

# Electricité en site isolé



**Association P'TIWATT – Section APPER *Porte de Normandie***

29 bis, rue Saint Léger

27120 – Villégats - FRANCE

**Téléphone** : +33 (0)7 69 07 49 85

**Email** : [ptiwatt@mailoo.org](mailto:ptiwatt@mailoo.org)

**Blog** : <http://ptiwatt.kyna.eu>

**R.N.A.** W273003956 - **SIRET** 850 095 902 00019

# Objectifs de ce module

Ce module de formation a pour objet de familiariser les stagiaires avec la mise en oeuvre d'une installation solaire photovoltaïque en site isolé.

Notre objectif premier est que le stagiaire soit à même de mettre en oeuvre un capteur solaire photovoltaïque relié à des batteries.

La formation alterne théorie et pratique.

Les grands principes théoriques seront présentés ainsi que les principales erreurs à éviter.

D'un point de vue pratique, nous apprendrons à simuler un système solaire en site isolé, calculer les chutes de tension dans un câble électrique et installer un système photovoltaïque en site isolé.

Les installations de l'association P'TIWATT et de leurs membres actifs serviront de supports pédagogiques.

# Partie 1 - Estimer son besoin

- ✓ Unités et formules de base
- ✓ Commencer par estimer votre besoin énergétique électrique journalier
- ✓ Schéma de principe

# Unités et formules de base

- ✓ U = tension électrique en volt notée V
- ✓ I = intensité du courant électrique en ampère notée A
- ✓ P = la puissance électrique en watt notée W,  $P = U \times I$
- ✓ E = énergie ou consommation en Wh,  $E = P \times t$
- ✓ Cap = la capacité en Ampère-heure (Ah)
- ✓ Watt/m<sup>2</sup> = puissance instantanée du soleil
- ✓ Watt crête = puissance maximale qu'un module solaire photovoltaïque peut produire

La puissance nécessaire pour faire fonctionner une ampoule LED de 12 V alimentée par un courant de 0.6 A est de  $P = 12 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} = 6 \text{ W}$

Si une LED de 6 W fonctionne pendant 5 heures, elle nécessite une quantité d'énergie de 30 Wh  
 $E = 6 \text{ W} \times 5 \text{ h} = 30 \text{ Wh}$

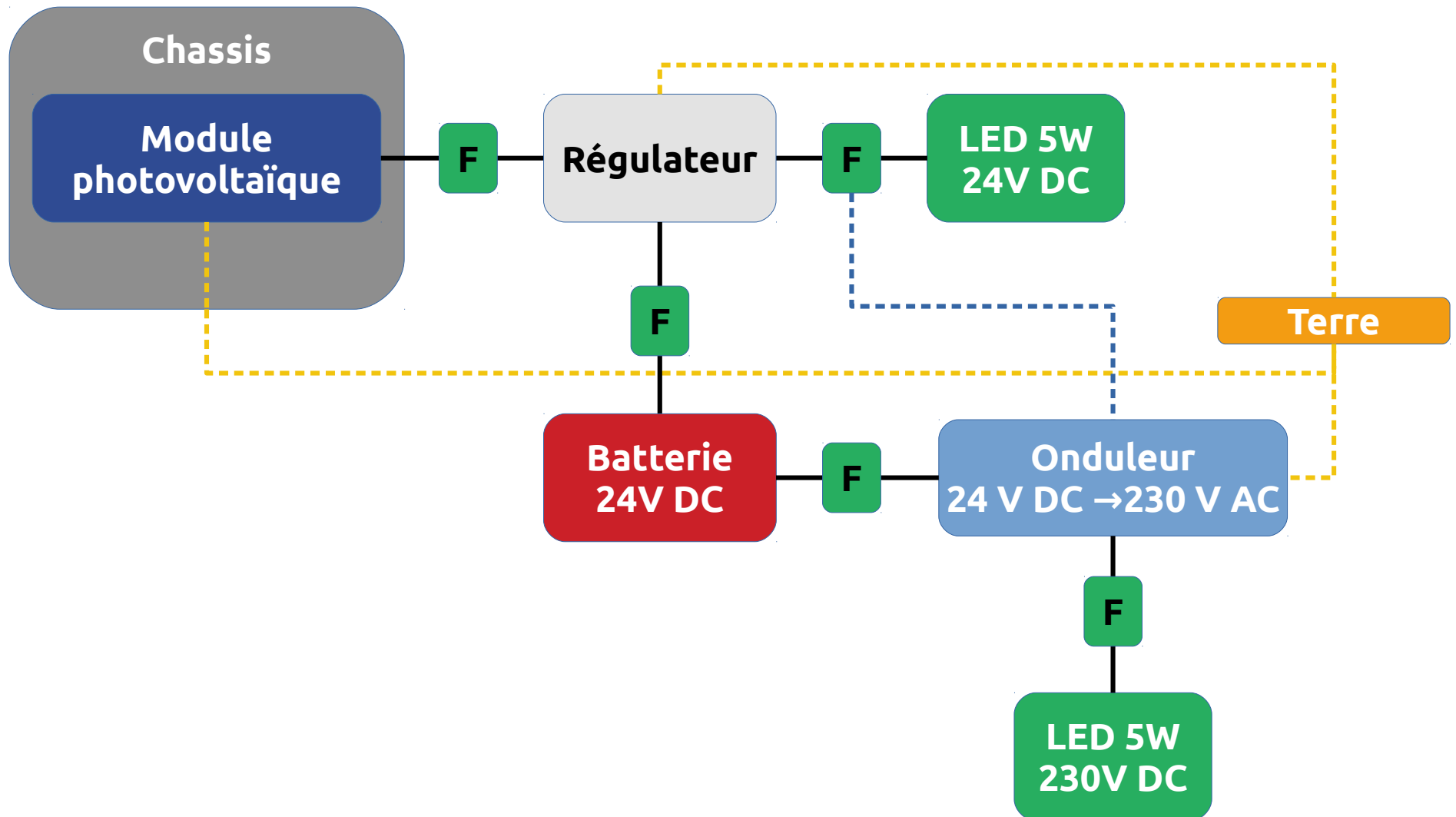
Une batterie de 24 V – 44 Ah  
a une capacité  $24 \text{ V} \times 44 \text{ Ah} = 1056 \text{ Wh}$

# Commencer par estimer votre besoin énergétique électrique journalier

- ✓ Avant tout :
  - supprimer les appareils électriques inutiles et défectueux
  - utiliser le bois ou le solaire thermique pour produire de la chaleur
  - réserver l'électricité aux appareils qui ne peuvent fonctionner autrement et qui vous sont indispensables
- ✓ estimer le besoin énergétique journalier pour dimensionner votre système photovoltaïque en site isolé

Récepteur	Qté		Puissance (W)		Durée (h)		Energie (Wh)
Eclairage LED	1	x	20	x	1	=	20
Netbook	1	x	15	x	3	=	45
Smartphone	1	x	2.5	x	2	=	5
<b>Besoin journalier <math>B_j = 70 \text{ Wh}</math></b>							
<b>Puissance maximale = 37.5 W</b>							

# Schéma de principe



# Partie 2 - Le module photovoltaïque

- ✓ Dimensionner le module PV
- ✓ Inclinaison à 35° ou 60° ?
- ✓ Le module photovoltaïque
- ✓ Caractéristiques d'un module PV
- ✓ Pourquoi choisir des modules de type monocristallin ?

# Dimensionner le module PV

- ✓ Soit  $R_b$  le rendement électrique des batteries
- ✓ Soit  $R_i$  le rendement électrique de l'installation (régulateur, câbles, ...)
- ✓ Soit  $E_j$  le rayonnement moyen quotidien du mois le plus défavorable
- ✓ Soit  $P_c$  la puissance crête requise pour couvrir le besoin
- ✓  $P_c = B_j / (R_b \times R_i \times E_j)$

Choix de la ville :  Prendre en compte un masque :

Inclinaison du plan :  Orientation du plan :  Albédo du sol :

Irradiation sur un plan d'inclinaison 35° et d'orientation 0°. [Comparaisons](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
<a href="#">Directe (IBP)</a>	0.78	1	1.41	1.8	1.9	2.21	1.99	2.15	2.1	1.3	0.89	0.63	1.52
<a href="#">Diffuse (IDP)</a>	0.57	0.91	1.41	2.01	2.44	2.66	2.56	2.21	1.67	1.08	0.66	0.47	1.56
<a href="#">Réfléchie (IRP)</a>	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08	0.06	0.03	0.02	0.01	0.05
<a href="#">Globale (IGP)</a>	1.36	1.93	2.87	3.87	4.43	4.97	4.64	4.44	3.82	2.41	1.57	1.11	3.12

Source : calsol - ines

$$P_c = 70 / (0.75 \times 0.85 \times 1.11) = 100 \text{ Wc}$$

100 Wc couvrent le besoin

Cas le plus défavorable :  
1.11 kWh/m<sup>2</sup>/jour



# Inclinaison à 35° ou 60° ?

- ✓ En site isolé, on s'intéressera à la période la plus défavorable en terme d'ensoleillement afin de couvrir le besoin en énergie
- ✓ A Evreux, **en site isolé**, il est préférable de choisir **une inclinaison à 60°**

Irradiation sur un plan d'inclinaison 35° et d'orientation 0°.

[Comparaisons](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
<a href="#">Directe (IBP)</a>	0.78	1	1.41	1.8	1.9	2.21	1.99	2.15	2.1	1.3	0.89	0.63	1.52
<a href="#">Diffuse (IDP)</a>	0.57	0.91	1.41	2.01	2.44	2.66	2.56	2.21	1.67	1.08	0.66	0.47	1.56
<a href="#">Réfléchie (IRP)</a>	0.02	0.03	0.04	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08	0.06	0.03	0.02	0.01	0.05
<a href="#">Globale (IGP)</a>	1.36	1.93	2.87	3.87	4.43	4.97	4.64	4.44	3.82	2.41	1.57	1.11	3.12

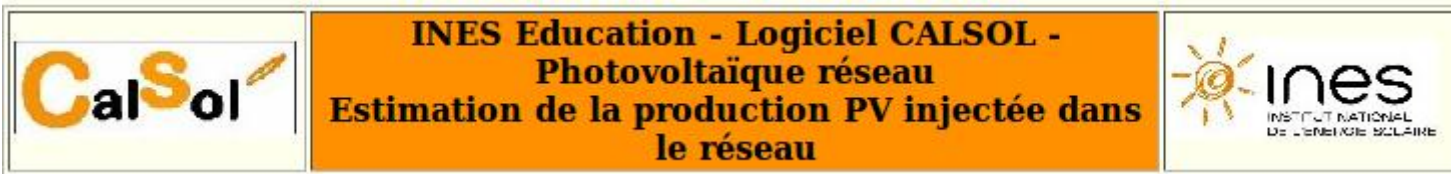
Irradiation sur un plan d'inclinaison 60° et d'orientation 0°.

[Comparaisons](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
<a href="#">Directe (IBP)</a>	0.97	1.15	1.47	1.64	1.55	1.69	1.56	1.86	2.07	1.45	1.08	0.8	1.44
<a href="#">Diffuse (IDP)</a>	0.47	0.75	1.16	1.66	2.01	2.19	2.11	1.82	1.37	0.89	0.54	0.39	1.28
<a href="#">Réfléchie (IRP)</a>	0.05	0.07	0.12	0.18	0.23	0.26	0.24	0.22	0.17	0.09	0.05	0.04	0.14
<a href="#">Globale (IGP)</a>	1.48	1.97	2.76	3.48	3.79	4.14	3.91	3.9	3.61	2.43	1.68	1.22	2.87

Source : calsol - ines

# TP n°1 - Simulation avec CALSOL



Source : INES - CALSOL

# Le module photovoltaïque

- ✓ Chaque cellule photovoltaïque délivre 0.5 à 0.7 V
- ✓ Un module photovoltaïque est composé d'un minimum de 36 cellules reliées en série
- ✓ On trouve principalement des modules de 36, 60 et 72 cellules
- ✓ Pour recharger une batterie dite 12 V, le module photovoltaïque devra délivrer une tension de charge supérieure 14.5 V
- ✓ Le module de 36 cellule délivre  $36 \times 0.5 \text{ V} = 18 \text{ V}$
- ✓ C'est plus que 14.5V, cela permet de compenser les pertes de tension dans le câblage



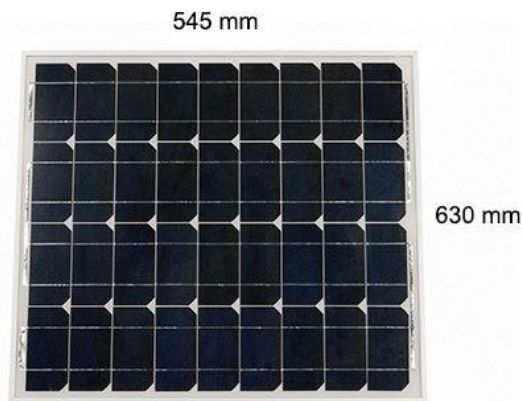
50w



MONO



12v

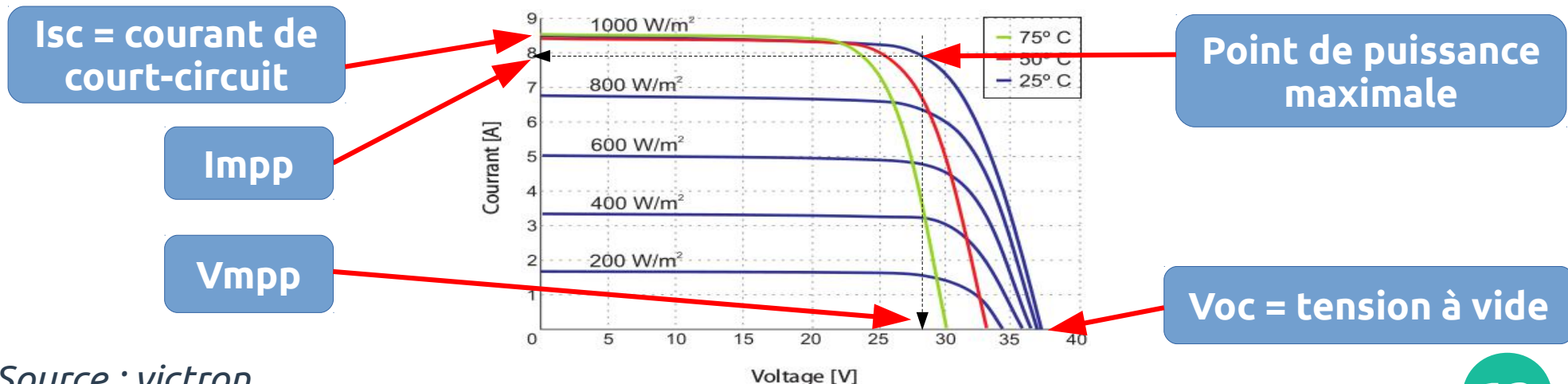


Source : victron

# Caractéristiques d'un module PV

- ✓  $W_c = P_{mpp}$  = puissance crête délivrée par un module dans des conditions optimales d'ensoleillement et de température
- ✓  $V_{mpp}$  = tension au point de puissance maximale
- ✓  $I_{mpp}$  = courant au point de puissance maximale

Référence de l'article	Description	Poids net	Données électriques sous STC (1)				
			Puissance Nominal	Tension de puissance	Courant de puissance	Tension de circuit ouvert	Courant de court-circuit
			$P_{MPP}$	$V_{MPP}$	$I_{MPP}$	$V_{oc}$	$I_{sc}$
		Kg	W	V	A	V	A
SPM040201200	20 W-12 V Mono 440 x 350 x 25 mm séries 4 a	1,9	20	18,5	1,09	22,6	1,19
SPM030301200	30 W-12 V Mono 430 x 545 x 25 mm séries 3a	2,5	30	18	1,67	22,5	2,00
SPM030501200	50 W-12 V Mono 630 x 545 x 25 mm séries 3a	4	50	18	2,78	22,2	3,16



Source : victron

# Pourquoi choisir des modules de type monocristallin ?

- ✓ Ils présentent un rendement plus élevé que celui des modules polycristallins
- ✓ Ils possèdent de meilleures performances lorsque l'ensoleillement est faible
- ✓ Le prix est un peu plus élevé



# TP n°2 - Modules photovoltaïques

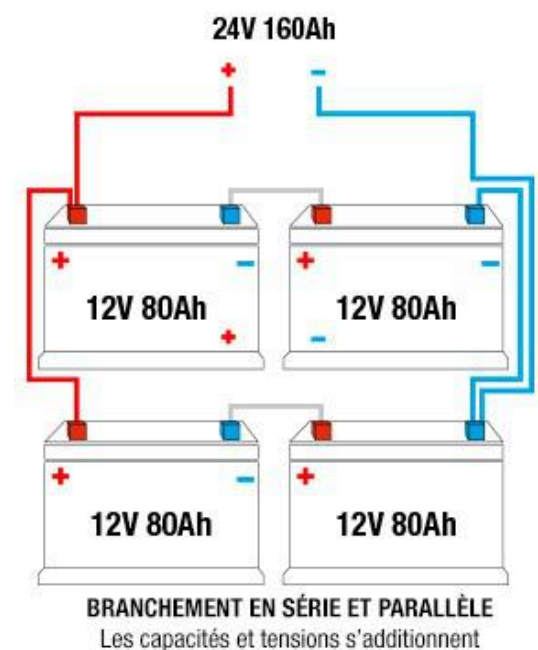
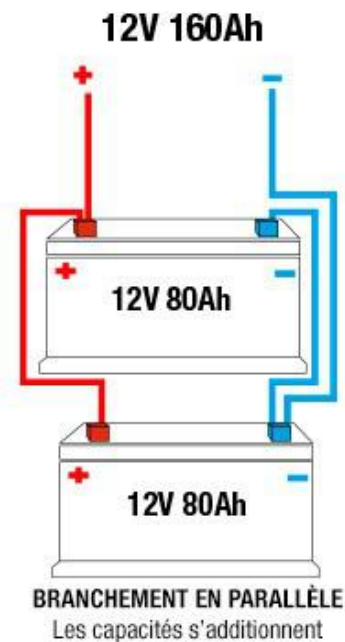
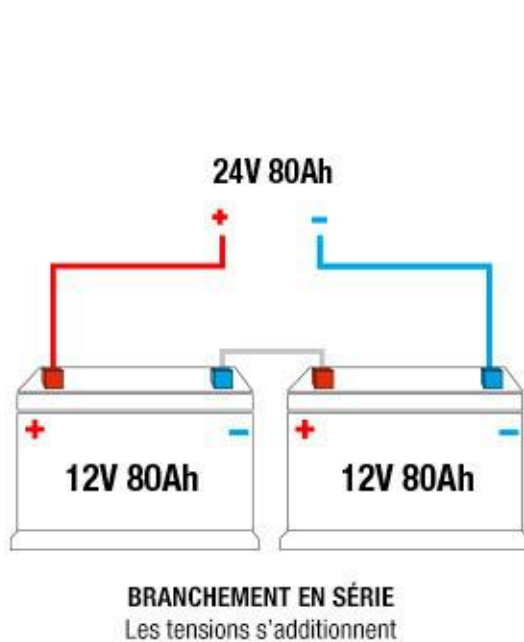


# Partie 3 - Les batteries

- ✓ Batteries, en série ou parallèle ?
- ✓ Tension du parc de batteries
- ✓ Dimensionner la batterie
- ✓ La capacité en Ampère-heure (Ah) d'une batterie
- ✓ Précautions avec les batteries
- ✓ Un coffre à batteries
- ✓ Batterie plomb acide ouverte
- ✓ Batterie AGM
- ✓ Batterie GEL
- ✓ Batterie OPZS
- ✓ Comparatif cyclage
- ✓ Contrôler l'état de charge des batteries
- ✓ Fonctions de charge des batteries

# Batteries, en série ou parallèle ?

- ✓ Installer des batteries ayant les mêmes caractéristiques
- ✓ Installer des batteries neuves ensemble
- ✓ Une batterie usagée fera vieillir prématurément une batterie neuve, parce qu'elle nécessitera un courant de charge trop important pour la batterie neuve



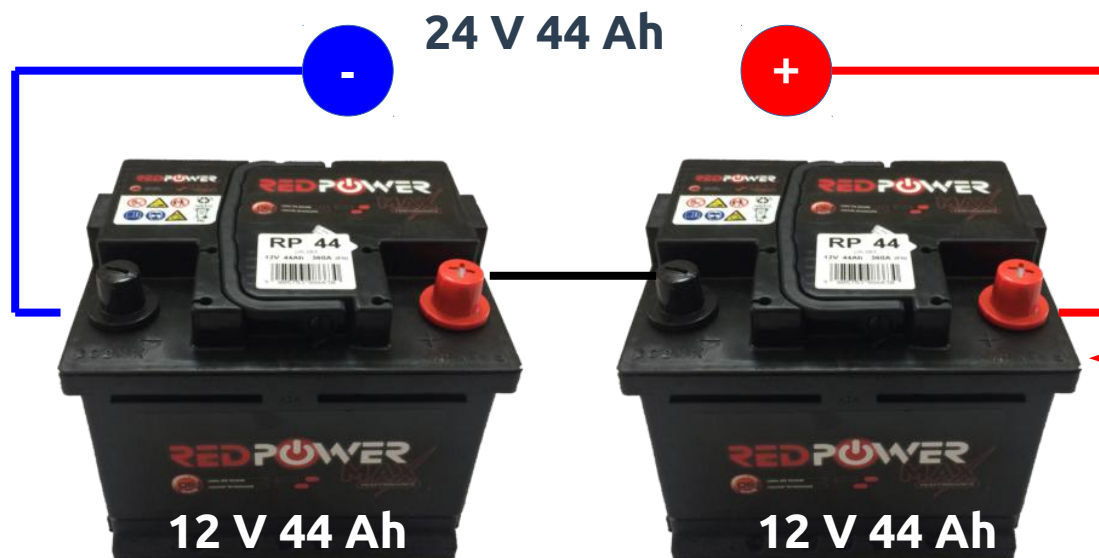
Source : [all-batteries.fr](http://all-batteries.fr)



# Tension du parc de batteries

- ✓ Les pertes sont proportionnelles au carré de l'intensité du courant ( $I^2$ )
- ✓ Plus la tension du parc de batteries augmente, plus l'intensité baisse. Les pertes sont alors moins élevées
- ✓ La tension du parc de batterie est généralement liée à la puissance crête du générateur PV :

0 - 350 Wc	12 V
350 – 1200 Wc	24 V
> 1200 Wc	48 V



Dans l'exemple qui suit, nous disposerons de 2 batteries 12 V – 44 Ah afin d'illustrer le raccordement en série

# Dimensionner la batterie

- ✓ Soit Aut l'autonomie de stockage recherchée : nombre de jours consécutifs sans soleil
- ✓ Soit U la tension du parc de batterie
- ✓ Soit Dd le degré de décharge autorisé, on retiendra généralement 30%
- ✓ Soit Cap la capacité du parc de batterie en Ah
- ✓  $Cap = Bj \times Aut / (Dd * U)$

$Cap = 70 \text{ Wh} \times 3 \text{ j} / (0.3 \times 24 \text{ V}) = 30 \text{ Ah}$   
2 batteries de 30 Ah couvrent le besoin

Nous disposons de 2 batteries  
12 V – 44 Ah, c'est OK ✓



# Dimensionner la batterie

- ✓ Attention, le courant de charge et de décharge des batteries ne doit pas dépasser 15 à 18% de la capacité en Ah des batteries

Le courant de charge/décharge  
à ne pas dépasser est :  
 $44 \text{ Ah} \times 15 / 100 = 6.6 \text{ A}$



Courant de charge associé à la charge  
des modules PV :  
 $2 \times 50 \text{ Wc} / 24 \text{ V} = 4.16 \text{ A}$ , c'est OK

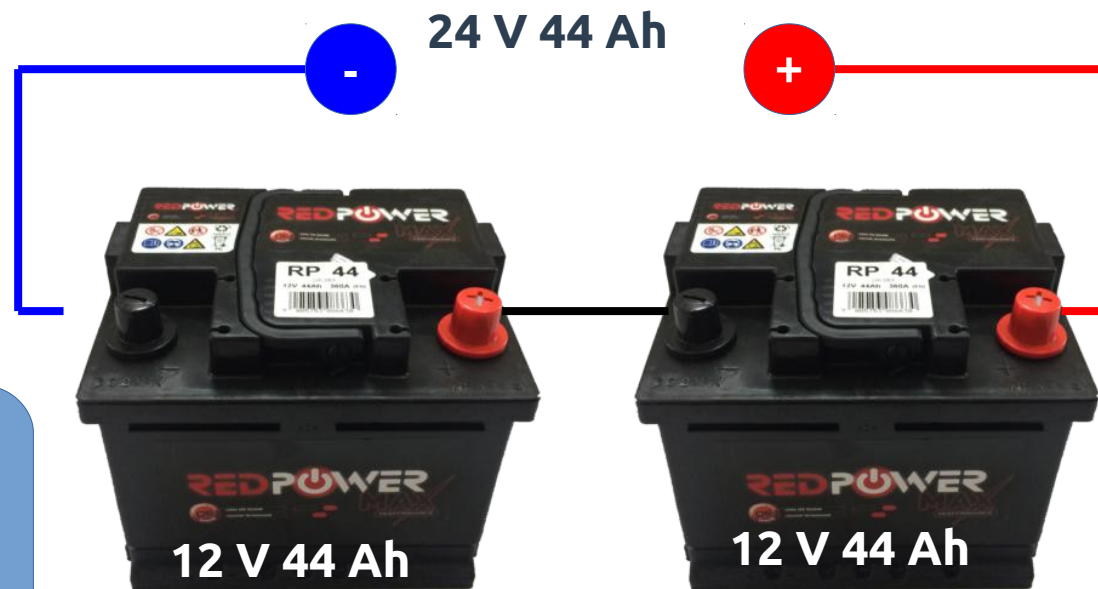


Courant de décharge associé  
à la puissance des récepteurs (diapo n°5) :  
 $37.5 \text{ W} / 24 \text{ V} = 1.56 \text{ A}$ , c'est OK



# La capacité en Ampère-heure (Ah) d'une batterie

- ✓ La capacité d'une batterie peut être indiquée à C10, C/20, C100 ...
- ✓ Exemple : si une batterie est donnée pour une capacité de 44 Ah à C/100 alors sa capacité est de 44 Ah uniquement si elle est déchargée durant 100 h avec un courant de décharge de  $44 / 100 = 0.44$  A
- ✓ La capacité de la batterie diminue dans les cas suivants :
  - un fort courant de charge/décharge ( $>18\%$  de la capacité en Ah)
  - elle est trop déchargée ( $< 50\%$  de sa capacité)
  - elle reste déchargée trop longtemps
  - la température dépasse  $25^{\circ}\text{C}$
  - un défaut de maintenance



Attention, les batteries auto ne sont pas adaptées aux applications solaires. Leurs plaques sont minces, le pourcentage d'auto-décharge est élevé.



Source : banner

# Précautions avec les batteries

- ✓ Libère de l'oxygène et de l'hydrogène, risques d'explosion
- ✓ Ne pas les surcharger, ne pas les laisser déchargées
- ✓ Bien ventiler le local avant d'intervenir
- ✓ Ne pas fumer ou produire des étincelles à proximité
- ✓ Nettoyer les batteries avec un chiffon en coton
- ✓ Ne portez pas de bijoux, pièces métalliques, ...
- ✓ Protéger l'accès aux batteries (enfants, animaux, ...)
- ✓ Placer les batteries dans un coffre avec un couvercle incliné
- ✓ Toujours débrancher la borne négative en premier
- ✓ Déconnecter le système avant de débrancher les câbles
- ✓ Remplacer les câbles ou cosses corrodés
- ✓ Mettre de la graisse après installation
- ✓ Utiliser des EPI (gants, lunettes, ...)
- ✓ Contrôler le niveau de l'électrolyte et ajouter de l'eau distillée si besoin
- ✓ Laver vous vous les mains après manipulation

# Précautions avec les batteries

- ✓ La recharge excessive ou insuffisante sont des facteurs de vieillissement prématurés
- ✓ Le courant de charge ne doit pas dépasser 15 à 18% de la capacité en Ah
- ✓ Ne pas descendre en dessous de 80% de la capacité (12,5 V)
- ✓ Déconnecter la batterie en cas de non utilisation prolongée
- ✓ Débrancher la borne négative en premier
- ✓ Utiliser un chargeur doté d'un mode veille (passage en mode Absorption une fois par semaine) afin de limiter la corrosion des plaques
- ✓ Une décharge profonde est très dommageable pour la batterie
- ✓ Prévoir un chargeur de batterie de qualité, intelligent et adapté aux batteries utilisées
- ✓ Une température de stockage élevée augmente l'auto-décharge
- ✓ Maintenir à une température proche de 20°C
- ✓ L'électrolyte peut être plus concentré en climat froid et plus dilué en climat chaud
- ✓ La durée de vie est généralement donnée pour une température de 20°C. Elle diminue de moitié pour une élévation de 10°C
- ✓ Si le courant de charge dépasse 20% de la capacité, la température augmente de 10°C.
- ✓ Utiliser un régulateur solaire ou un chargeur disposant d'un capteur de température ambiant ainsi qu'une sonde applicable aux batteries

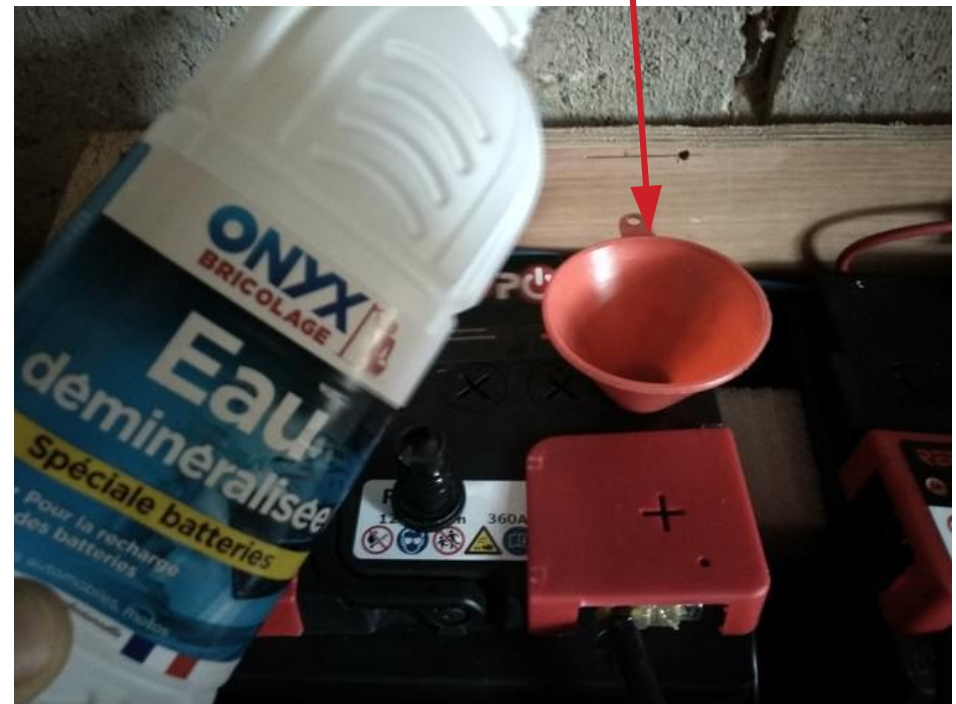
# Un coffre à batteries

Sonde de température

Fusible

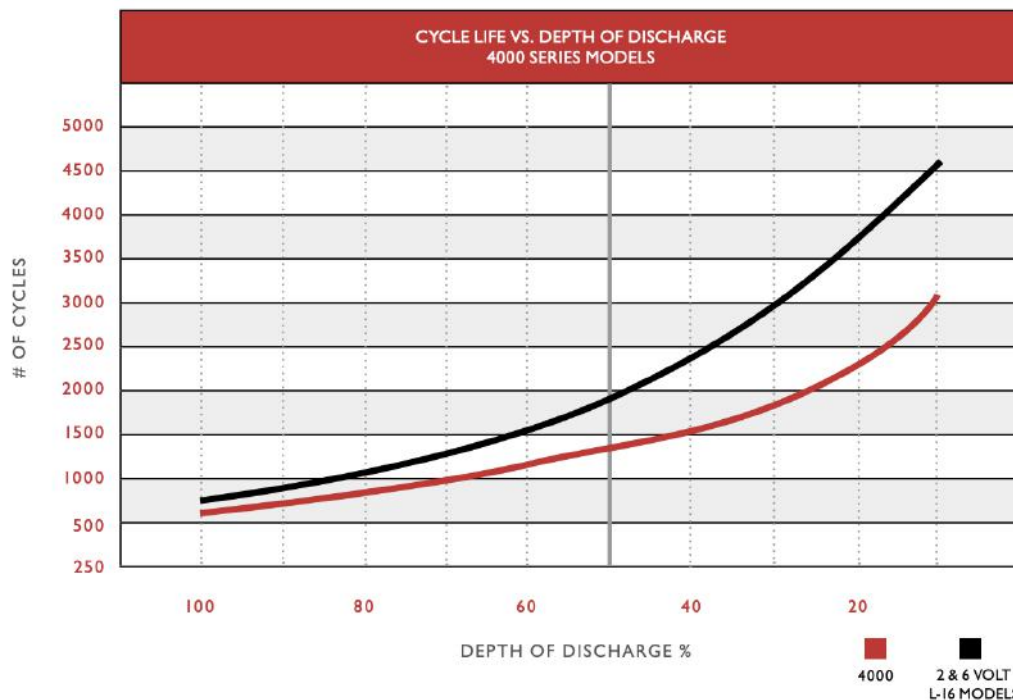
Placer la batterie dans un coffre ventilé, disposant d'un couvercle incliné

Contrôle du niveau d'eau



# Batterie plomb acide ouverte

- ✓ Fiable et économique
- ✓ Résiste mieux aux courants de charge et décharge élevés (perte d'eau)
- ✓ Nécessite un entretien régulier (contrôle et apport en eau déminéralisée)
- ✓ Si possible, ne pas descendre en dessous de 80% de la capacité (12,5 V)

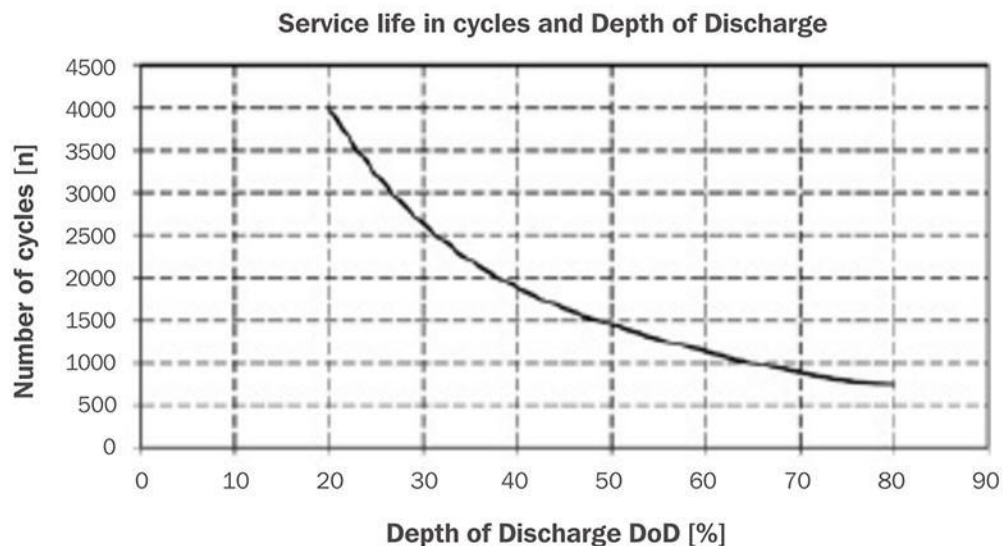


Source : Batteries Rolls



# Batterie AGM

- ✓ 7-10 ans, prix raisonnable, sans entretien.
- ✓ Valve de sécurité, mais gaz non récupérable !
- ✓ Faible auto-décharge
- ✓ Résiste peu aux fortes températures et décharges profondes
- ✓ Récupération possible après une décharge profonde ou charge prolongée (mais pas souhaitable)
- ✓ Plus apte au courant de charge et décharge élevé que les batteries GEL (Ex : démarrage d'un moteur)



Source : Hoppecke

# Batterie GEL

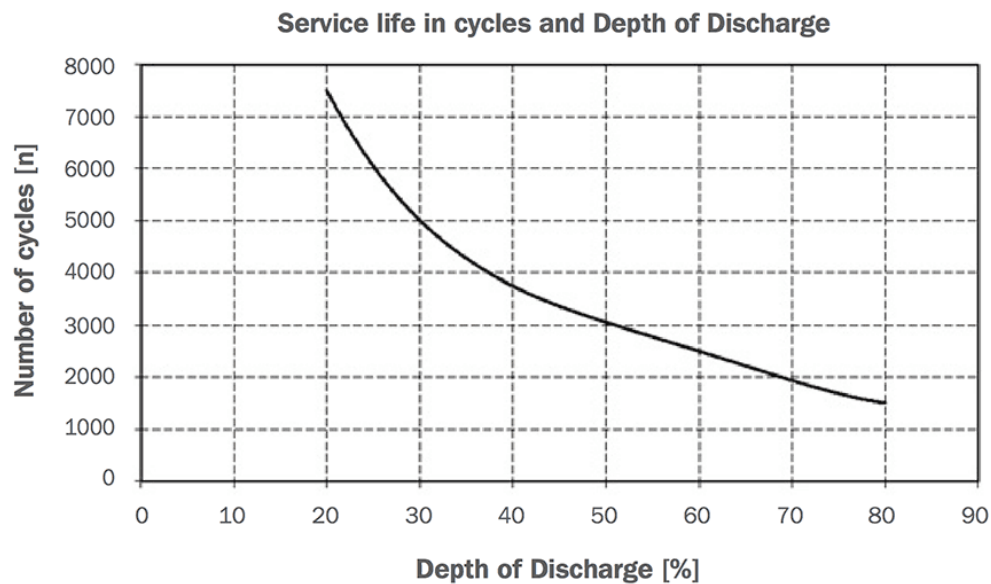
- ✓ Durée de vie élevée 10-12 ans, prix élevé, sans entretien
- ✓ Valve de sécurité, mais gaz non récupérable !
- ✓ Récupération possible après une décharge profonde (mais pas souhaitable)
- ✓ Pas adaptée à un courant de charge et décharge élevé (moins adaptée à l'éolien et au démarrage de moteur électrique)
- ✓ Résiste peu aux fortes températures et décharges profondes
- ✓ Nécessite un algorithme de charge adapté
- ✓ Faible auto-décharge



Source : Victron Energy

# Batterie OPZS

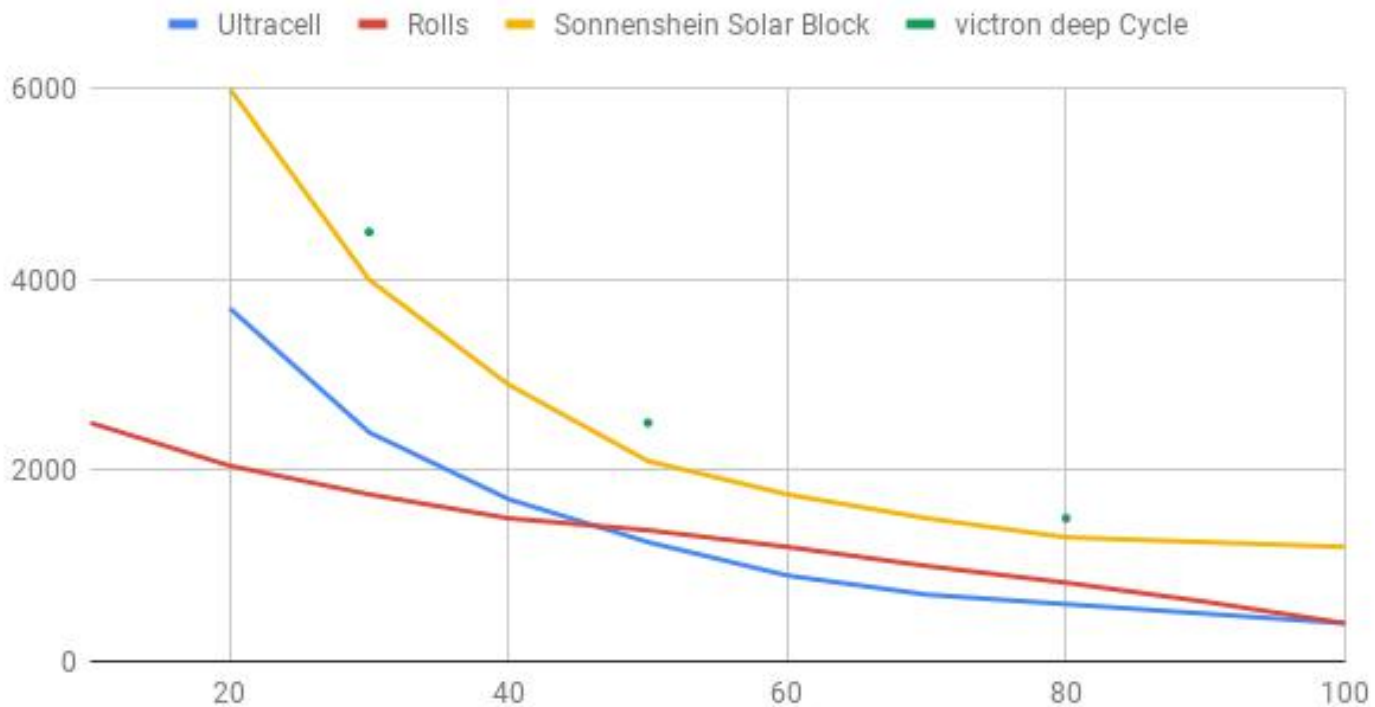
- ✓ A électrolyte liquide
- ✓ Disponible en 12V
- ✓ Entretien minimum
- ✓ Bouchons permettant la recombinaison de gaz (limite la fréquence des remplissages)
- ✓ Nombre de cycles élevé, durée de vie élevée > 10 ans
- ✓ Adaptée solaire et éolien



Source : Hoppecke

# Comparatif cyclage

Ultracell, Rolls, Sonnenshein Solar Block et victron deep Cycle



Source : Julien

# Contrôler l'état de charge des batteries

- ✓ Un voltmètre permet de connaître l'état de charge approximatif du parc de batteries
- ✓ Un contrôleur de batterie est plus précis parce qu'il intègre les courants de charge et de décharge
- ✓ Prévoir un chargeur de batterie intelligent et adapté aux batteries utilisées
- ✓ Un groupe électrogène évite de surdimensionner le parc de batteries et le générateur PV afin d'assurer l'autonomie et la sécurité (ex : conservation de vaccins)

AGM Battery State of Charge	
Level	Voltage
100%	13.00V
90%	12.75V
80%	12.50V
70%	12.30V
60%	12.15V
50%	12.05V
40%	11.95V
30%	11.81V
20%	11.66V
10%	11.51V
0%	10.50V

Tension au repos : 12,6 V



Source : victron

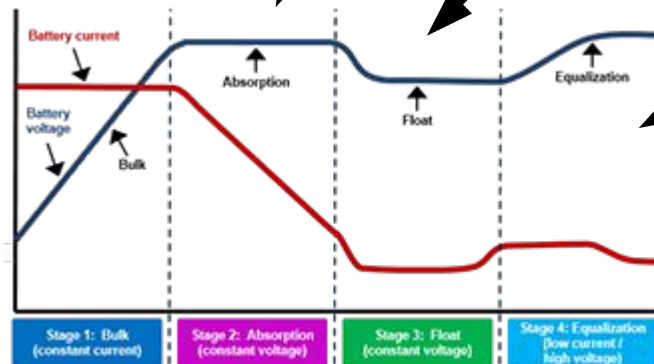
# Fonctions de charge des batteries

Tension de charge : Bulk jusqu'à 80%

Tension de fin de charge : Absorption

Tension d'entretien : Floating

Tension d'égalisation : pour les batteries liquides



Les fonctions et niveaux de charge doivent être adaptés au type de batterie (GEL, AGM, ...) et à la température



# TP n°3 - Batteries



Source : victron

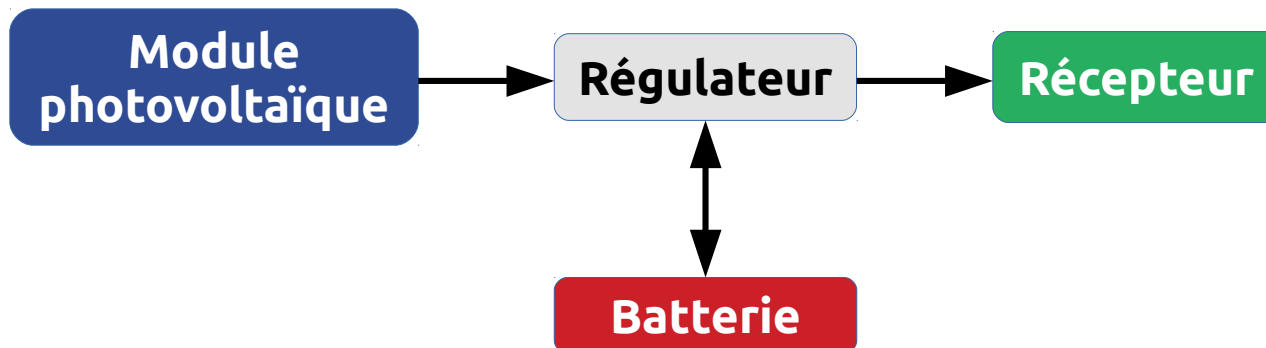
# Partie 4 - Le régulateur

- ✓ Le régulateur solaire
- ✓ Le régulateur MPPT
- ✓ Dimensionner le régulateur solaire
- ✓ Bien choisir son régulateur solaire



# Le régulateur solaire

- ✓ Le régulateur solaire contrôle le niveau d'énergie stockée par les batteries afin d'éviter les surcharges et les décharges trop profondes
- ✓ Protection contre la surcharge
- ✓ Protection contre la décharge profonde
- ✓ Protection contre les courts-circuits
- ✓ Protection thermique (sonde des batteries)
- ✓ Compensation de la température ambiante pour mesurer la charge de la batterie
- ✓ Affichage du niveau de charge
- ✓ Affichage des incidents (surcharge, décharge profonde, court-circuit)



Source : epever

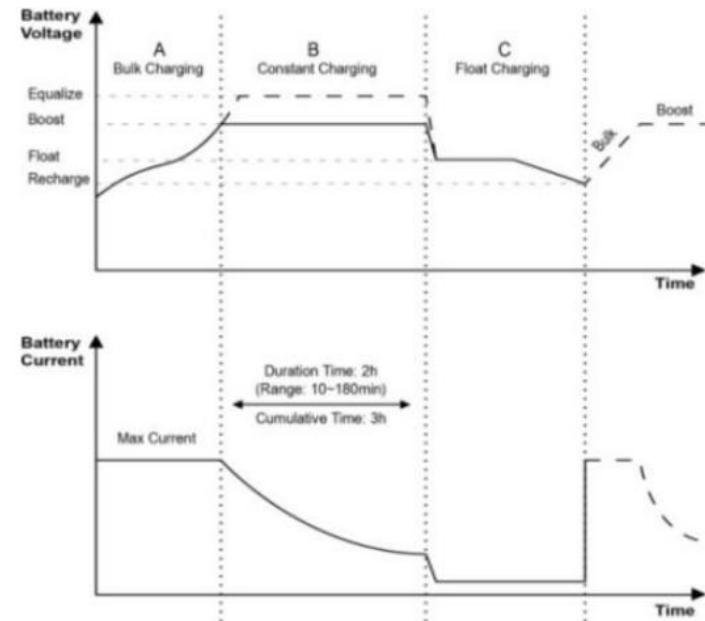
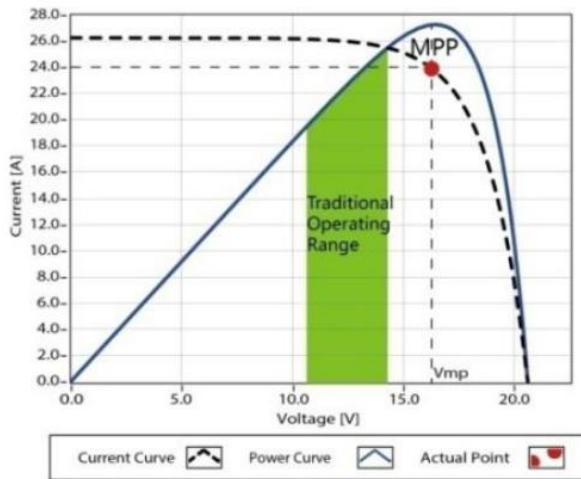
# Le régulateur MPPT

- ✓ Augmente la durée de vie des batteries
- ✓ Augmente la production d'énergie d'environ 30%
- ✓ Convertit la puissance des modules PV pour permettre une restitution proche de 100% aux batteries

$V_{mpp} \times I_{mpp}$

Convertit

$V_{bat} \times I_{bat}$



Source : epever

# Dimensionner le régulateur solaire

- ✓ Pour déterminer la tension du régulateur solaire, il faut ajouter la tension à vide (Voc) des modules et ajouter une marge de 20%.

Description	Poids net	Données électriques sous STC (1)				
		Puissance Nominal	Tension de puissance	Courant de puissance	Tension de circuit ouvert	Courant de court-circuit
		PMPP	VMPP	IMPP	Voc	Isc
	Kg	W	V	A	V	A
20 W-12 V Mono 440 x 350 x 25 mm séries 4 a	1,9	20	18,5	1,09	22,6	1,19
30 W-12 V Mono 430 x 545 x 25 mm séries 3a	2,5	30	18	1,67	22,5	2,00
50 W-12 V Mono 630 x 545 x 25 mm séries 3a	4	50	18	2,78	22,2	3,16



Model	Rated Charge Current	Rated Charge Power	Max. PV Array Power	Max. PV open circuit voltage
Tracer1206AN	10A	130W/12V 260W/24V	195W/12V 390W/24V	46V <sup>①</sup>
Tracer2206AN	20A	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	60V <sup>②</sup>
Tracer1210AN	10A	130W/12V 260W/24V	195W/12V 390W/24V	
Tracer2210AN	20A	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	92V <sup>①</sup> 100V <sup>②</sup>
Tracer3210AN	30A	390W/12V 780W/24V	580W/12V 1170W/24V	
Tracer4210AN	40A	520W/12V 1040W/24V	780W/12V 1560W/24V	

① At 25°C environment temperature

Tension admissible par la régulateur avec 2 modules de 50 Wc en série  
 $2 \times 22.2 \text{ V} \times 1.2 = 53.28 \text{ V}$




# Dimensionner le régulateur solaire

- ✓ Pour déterminer l'intensité du régulateur, il faut diviser la puissance du champ de capteurs par la tension du parc de batterie

Description	Poids net	Données électriques sous STC (1)				
		Puissance Nominal	Tension de puissance	Courant de puissance	Tension de circuit ouvert	Courant de court-circuit
		PMPP	VMPP	IMPP	Voc	Isc
	Kg	W	V	A	V	A
20 W-12 V Mono 440 x 350 x 25 mm séries 4 a	1,9	20	18,5	1,09	22,6	1,19
30 W-12 V Mono 430 x 545 x 25 mm séries 3a	2,5	30	18	1,67	22,5	2,00
50 W-12 V Mono 630 x 545 x 25 mm séries 3a	4	50	18	2,78	22,2	3,16

Source : victron

Courant de charge associé aux modules PV  
 $2 \times 50 \text{ Wc} / 24 \text{ V} = 4.16 \text{ A}$

Model	Rated Charge Current	Rated Charge Power	Max. PV Array Power	Max. PV open circuit voltage
Tracer1206AN	10A	130W/12V 260W/24V	195W/12V 390W/24V	46V <sup>①</sup> 60V <sup>②</sup>
Tracer2206AN	20A	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	92V <sup>①</sup> 100V <sup>②</sup> 
Tracer1210AN	10A	130W/12V 260W/24V	195W/12V 390W/24V	
Tracer2210AN	20A	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	
Tracer3210AN	30A	390W/12V 780W/24V	580W/12V 1170W/24V	
Tracer4210AN	40A	520W/12V 1040W/24V	780W/12V 1560W/24V	

①At 25°C environment temperature

Source : epever

# Bien choisir son régulateur solaire

- ✓ Pour déterminer la tension du régulateur solaire, il faut ajouter la tension à vide ( $V_{oc}$ ) des modules et ajouter une marge de 20%.
- ✓ Pour déterminer l'intensité minimale du régulateur, il faut diviser la puissance du champ de capteurs par la tension du parc de batterie
- ✓ Le régulateur doit être adapté à la tension des batteries (par ex : 12, 24 ou 48V)
- ✓ Les performances d'un régulateur de type MPPT sont d'environ 30% supérieures à la technologie PWM
- ✓ Certains régulateurs solaires sont programmables, c-a-d que par programmation il est possible de brider le courant de charge/décharge.
- ✓ Dans la pratique, la température d'une batterie augmentera de plus de 10°C si le courant de charge est supérieur à 20% de la capacité. C'est pourquoi, il est important de choisir un chargeur avec une sonde de température et algorithme de compensation de température. La tension de charge doit être réduite à mesure que la température augmente.

*Source : epever*

# TP n°4 - Régulateur solaire



Source : epever

# Partie 4 - Câble solaire

- ✓ Calcul de la chute de tension dans un câble électrique cuivre 2 x 4 mm<sup>2</sup>
- ✓ Chute de tension dans un câble électrique cuivre souple
- ✓ Qualité des connexions électriques
- ✓ Mise à la terre
- ✓ Faut-il relier le neutre à la terre ?
- ✓ Fusible batterie

# Calcul de la chute de tension dans un câble électrique cuivre

- ✓ Il est recommandé que la chute de tension soit inférieure à 3% en AC, 1% en DC

## Calcul de la chute de tension pour un câble cuivre à 2 conducteurs entre les modules PV et le régulateur solaire

<b>U</b>	= tension du parc de batterie en V	
<b>P<sub>mpp</sub></b>	= puissance crête en W	
<b>I<sub>mpp</sub></b>	= intensité nominale en A	$I_{mpp} = P_{mpp} / U$
<b>L</b>	= longueur du câble en m	
<b>R</b>	= résistivité linéique en $\Omega.m^{-1}$	
<b>Ct</b>	= chute de tension en V	$Ct = L \times I_{mpp} \times R$

**%Ct = chute de tension en % =  $Ct / U \times 100$**

Section $mm^2$	Courant max A	Résistivité linéique $\Omega.m^{-1}$
1,5	21	0,029
2,5	28	0,018
4	38	0,011
6	49	0,0073
10	67	0,0044
16	89	0,0028
25	118	0,00175
35	145	0,00125



# Calcul de la chute de tension dans un câble électrique cuivre

- ✓  $L$  = longueur du câble en m
- ✓  $U$  = tension du parc de batterie en V
- ✓  $S$  = section du câble en  $m^2$
- ✓  $R_o$  = résistivité du cuivre  $17.10^{-9}$  en  $\Omega.m$  à  $25^\circ C$
- ✓  $R$  = résistance en  $\Omega = R_o \times L / S$
- ✓  $C_p$  = perte de puissance en W =  $R \times I^2$
- ✓  $C_t$  = chute de tension en V =  $R \times I$
- ✓  $\%C_t$  = chute de tension en % =  $C_t / U \times 10$

**Exemple de calcul de la chute de tension pour un câble cuivre de longueur 40 m, section  $4 \text{ mm}^2$ , traversé par un courant de 5 A :**

$$U = 24 \text{ V}$$

$$L = 40 \text{ m}$$

$$S = 4.10^{-6} \text{ m}^2$$

$$R = 17.10^{-9} \times 40 / 4.10^{-6} = 17.10^{-2} \Omega$$

$$C_p = 17.10^{-2} \times 5^2 = 4,25 \text{ W}$$

$$C_t = 17.10^{-2} \times 5 = 0,85 \text{ V}$$

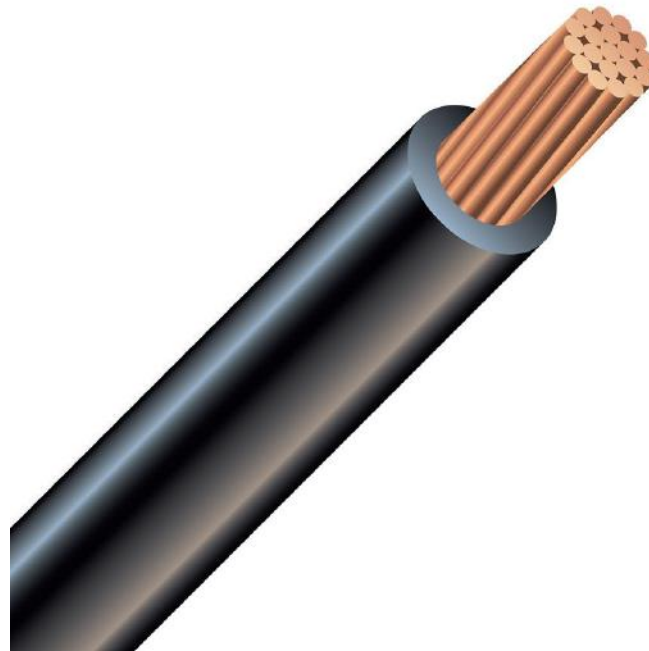
$$\%C_t = 0,85 \text{ V} / 24 \text{ V} \times 100 = 3,5 \%$$

# Chute de tension dans un câble électrique cuivre souple

TABLEAU DONNANT LA SECTION RECOMMANDÉE DE CÂBLE À UTILISER ENTRE LES MODULES PV ET LES BATTERIES POUR MAINTENIR LA CHUTE DE TENSION INFÉRIEURE À 5% (TENSION CONTINUE - CÂBLE CUIVRE SOUPLE - SECTION EN MM<sup>2</sup>)

Puissance crête (Wc)		50	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	960
Tension : 12Vdc	Intensité (A)	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
	Distance (m)	section des câbles cuivre souple en mm <sup>2</sup>											
	4	4	4	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16
	5	4	4	4	4	6	6	10	10	16	16	16	25
	6	4	4	4	6	10	10	16	16	16	16	25	25
	7	4	4	4	6	10	10	16	16	16	16	25	25
	8	4	4	6	10	10	16	16	16	16	25	25	25
	9	4	4	6	10	16	16	16	16	25	25	25	35
	10	4	4	6	10	16	16	16	25	25	25	35	35
	15	4	6	10	16	25	25	25	25	35	35	35	35
	20	4	6	16	25	25	25	25	35	35	35	35	35
Puissance crête (Wc)		100	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600	1920
Tension : 24Vdc	Intensité (A)	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
	Distance (m)	section des câbles cuivre souple en mm <sup>2</sup>											
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	10
	5	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	10	10
	6	4	4	4	4	4	6	6	6	6	10	10	16
	7	4	4	4	4	4	6	6	10	10	10	10	16
	8	4	4	4	4	6	6	10	10	10	16	16	16
	9	4	4	4	4	6	10	10	10	16	16	16	16
	10	4	4	4	6	6	10	10	10	16	16	16	25
	15	4	4	6	6	10	16	16	16	25	25	25	35
	20	4	4	6	10	10	16	25	25	25	25	35	35
Puissance crête (Wc)		200	320	640	960	1280	1600	1920	2340	2760	3180	3600	4440
Tension : 48Vdc	Intensité (A)	3	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
	Distance (m)	section des câbles cuivre souple en mm <sup>2</sup>											
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6
	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6
	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6
	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	10
	9	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	10	10
	10	4	4	4	4	4	4	6	6	6	10	10	20
	15	4	4	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16
	20	4	4	4	6	6	6	10	10	16	16	16	25

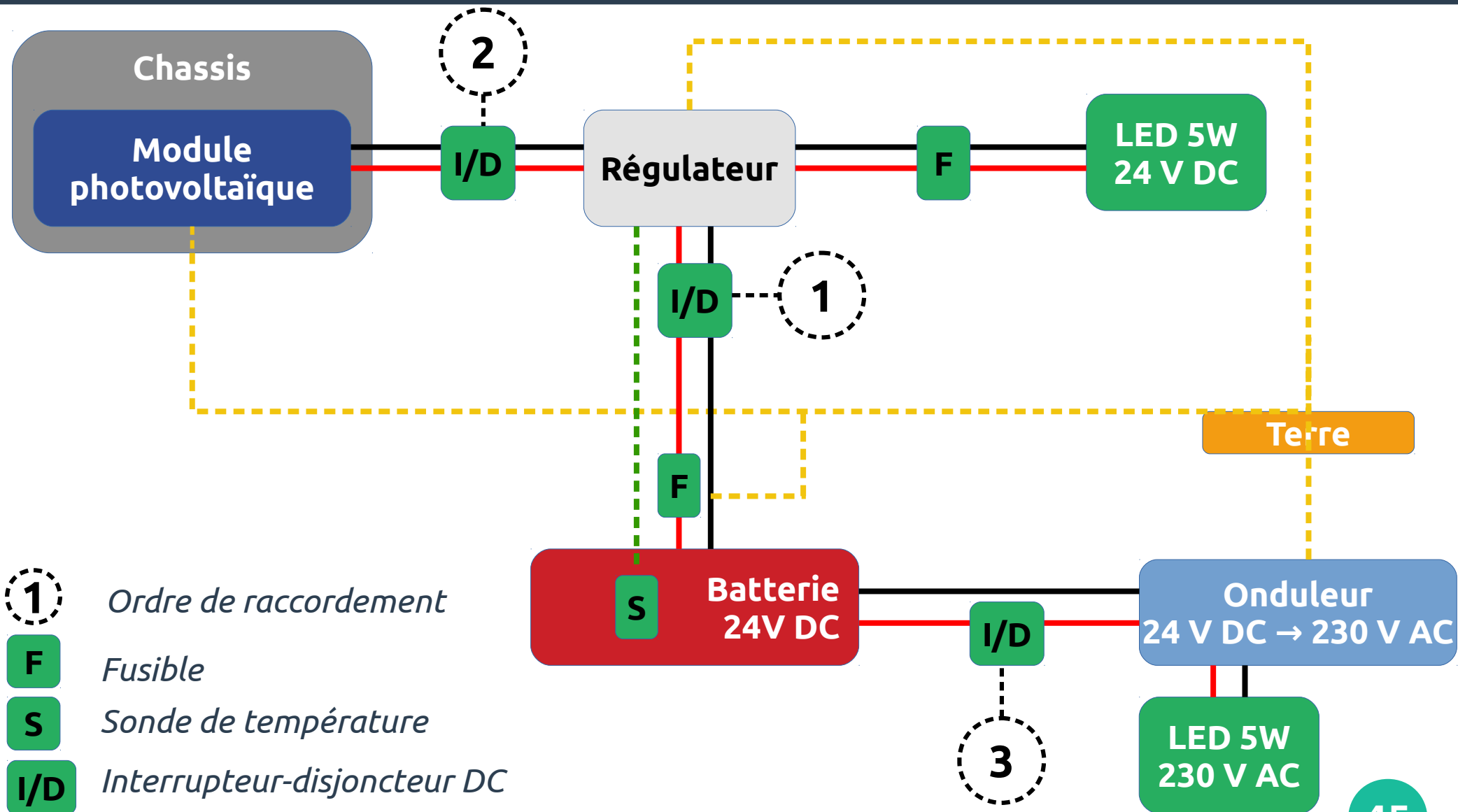
# TP n°4 - Calcul de la chute de tension



# Partie 5 - Raccordement électrique

- ✓ Schéma de principe et ordre de raccordement
- ✓ L'interrupteur-disjoncteur DC
- ✓ La qualité des connexions électriques
- ✓ La mise à la terre (souvent négligée)
- ✓ Un fusible côté batterie
- ✓ L'onduleur

# Schéma de principe et ordre de raccordement



# L'interrupteur-disjoncteur DC

- ✓ Il doit être calibré à une intensité immédiatement supérieure à l'intensité attendue (par exemple l'intensité de court-circuit des modules PV ou encore l'intensité max des consommateurs).
- ✓ Il détecte les défauts (par exemple une mise à la masse ou un court-circuit)
- ✓ Il permet d'assurer le sectionnement manuel sous tension
- ✓ Il gère l'arc électrique (les interrupteurs disjoncteurs AC ne sont pas adaptés)
- ✓ L'intérêt de l'interrupteur-disjoncteur réside aussi dans le fait que les équipements (régulateur, onduleur, ...) sont souvent pourvus de protections internes mais pas toujours accessibles !



Source : ecolodis solaire

# L'interrupteur-disjoncteur DC

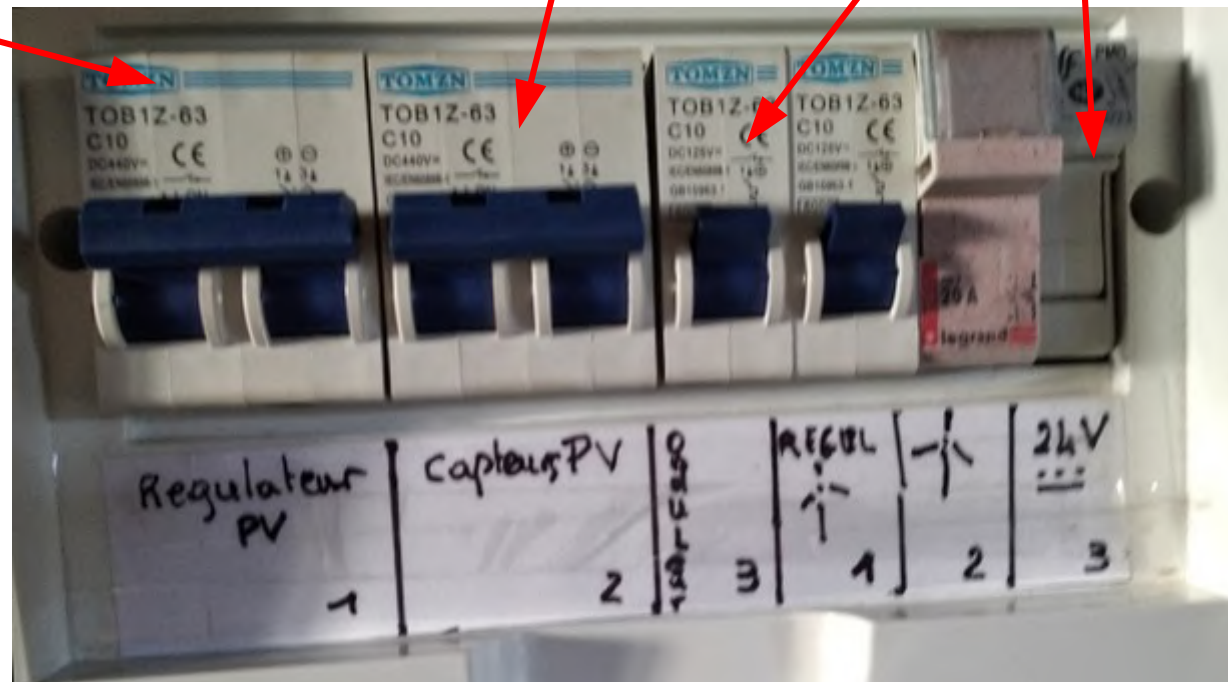
- ✓ Très utiles pour isoler les composants en cas de maintenance ou d'orage
- ✓ Facile l'ordre de raccordement et d'isolement ( ordre inverse du raccordement)

1. la batterie
2. le champ PV
3. les consommateurs

1 - Batterie

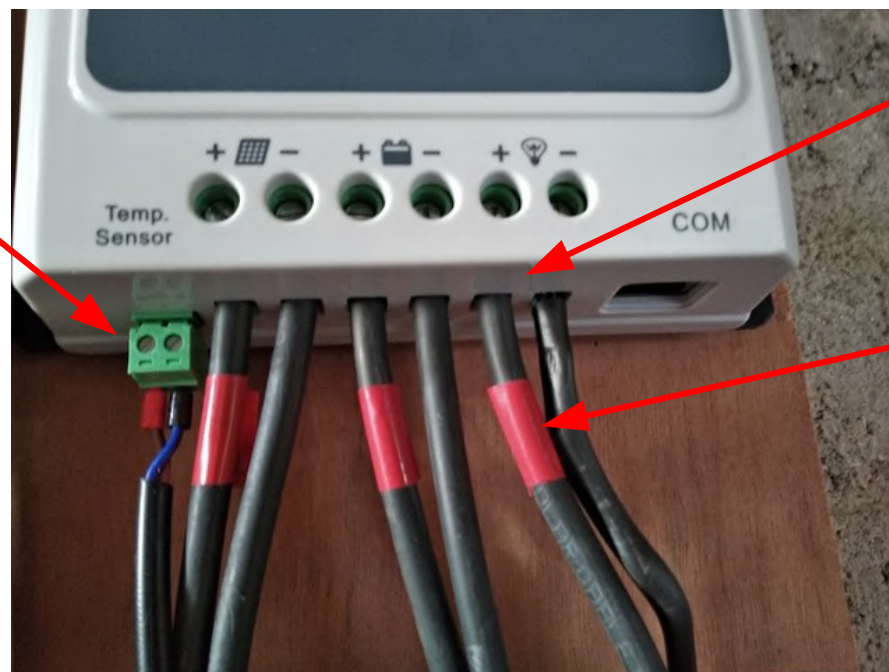
2 - Champ PV

3 - Consommateurs



# La qualité des connexions électriques

- ✓ Raccourcir les câbles électriques afin de limiter les pertes électriques
- ✓ S'assurer de la qualité des connexions électriques.
- ✓ Par exemple, vérifier que la partie dénudée du câble électrique est totalement enfoncée dans le presse-étoupe du régulateur solaire
- ✓ Un câble dénudé et mal enfoncé peut provoquer un arc électrique et être à l'origine d'un incendie
- ✓ Etiqueter les câbles afin d'éviter les inversions de polarités



Sonde de température

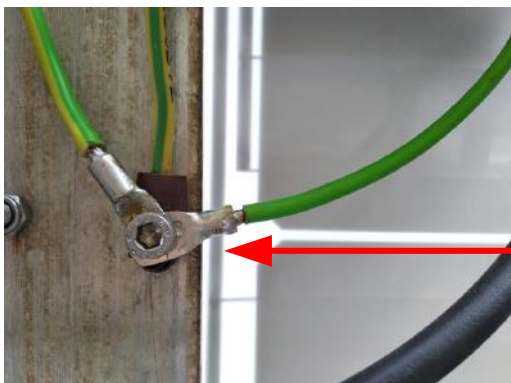
Câble bien enfoncé

Etiquetage



# La mise à la terre (souvent négligée)

- ✓ Les modules sont composés de parties métalliques exposées aux phénomènes électro-atmosphériques.
- ✓ La mise à la terre est indispensable. Elle protège :
  - le système des surtensions dues à la foudre,
  - les personnes contre les décharges statiques ou d'éventuels courants de fuite ou de défaut,
  - les personnes contre les défauts d'isolation des appareils connectés côté CA.
- ✓ Un parasurtenseur relié à la terre protège l'installation des surtensions dues à la foudre.
- ✓ Toutes les terres sont reliées à la même barrette (afin d'éviter une différence de potentiel entre les terres et donc une électrocution potentiellkevia la terre ).

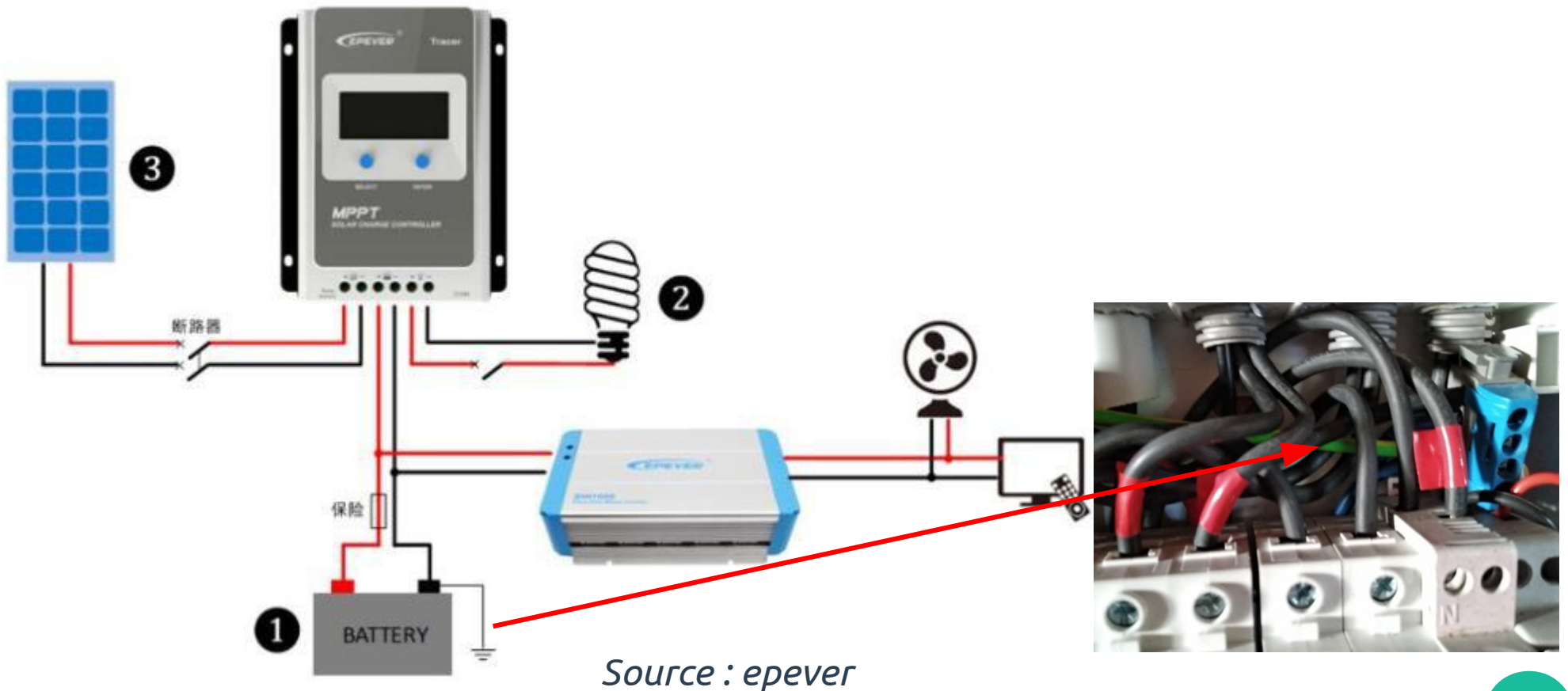


Module PV, châssis, onduleur, régulateur et parties métalliques sont reliés à la terre



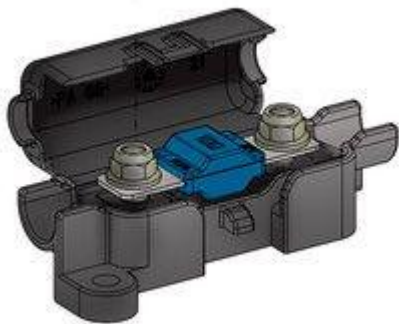
# Faut-il relier le neutre à la terre ?

- ✓ Suivre les recommandations du fabricant du régulateur solaire
- ✓ Ici, le pôle négatif de la batterie est relié à la terre

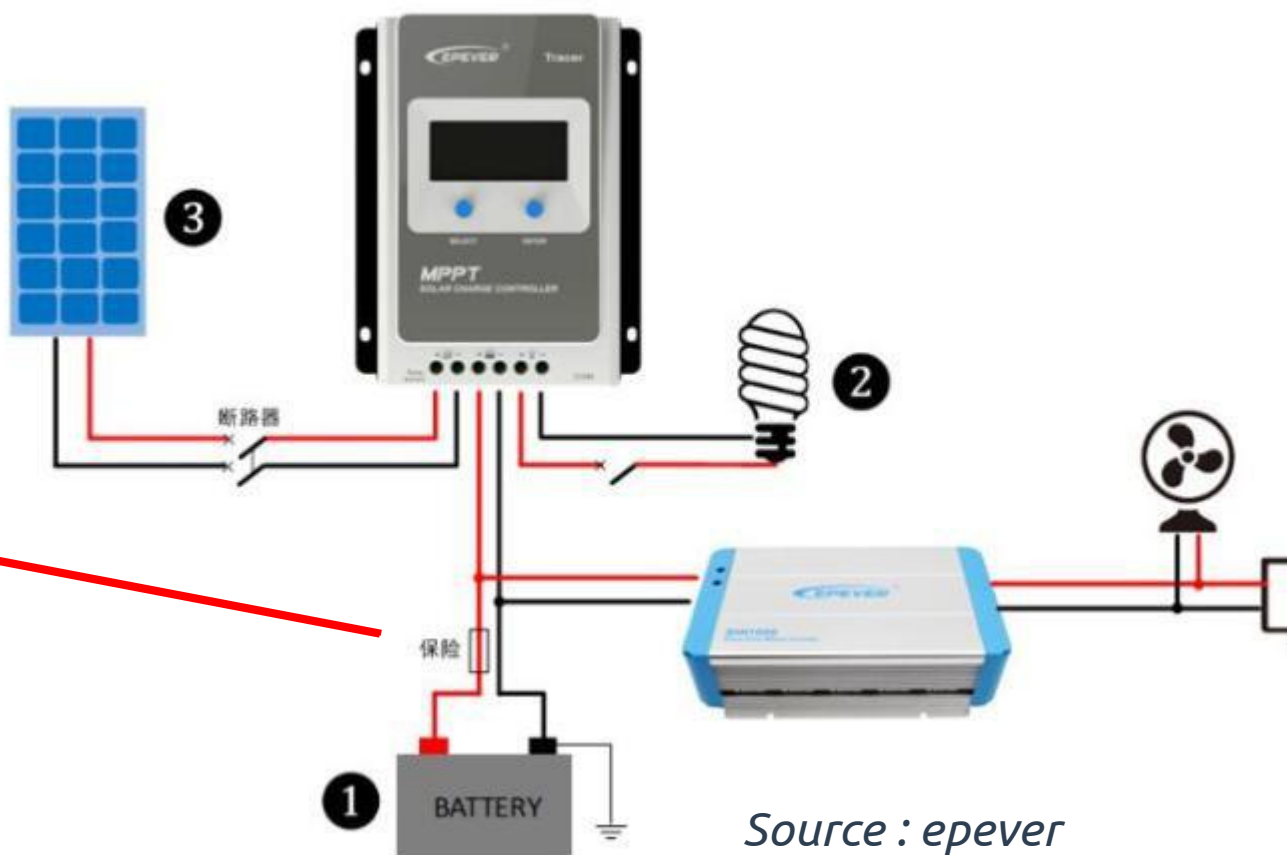


# Un fusible côté batterie

- ✓ Afin de protéger l'installation des court-circuits, placer un fusible sur le pôle positif, et à proximité de la batterie



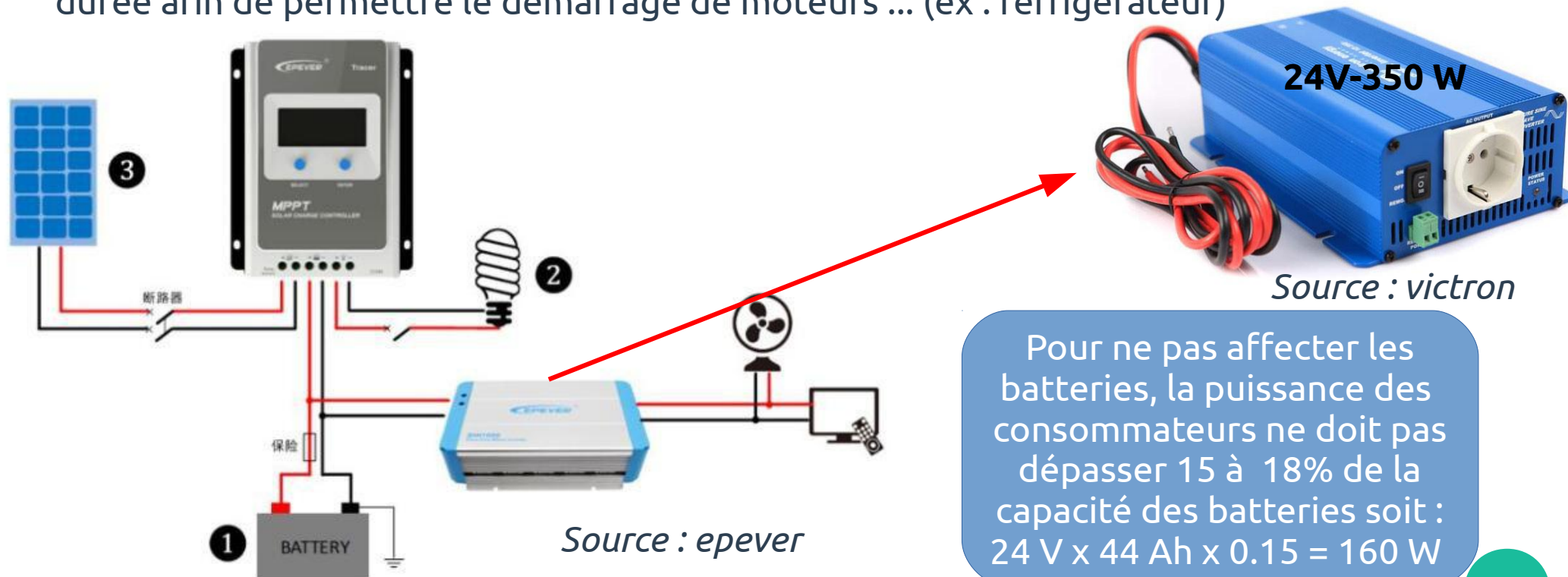
Source : myshop solaire



Source : epever

# L'onduleur

- ✓ Il convertit le courant continu de la batterie (12/24/48 V) en courant alternatif (230 V AC)
- ✓ Sa tension d'entrée doit être adaptée à la tension du parc de batterie (ici 24 V DC)
- ✓ La puissance de l'onduleur doit être adaptée est supérieure à la puissance des consommateurs, observer une marge de sécurité
- ✓ Un bon onduleur est capable de délivrer une puissance double de sa capacité sur une courte durée afin de permettre le démarrage de moteurs ... (ex : réfrigérateur)



Pour ne pas affecter les batteries, la puissance des consommateurs ne doit pas dépasser 15 à 18% de la capacité des batteries soit :  
 $24 \text{ V} \times 44 \text{ Ah} \times 0.15 = 160 \text{ W}$