augmentent également. Le choix de câbler plus de panneaux en série pour diminuer le courant est une raison impérieuse pour installer un contrôleur MPPT dès que la puissance du réseau dépasse quelques centaines de Watts (avec une batterie 12 V), ou plusieurs centaines de Watts (avec une batterie 24 V ou 48 V).

Un contrôleur de charge MPPT est donc la solution de choix :

- a) Si la température des cellules est souvent basse (inférieure à 45 °C) ou très élevée (supérieure à 75 °C).*
- b) Si le coût de câblage peut être considérablement réduit en augmentant la tension du réseau.*
- c) Si le rendement du système à faible irradiance est important.*
- d) Si l'ombrage partiel est un problème.*