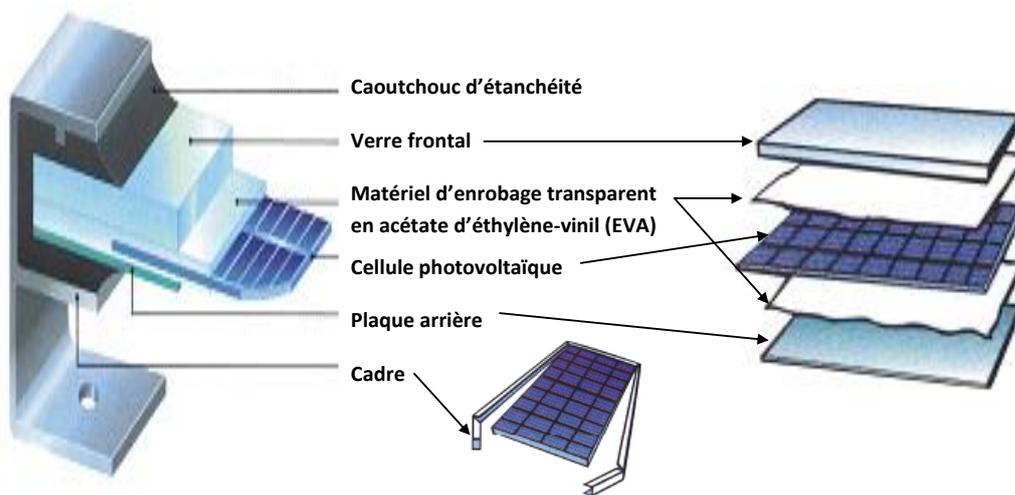
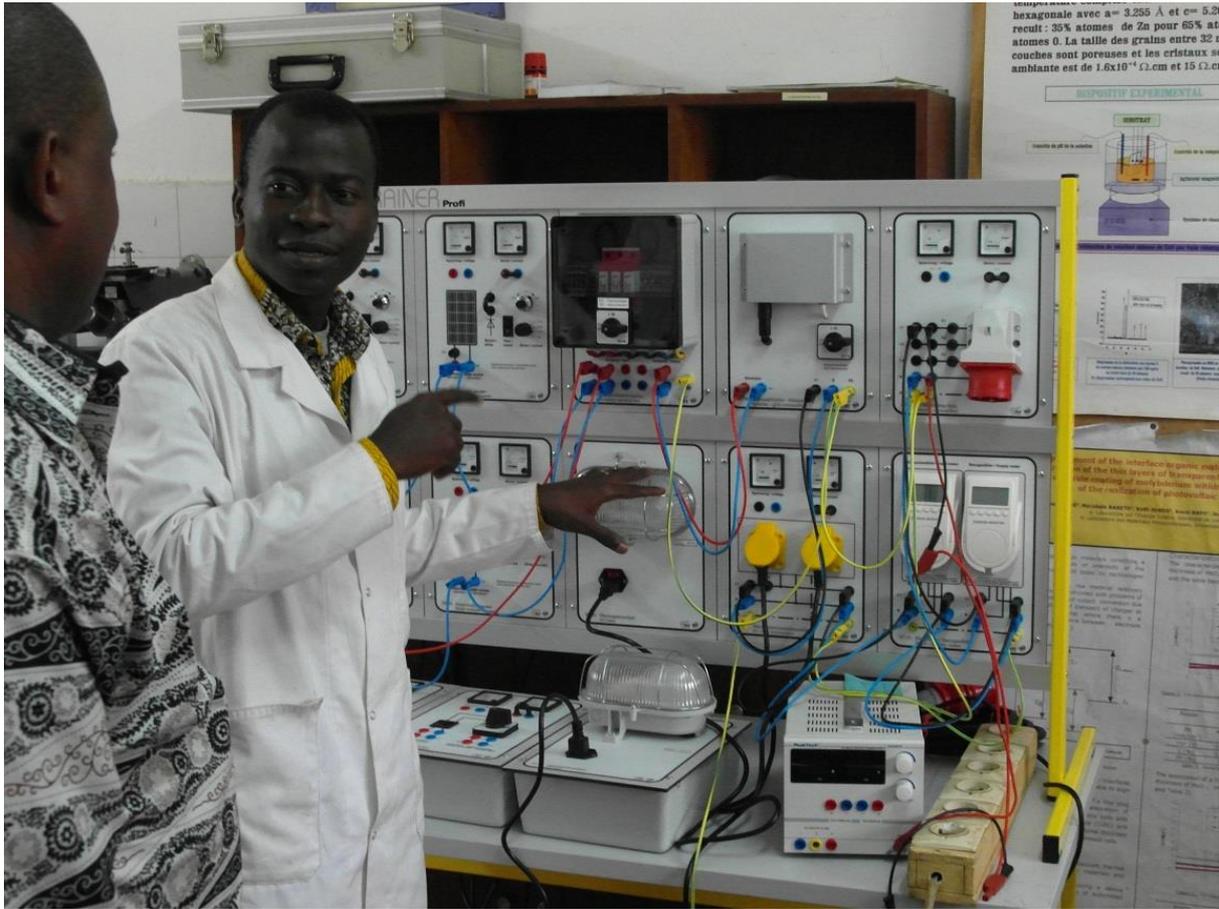


MANUEL DE FORMATION EN ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE AU TOGO





IKS Solartrainer au Laboratoire sur l'Energie Solaire à l'Université de Lomé, août 2014

SOMMAIRE

Module de formation en énergie solaire photovoltaïque	4
1 principe de l'électricité à courant continu.....	8
1.1 CIRCUIT ELECTRIQUE.....	8
1.2 GENERATEURS.....	8
1.3 CONDUCTEURS	8
1.4 RECEPTEURS.....	8
1.5 LES PARAMETRES D'UN CIRCUIT ELECTRIQUE	9
1.6 CIRCUITS ELECTRIQUES	11
2 conversion photovoltaïque	12
2.1 L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE	14
2.2 LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES	15
2.3 BATTERIES D'ACCUMULATEURS AU PLOMB.....	21
2.4 REGULATEUR DE CHARGE.....	27
2.5 GROUPEMENT DES MODULES ET DES BATTERIES.....	29
2.6 L'ONDULEUR OU CONVERTISSEUR.....	34
2.7 QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES	35
3 procédure d'installation des systèmes	37
3.1 MODULE PHOTOVOLTAÏQUE	37
3.2 INSTALLATION DU REGULATEUR DE CHARGE	40
3.3 INSTALLATION DE LA BATTERIE	40
3.4 CHUTES DE TENSION DANS LE SYSTEME	41
3.5 INSTALLATION DE L'ONDULEUR	42
4 mise en œuvre des équipements	43
4.1 PREPARATION DE LA BATTERIE.....	43
4.2 DEROULEMENT DE LA CHARGE PREALABLE.....	44
5 entretien et maintenance.....	46
5.1 ENTRETIEN TRIMESTRIEL.....	46
5.2 ENTRETIEN ANNUEL	49
6 recherche et réparation des pannes.....	52
6.1 SYMPTOMES DE DISFONCTIONNEMENT	52
6.2 DIAGRAMMES DE RECHERCHE DE PANNES	53
6.3 PROCEDURES D'OPERATION DE DEPANNAGE	55
7 annexes.....	62
ANNEXE 1 : FICHE D'ENTRETIEN.....	62
ANNEXE 2 : INSPECTION VISUELLE : FICHE D'ENREGISTREMENT DE DEFAUTS DES MODULES	63
ANNEXE 3 : INSPECTION VISUELLE BATTERIE : FICHE D'INSPECTION	64
ANNEXE 4 : INSPECTION VISUELLE BATTERIE : FICHE D'INSPECTION	65
ANNEXE 5 : CONSIGNE DE LA CHARGE PREALABLE DES BATTERIES	66
ANNEXE 6 : FICHE D'INSTALLATION.....	67
ANNEXE 7 : FICHE DE RECEPTION PROVISoire.....	68
ANNEXE 8 : EXPERIENCES	70
ANNEXE9 : COMPOSANTS DU SOLARTRAINER	71

Module de formation en énergie solaire photovoltaïque

INSTALLATION ET MAINTENANCE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Durée Totale: **120 Heures**

OBJECTIF OPERATIONNEL DE COMPORTEMENT

COMPORTEMENT ATTENDU :

Pour démontrer sa compétence l'apprenant doit :

Assurer l'installation et la maintenance d'un système photovoltaïque

Selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent :

CONDITIONS D'EVALUATION :

- **A partir :**
 - de paramètres d'ensoleillement et autres paramètres techniques ;
 - de consignes de travail.

- **A l'aide :**
 - de fiche d'installation ;
 - de fiche de réception ;
 - de fiche d'inspection technique ;
 - de fiche d'entretien ;
 - de fiche d'enregistrement de défauts des modules ;
 - de cahier des charges ;
 - de l'outillage et matériels appropriés

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE :

- Souci du détail et de la précision ;
- Respect des procédures de travail ;
- Respect des règles d'hygiène, de santé et de sécurité au travail.

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE	DUREE
A/ Exploiter le principe de l'électricité à courant continu	<ul style="list-style-type: none"> • Définition correcte d'un circuit électrique • Identification correcte des éléments d'un circuit électrique : <ul style="list-style-type: none"> - Générateurs ; - Conducteurs ; - Récepteurs ; - Appareils de commande ; - Appareils de protection. • Identification correcte des symboles des éléments d'un circuit électrique • Identification correcte des différents types de circuit électrique : <ul style="list-style-type: none"> - Circuit parallèle ; - Circuit série ; - Circuit mixte. • Définition correcte des paramètres d'un circuit électrique • Identification correcte des symboles des paramètres d'un circuit électrique • Détermination correcte des paramètres d'un circuit électrique : <ul style="list-style-type: none"> - Tension électrique ; - Intensité du courant électrique ; - Résistance électrique ; - Puissance électrique ; - Energie électrique ; - Capacité électrique. • Application correcte de la loi d'Ohm • Application correcte de la loi de Joule • Application correcte de la loi des nœuds 	12H
B/ Exploiter les principes de la conversion photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • Description correcte de l'effet photovoltaïque • Identification correcte des éléments d'un système photovoltaïque : <ul style="list-style-type: none"> - Cellule photovoltaïque - Module photovoltaïque/Panneau solaire - Batterie d'accumulateur - Régulateur de charge - Onduleur ou convertisseur • Description correcte d'un module photovoltaïque • Identification correcte des principaux paramètres d'un module photovoltaïque • Choix judicieux des modules photovoltaïques • Protection correcte des modules photovoltaïques par des diodes by-pass et diodes anti-retour 	48H

	<ul style="list-style-type: none"> • Explication correcte du principe de fonctionnement de la batterie au plomb • Choix approprié des batteries d'accumulateurs au plomb • Exploitation correcte de la batterie au plomb • Explication correcte du fonctionnement du régulateur de charge • Choix approprié du régulateur de charge • Choix approprié de l'onduleur • Groupement approprié des modules • Groupement approprié des batteries • Respect des principes de groupement des batteries 	
C/ Réaliser l'installation d'un système photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • Choix judicieux de l'emplacement du module photovoltaïque/panneau solaire • Orientation adéquate du module photovoltaïque/panneau solaire • Inclinaison judicieuse du module photovoltaïque /panneau solaire • Fixation correcte du module photovoltaïque /panneau solaire • Branchement correct du module photovoltaïque / panneau solaire • Installation correcte du régulateur de charge • Installation correcte de la batterie • Installation correcte de l'onduleur • Préparation correcte de la batterie • Déroulement correct de la charge préalable • Remplissage correct de la fiche de consigne de la charge préalable des batteries • Remplissage correct de la fiche d'installation 	35H
D/ Faire la maintenance préventive d'un système photovoltaïque	<p>Entretien trimestriel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle visuel approprié du champ photovoltaïque • Contrôle visuel approprié de la propreté du local des batteries • Contrôle visuel approprié des batteries • Contrôle approprié du niveau d'électrolyte • Vérification correcte de la densité de l'électrolyte • Entretien correct du régulateur • Entretien correct de l'onduleur • Vérification correcte des câbles électriques • Apport de correctifs appropriés si 	

	<p>nécessaire</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remplissage correct de la fiche d'entretien <p>Entretien annuel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle visuel approprié du champ photovoltaïque • Contrôle approprié des performances électriques • Vérification correcte des fuites d'électrolyte • Contrôle approprié du niveau d'électrolyte • Vérification correcte de la densité de l'électrolyte • Vérification correcte des bornes et des connexions des batteries • Contrôle approprié des bacs • Vérification correcte de l'aération du local des batteries • Vérification correcte de la tension à vide des éléments • Apport de correctifs appropriés si nécessaire • Remplissage correct de la fiche d'entretien 	15H
E/ Faire la maintenance curative d'un système photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • Identification correcte des symptômes de dysfonctionnement • Exploitation correcte des diagrammes de recherche de pannes • Détermination exacte de la panne • Respect des procédures d'opération de dépannage • Test approprié de fonctionnement • Remplissage correct de la fiche de dépannage 	10H

1 PRINCIPE DE L'ELECTRICITE A COURANT CONTINU

1.1 Circuit Electrique

Un circuit électrique est composé de générateur(s) et de récepteurs reliés entre eux par des conducteurs. Par convention, le courant circule du pôle positif vers le pôle négatif.

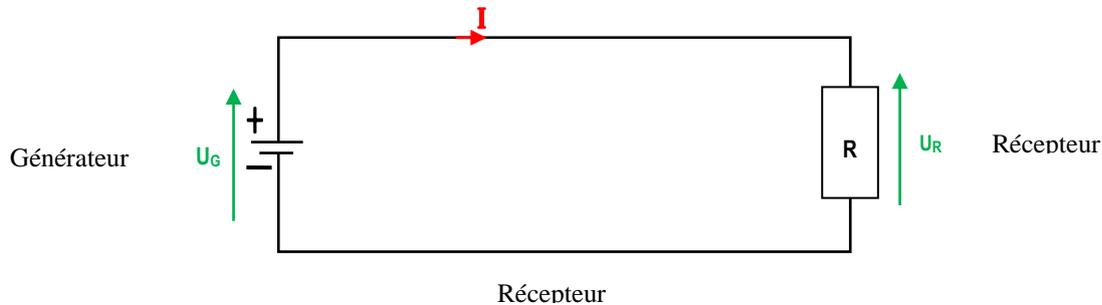


Figure 1-1 : Circuit électrique de base.

Par convention, les signes sont établis selon la règle suivante :

- $U_G > 0$
- $U_R > 0$
- $I > 0$

1.2 Générateurs

Les générateurs sont des appareils qui transforment de l'énergie sous une forme donnée en énergie électrique.

Exemples : Panneau solaire : transforme l'énergie solaire en énergie électrique.
Générateur tournante (groupe électrogène, groupe hydraulique, turbine à vapeur, éolienne) : transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
Batterie : transforme l'énergie chimique en énergie électrique.

1.3 Conducteurs

Les conducteurs sont des matériaux qui permettent le passage du courant électrique. Ces conducteurs relient les générateurs, les récepteurs et autre appareils entre eux.

Exemple : Câble électrique

1.4 Récepteurs

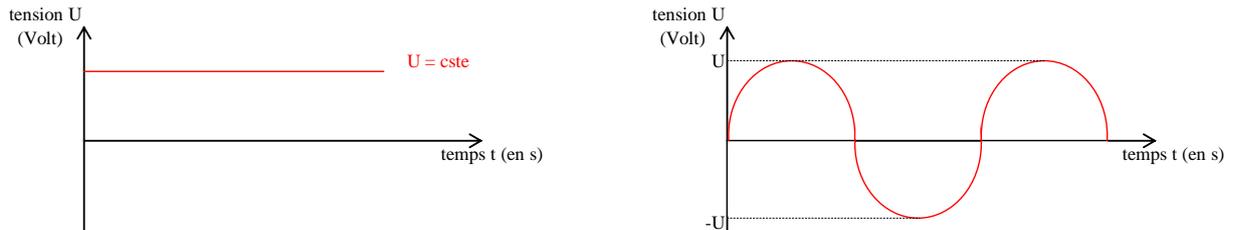
Les récepteurs sont des appareils ou machines qui consomment de l'énergie électrique avec ou sans dissipation de chaleur.

Exemples : Lampes, radios, téléviseurs, moteurs, ordinateurs, réfrigérateurs

1.5 Les paramètres d'un circuit électrique

1.5.1 Tension électrique

Pour que l'électricité circule à travers les conducteurs (câbles) du générateur aux récepteurs, il faut qu'il existe une différence de niveau (potentiel) aux bornes du générateur. Cette différence de niveau est appelée tension électrique. Le symbole de la tension est U, l'unité de mesure est le volt V. On mesure la tension électrique avec le voltmètre. Quand la tension électrique U aux bornes d'un générateur est constante, on dit que ce générateur délivre du courant continu. Quand la tension est changeante (variable) on dit que la tension est alternative.



Figures 1-2 et 1-3 : Evolution de la tension en fonction du temps (tension constante et alternative).

Le courant continu peut être transformé en courant alternatif. Pour cela on utilise un appareil appelé onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif. Cet appareil est donc alimenté à son entrée par du courant continu. On obtient à sa sortie du courant alternatif qui permet d'alimenter des récepteurs en courant alternatif.

1.5.2 Intensité de courant électrique

L'intensité du courant électrique est la quantité d'électricité qui circule en un temps donné à travers un conducteur. Le symbole de l'intensité du courant électrique est I, l'unité de mesure est l'ampère A. On mesure l'intensité du courant à l'aide d'un ampèremètre.

1.5.3 Résistance électrique

L'opposition que présente le conducteur au passage du courant électrique est appelée résistance électrique. Son symbole est R et l'unité de mesure est l'ohm (Ω). On mesure la résistance d'un conducteur à l'aide d'un ohmmètre. La résistance d'un conducteur dépend de la nature de ce conducteur **caractérisé par** sa résistivité (ρ), de sa longueur (L) et de sa section (S).

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

avec : R en [Ω]
 ρ en [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
L en [m]
S en [mm^2]

Exemple : Un conducteur en cuivre mesure 10 m de longueur et a une section S de 2,5 mm². Sa résistivité est $\rho = 0,01786 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ à 25°C. La résistance de ce conducteur est :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,01786 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \cdot \frac{10 \text{ m}}{2,5 \text{ mm}^2} = 0,0714 \Omega$$

1.5.4 Puissance électrique

La puissance électrique est le produit de l'intensité de courant et de la tension. Son symbole est P, son unité est le watt (W). Le wattmètre sert à mesurer la puissance.

$$P = U \cdot I$$

avec : P en [W]

U en [V]

I en [A]

Exemple : Si un générateur d'une tension de 12 volts alimente un récepteur qui appelle un courant de 5 ampères, la puissance débitée par le générateur est :

$$P = U \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 60 \text{ W}$$

1.5.5 Energie électrique

L'énergie électrique est le produit de la puissance par le temps. Son symbole est E et son unité est le wattheure [Wh].

$$E = P \cdot t$$

avec : E en [Wh]

P en [W]

t en [h]

1.5.6 Loi d'Ohm

La loi d'Ohm exprime la relation entre la tension électrique, l'intensité de courant et la résistance électrique. Cette loi peut s'exprimer des façons suivantes :

$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

avec : U en [V]

R en [Ω]

I en [A]

Connaissant deux de ces valeurs (R, U ou I), la troisième peut être déduite par l'une des formules indiquées ci-dessus.

Exemples :

$$R = 3 \Omega$$

$$I = 5 \text{ A}$$

$$U = 12 \text{ V}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

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

$$R = 4 \Omega$$

$$U = R \cdot I = 3 \Omega \cdot 5 \text{ A} = 15 \text{ V}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ V}}{3 \text{ A}} = 4 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{4 \Omega} = 6 \text{ A}$$

1.6 Circuits électriques

1.6.1 Circuit parallèle

Les récepteurs sont montés en parallèle ou en dérivation lorsque le courant principal se divise dans ces récepteurs en fonction de leur résistance.

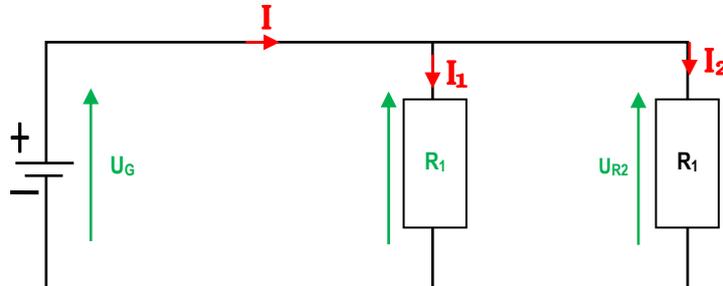


Figure 1-4 : Circuit parallèle.

Quand les récepteurs sont placés en parallèle, alors les caractéristiques du circuit sont les suivantes :

- | | |
|-------------------------|--|
| $I_G = I_1 + I_2$ | La somme des courants arrivant à un nœud ou une dérivation est égale à la somme des courants qui en sortent (loi des nœuds). |
| $U_G = U_{R1} = U_{R2}$ | La tension résultante est égale à la tension aux bornes de chacune des résistances. |
| $1/R_G = 1/R_1 + 1/R_2$ | L'inverse de la résistance équivalente est la somme de valeur inverses des résistances du circuit. |

1.6.2 Circuit série

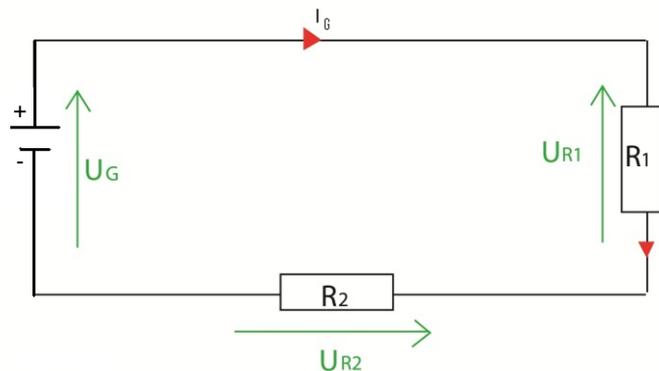


Figure1-5 : Circuit série.

Quand les récepteurs sont placés en série, alors les caractéristiques du circuit sont les suivantes :

- | | |
|-------------------------|---|
| $I_G = I_{R1} = I_{R2}$ | L'intensité est la même dans tout le circuit. La tension résultante est la somme des tensions aux bornes des résistances (loi des mailles). |
| $R_G = R_1 + R_2$ | La somme des résistances en série est égale à la résistance du circuit. |

$$U_G = U_{R1} + U_{R2}$$

La tension résultante est la somme des tensions aux bornes des résistances de circuit.

1.6.3 Circuit mixte

Lorsque les récepteurs sont montés en groupe de série et associés en parallèle ou vice versa on parle d'un circuit mixte où c'est la combinaison des montages série et parallèle dans un même circuit.

La loi des mailles et la loi des nœuds peuvent être applicables à ces circuits.

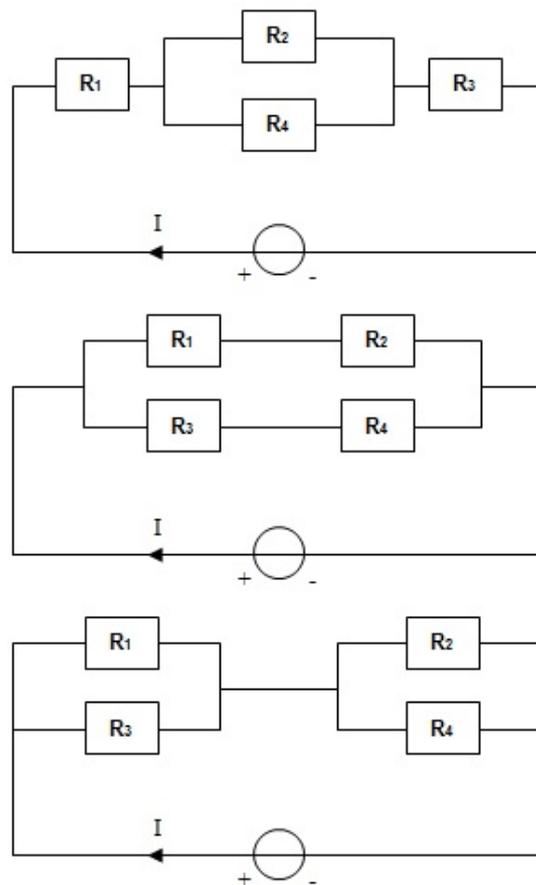


Figure 1-6 : Divers circuitsmixtes.

2 CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

Malgré la grande distance qui les sépare, le soleil lui fournit à la terre une énergie importante. Cette énergie est dispersée puisque la durée d'ensoleillement varie d'une région à une autre de la terre. Cette énergie change aussi selon les saisons et les caractéristiques climatiques du site.

Le rayonnement solaire change en outre suivant les conditions météorologiques du moment (nébulosité, poussière, humidité, etc.) et la position du soleil dans le ciel (heure).

On appelle **ensoleillement ou rayonnement** la puissance du rayonnement solaire reçue par une unité de surface. Il s'exprime en watt par mètre carré [W/m^2].

On appelle **irradiation** l'énergie reçue pendant un intervalle de temps. Elle s'exprime en wattheure par mètre carré par jour [Wh/m²/j].

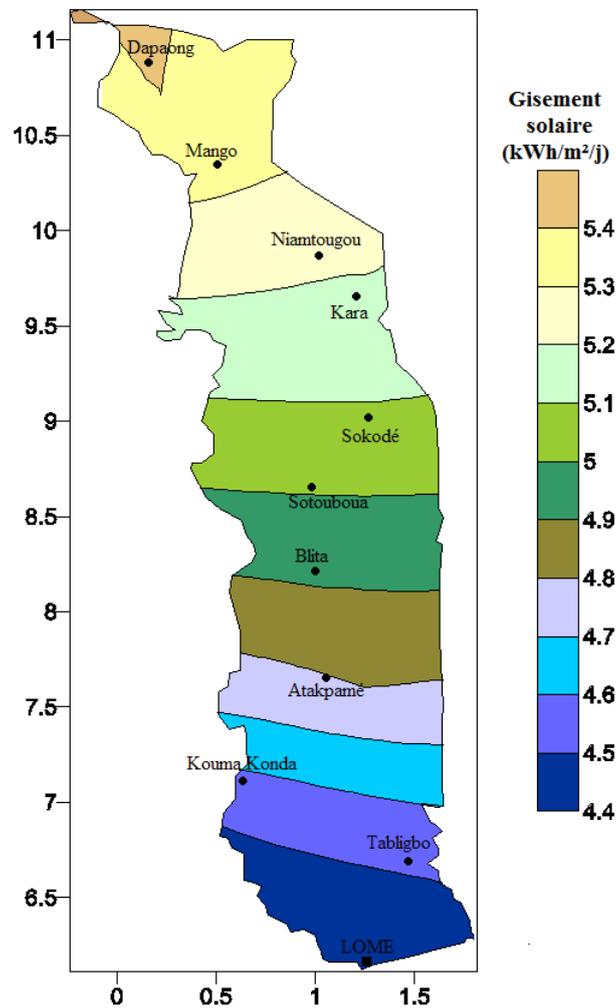


Figure 2-1 : Carte d'ensoleillement moyen annuel [kWh/m²/j] du Togo.
 Source : Thèse de doctorat de Dr. Komi Apélété AMOU, Université de Lomé.

L'énergie électrique débitée par un panneau solaire est fonction de l'ensoleillement.

L'ensoleillement de Lomé (4,4) étant différent de celui de Sokodé (5,4), des panneaux solaires identiques installés dans les conditions (même orientation, même inclinaison) ne débiteront pas une puissance identique pour un même nombre d'heures de fonctionnement.

L'énergie électrique produite par la plaque de Lomé sera inférieure à celle produite par la plaque de Sokodé qui à son tour est inférieure à celle de Dapaong.

Le facteur ensoleillement doit être pris en compte dans le choix du nombre de cellules devant composer un module.

2.1 L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse (photons) des rayons solaires en électricité, par le biais du déplacement de charges électriques dans un matériau semi-conducteur (le silicium).

Lorsque les photons heurtent une surface mince de ce matériau, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique.

Le matériau semi-conducteur comporte deux parties. L'une présente un excès d'électrons. Il est dite **dopée de type n** et l'autre un déficit en électrons, il est dite **dopée de type p** .

Dans la région de contact entre ces deux matériaux, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p . Ainsi la charge du matériau n devient positive et la charge du matériau p devient négative à la région de contact. Car il y a ni un excès ni un déficit des électrons dans cette zone, la frontière entre les deux matériaux devient **isolante** et la diffusion des électrons du matériau n dans le matériau p est arrêtée.

Quand les **photons** du rayonnement solaire sont absorbés dans le matériau p ils transportent des électrons au travers de la zone isolante dans le matériau n . Car ces électrons ne peuvent pas revenir, le matériau n devient un pôle négatif (-) et le matériau p devient un pôle positif (+). Il se crée donc une tension électrique.

Cette tension peut être utilisée avec un circuit électrique qui permet le transport des électrons entre les deux matériaux.

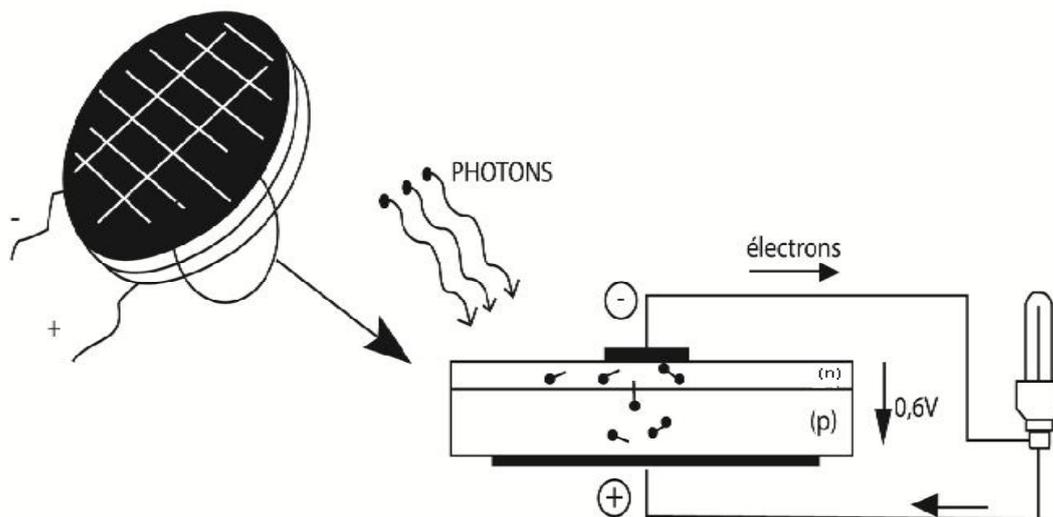


Figure 2-2 : L'effet photovoltaïque.

2.2 Les panneaux photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques (PV) transforment l'énergie solaire en énergie électrique. Il joue donc le rôle de générateur dans le système photovoltaïque. L'énergie produite par un module photovoltaïque dépend du niveau de l'énergie solaire. Ainsi, durant la journée, l'énergie produite va varier en fonction de la variation de l'énergie solaire.

2.2.1 La cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui transforme les rayons lumineux du soleil en tension électrique, mais elle a une puissance unitaire assez faible (de l'ordre de 1 W).



Figure 2-3 : Cellule photovoltaïque.

2.2.2 Les modules photovoltaïques

Afin d'obtenir des modules de puissances élevées, les cellules sont associées en série ou en série /parallèle. Pour cela les connexions des pôles négatifs situées sur les faces avant des cellules sont connectées aux pôles positifs situés sur les faces arrière des cellules suivantes.

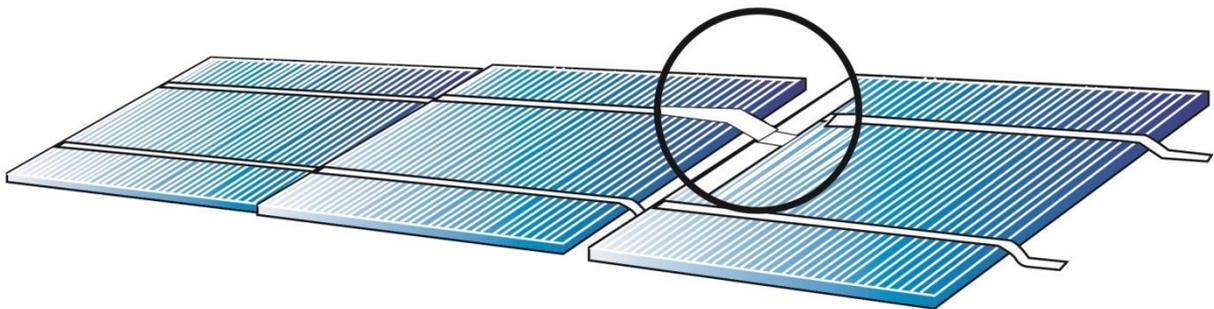


Figure 2-4 : Association des cellules.

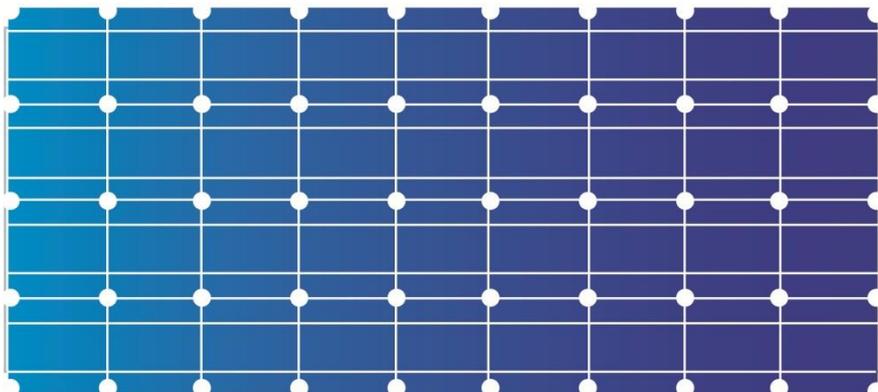


Figure 2-5 : Module photovoltaïque.

2.2.3 Constitution d'un module photovoltaïques

Le module photovoltaïque est obtenu après association des cellules avec les éléments constitutifs ayant les caractéristiques suivantes :

Face avant du module :

- bonne transparence
- résistance à l'impact et à l'abrasion (grêle, jet de pierres, vent de sable, nettoyage au chiffon)
- étanchéité à l'humidité

La face avant est généralement réalisée en verre.

Encapsulant pour l'enrobage des cellules :

- transparence (à l'avant)
- souplesse pour "enrober" les cellules et connexions
- adéquation aux indices optiques du verre et des cellules

Le matériau généralement utilisé est de l'Acétate d'éthylène-vinyl (EVA).

Face arrière du module :

- protection mécanique contre le poinçonnement et les chocs (Risque de mise à nu et de bris des cellules)
- étanchéité à l'humidité
- bonne évacuation de la chaleur

La face arrière est généralement réalisée soit en verre (modules dits "bi-verre") soit en composite tedlar/alu/tedlar (plus fragile).

Boîtier de connexion :

- permet repérage des sorties (+, -, éventuellement point milieu)
- connexion et le passage des câbles de liaison
- logement des diodes de protection
- étanchéité à l'humidité.

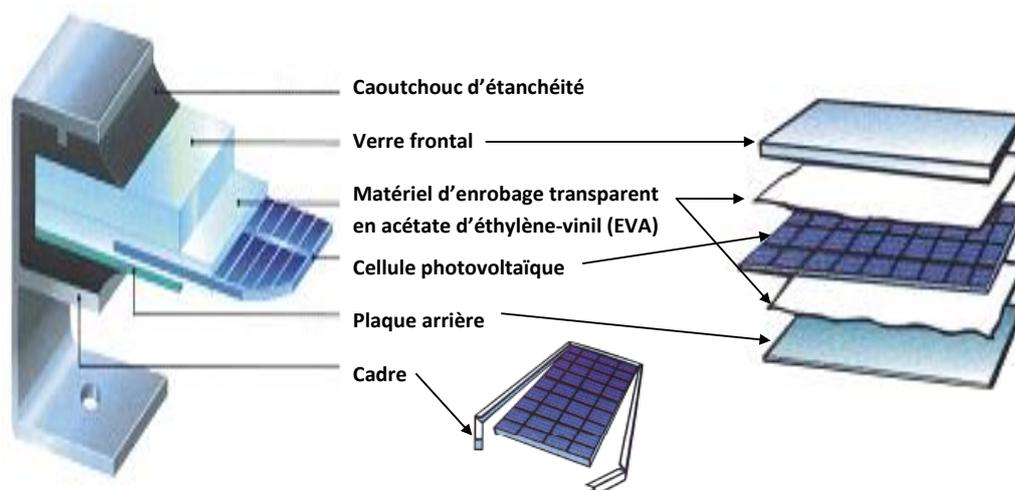


Figure 2-6 : Constitution d'un module photovoltaïque.

Joint périphérique :

- étanchéité à l'humidité entre la face avant et la face arrière

Cadre :

- permet le montage et la fixation mécanique, tout en participant si nécessaire à la rigidité du module
- doit résister à la corrosion (inox, aluminium...) et la visserie doit être choisie afin d'éviter des problèmes de corrosion

Le cadre est généralement en aluminium ou en aluminium anodisé avec une visserie en matériau inoxydable.

2.2.4 Protections des cellules : diodes by-pass et diode anti-retour

Deux types de protection sont généralement indispensables au bon fonctionnement d'un module photovoltaïque :

- La protection par diodes parallèles (ou by-pass) a pour but de protéger une série de cellules dans le cas d'un déséquilibre lié à la défectuosité d'une ou plusieurs des cellules de cette série ou d'un ombrage sur certaines cellules.
- La diode série placée entre le module et la batterie empêche pendant l'obscurité le retour de courant vers le module. Elle est dans ce cas appelée encore diode anti-retour.

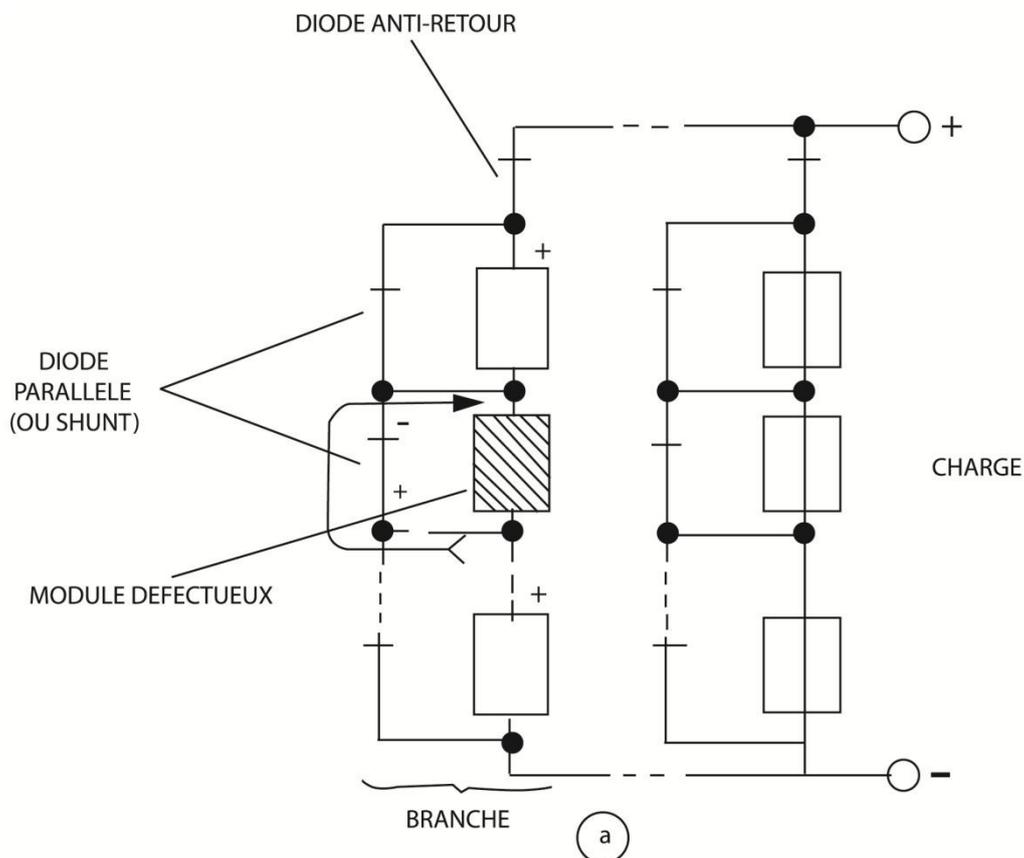


Figure 2-7. : Protections des modules : diodes by-pass et anti-retour.

Comme le montre la figure ci-après, quand une cellule des 36 d'un module est masquée, elle s'échauffe anormalement si le module n'est pas équipé de diodes by-pass.

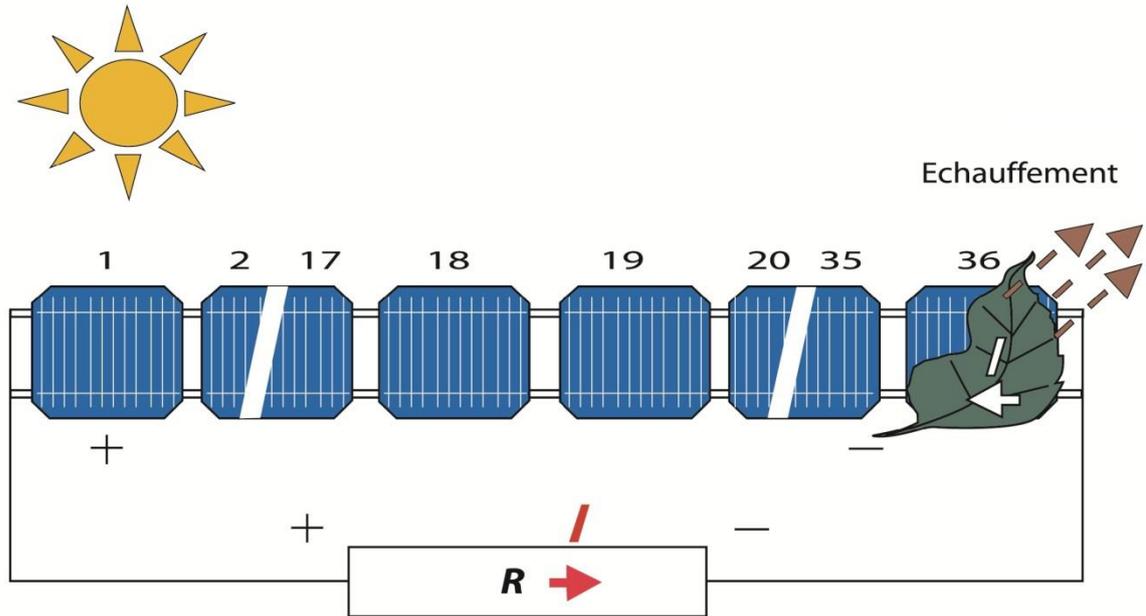


Figure 2-8 : Illustration du comportement d'une cellule masquée dans un module sans diodes by-pass.

Quand le module est équipé de diodes by-pass la cellule masquée est protégée contre l'échauffement comme le montre la figure ci-après :

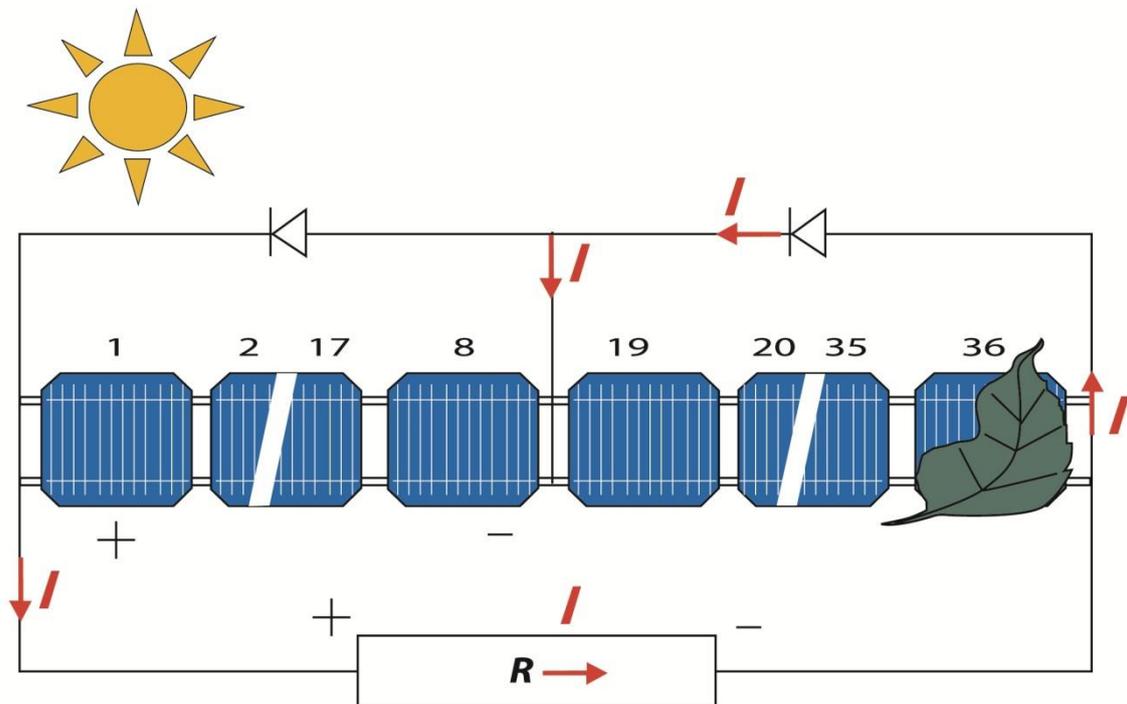


Figure 2-9 : Protection d'une cellule masquée dans un module protégé par des diodes by-pass.

Par commodité, les cellules d'un module sont protégées par deux diodes placées dans la boîte de connexion du module :

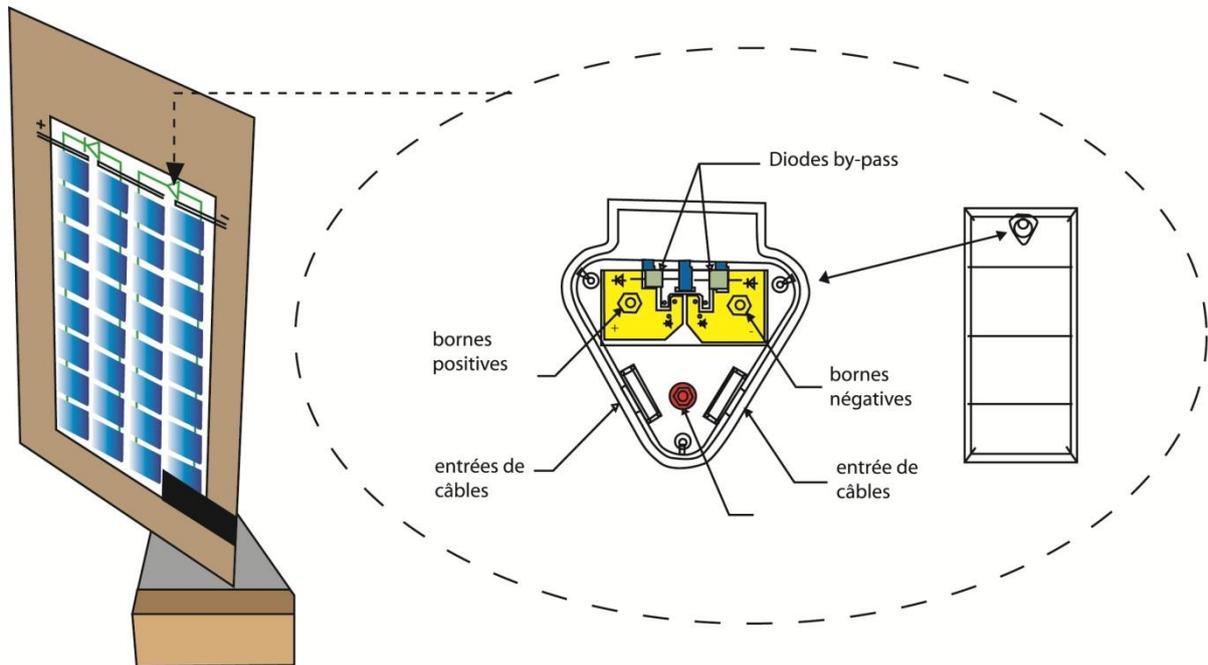


Figure 2-10 : Disposition des diodes by-pass dans un module.

Dans le cas de deux ou plusieurs modules branchés en parallèle, les diodes série empêchent le courant de traverser le module qui devient récepteur (par défaut ou par occultation).

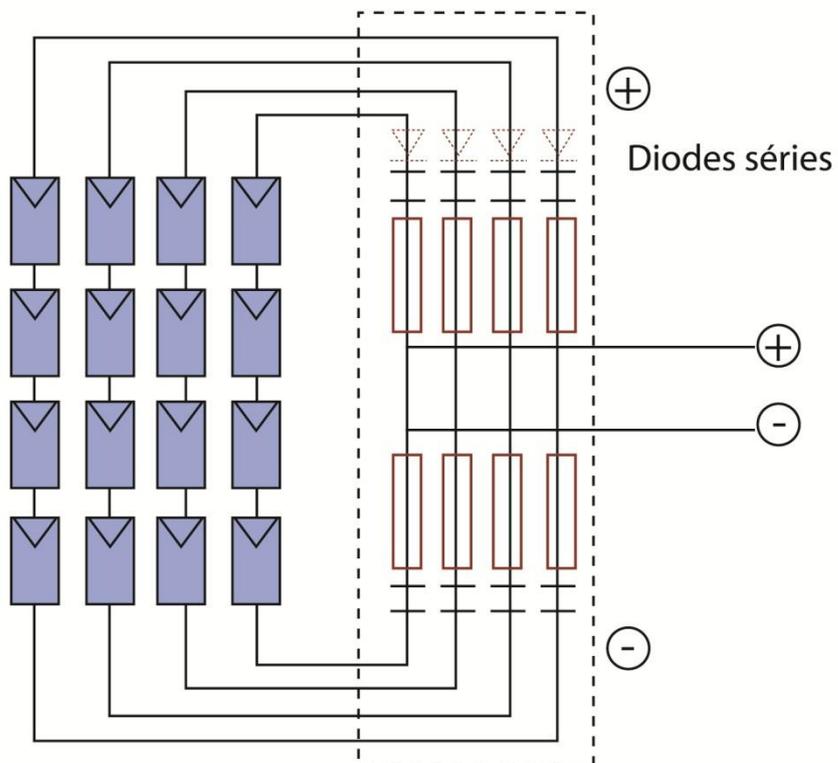


Figure 2-11 : Diodes anti-retour.

2.2.4 Paramètres principaux

La caractéristique fonctionnelle d'un module est illustrée par sa caractéristique courant-tension ci-dessous :

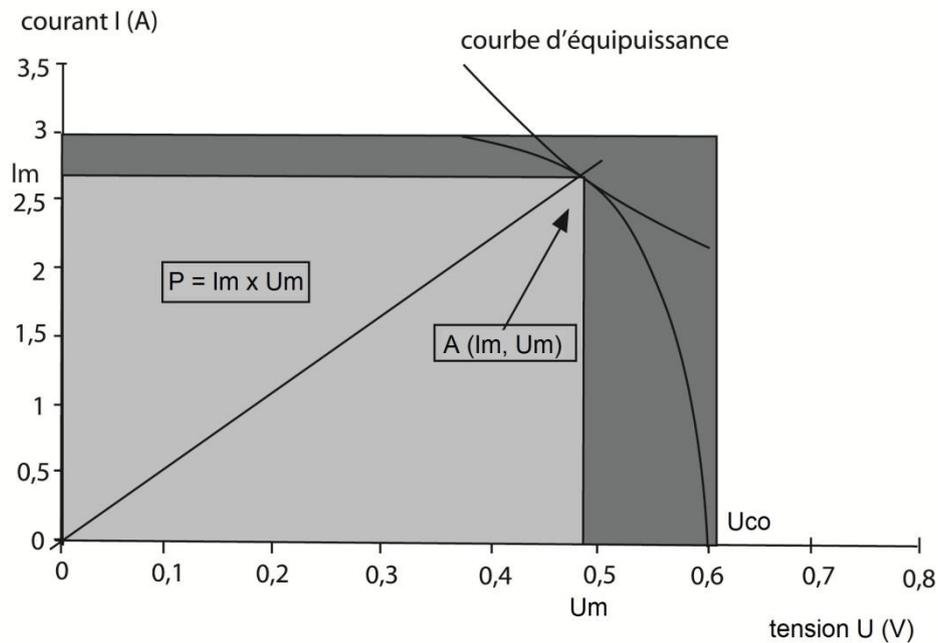


Figure 2-12 : Caractéristique courant-tension d'un module photovoltaïque.

Les principaux paramètres qui caractérisent un module sont :

- le courant de court-circuit : I_{cc}
- la tension de circuit ouvert : U_{co}
- le courant correspondant au point de puissance maximale : I_m
- la tension correspondant au point de puissance maximale U_m
- la puissance maximale/crête $P = I_m \cdot U_m$

La tension qui correspond à la puissance maximale sous un ensoleillement donné U_m représente 75 à 90 % de la tension de circuit ouvert U_{co} . Elle diminue en fonction de la température.

Le courant maximal que peut débiter un module I_m représente 90 à 94 % du courant de court-circuit sous un ensoleillement donné I_{cc} .

Le courant de court-circuit I_{cc} et le courant maximal en charge que peut débiter un module I_m sont presque exclusivement dépendants de l'ensoleillement.

2.3 Batteries d'accumulateurs au plomb

2.3.1 Constitution et paramètres caractéristiques

Quatre éléments sont indispensables pour le fonctionnement d'une batterie au plomb. Il s'agit d'une électrode positive, d'une électrode négative, d'un électrolyte et d'un séparateur :

- L'**électrode négative** est constituée de plomb spongieux (Pb).
- L'**électrode positive** est constituée d'oxyde de plomb (PbO_2).
- L'**électrolyte** est une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4).

L'électrolyte est fabriqué à partir de l'acide sulfurique hautement concentré en le versant dans de l'eau purifiée. La densité nominale de l'électrolyte pour les accumulateurs au plomb est spécifiée selon les applications par le fabricant de batterie et par rapport à une température nominale.

- Le **séparateur** en matière poreuse isolante a les propriétés suivantes :
 - grande résistivité électrique,
 - grande résistance chimique à l'acide sulfurique,
 - bonne porosité aux ions.

Le séparateur a pour but d'éviter un court-circuit interne entre deux électrodes. En effet, pour des raisons d'encombrement et de réduction de la résistance interne, les plaques positives et négatives d'un accumulateur sont très proches les unes des autres ($d \leq 10$ mm).

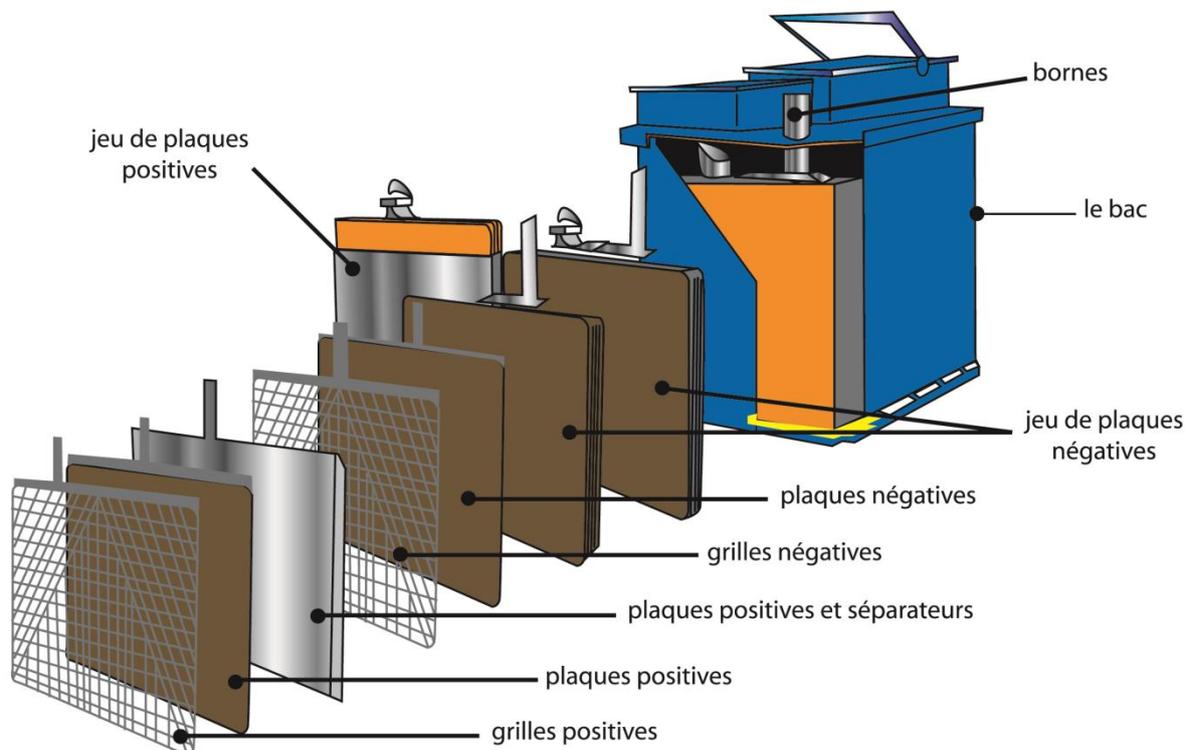


Figure 2-13 : Eléments constitutifs d'une batterie au plomb.

Les caractéristiques principales des batteries au plomb sont :

a) Tension nominale : multiple de 2 V (6, 12, 24 ...)

b) La capacité nominale de la batterie

La capacité d'une batterie détermine pendant combien de temps cette batterie peut être déchargée à courant constant. La capacité C d'une batterie est donc le produit du courant de décharge I par le temps de décharge t .

$$C = I \cdot t$$

avec : C en [Ah]
 I en [A]
 t en [h]

Ainsi une batterie de 50 Ah peut être déchargée avec un courant constant de 5 A pendant 10 heures ($5 \text{ A} \cdot 10 \text{ h} = 50 \text{ Ah}$).

Exemple : Pendant combien de temps une batterie de 100 Ah peut-elle être déchargée avec un courant constant de 10 A ?

$$C = 100 \text{ Ah}$$
$$I = 10 \text{ A}$$

Une batterie de 100 Ah peut donc être déchargée avec un courant constant de 10 A pendant 10h.

NOTE : C_{10} = Capacité restituée lors d'une décharge en **10heures**.
 C_{100} = Capacité restituée lors d'une décharge en **100 heures**.

Cette batterie est mieux adaptée aux conditions de charge-décharge rencontrées en utilisation photovoltaïque.

c) La densité de l'électrolyte

La densité de l'électrolyte correspond avec **l'état de charge**.

d) Rendement énergétique

Le rendement est le rapport entre la quantité d'énergie débitée à la décharge et la quantité d'énergie fournie lors de la charge.

e) Autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en pourcentage de la capacité nominale lorsque la batterie n'est pas utilisée.

Quelques définitions utiles :

- La **tension de fin de charge** est la tension d'un élément ou d'une batterie à laquelle le processus de charge est arrêté par la source chargeante.
- La **tension de fin de décharge** est la tension d'un élément ou d'une batterie à laquelle la décharge est terminée. Cette tension dépend du courant de décharge.
- La **profondeur de décharge (DOD)** est la quantité de charge restituée par une batterie pleinement chargée et exprimée en pourcentage par rapport à la capacité nominale de la batterie.
- La **tension de gassing** est la tension à laquelle s'enclenche le phénomène de dégagement gazeux sur chaque électrode de la batterie. Ce phénomène est corrélé à la tension. La valeur de la tension de gassing est elle-même presque uniquement dépendante de la température.
- La **charge d'égalisation** est la continuation de la charge d'une batterie au-delà de la tension de fin de charge en vue d'obtenir l'égalisation des charges des différents éléments de la batterie.

Types de batteries utilisables pour les applications photovoltaïques :

- **Batteries formées d'éléments stationnaires à plaque positive tubulaire** (2 V) et grande réserve d'électrolyte. Capacités courantes : de 100 à 3.000 Ah. Ce type de batterie est le mieux adapté aux cycles journaliers et saisonniers rencontrés dans les systèmes PV.
- **Batteries formées d'éléments stationnaires à plaques planes** (2 V) et grande réserve d'électrolyte. Capacités courantes : de 10 à 300 Ah. Ces batteries sont moins performantes que celles ci-dessus en nombre de cycles (durée de vie).
- **Batteries plomb étanche sans entretien** (2, 6 et 12 V). Capacités courantes : de 10 à 100 Ah. Ces batteries ont une aptitude au cyclage beaucoup moins élevée et ne doivent donc être spécifiées que pour des applications où la durée de vie n'est pas primordiale par rapport au coût initial.

NOTE 1 : Les batteries dites de "démarrage" (utilisées pour les automobiles et les camions) et celles dite "de traction" (utilisées par exemple pour les chariots élévateurs) ne sont pas du tout adaptées à un usage PV.

NOTE 2 : La décharge d'une batterie à plus de 50% de sa capacité maximale n'est pas conseillée pour une installation photovoltaïque (risque de la destruction de la batterie).

Les batteries à gel

- Les batteries à gel (ou batteries sèches ou SLA) sont des batteries au plomb dans lesquelles l'électrolyte avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) est gelé. Il ne nécessite pas d'entretien périodique, mais comme on ne peut pas remplir l'électrolyte, on ne doit pas arriver à la tension de gassing.

2.3.2 Principe de fonctionnement

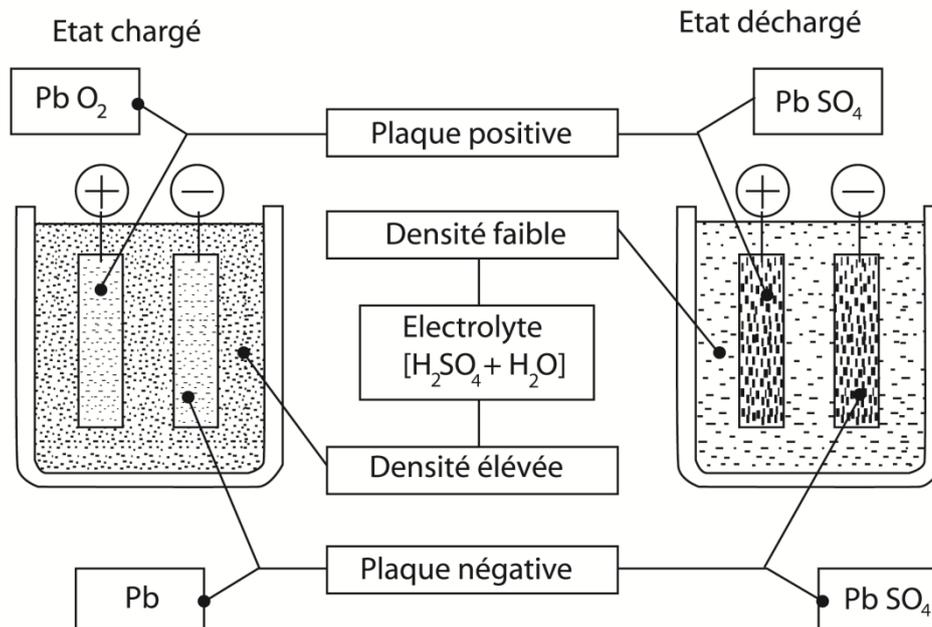


Figure 2-14 : Principe de fonctionnement d'une batterie au plomb.

En décharge

Au cours de la décharge, il y a formation des ions de plomb (Pb^{2+}) sur chacune des électrodes. Les ions de plomb et des ions sulfate (SO_4^{2-}) de l'acide sulfurique forment des cristaux de sulfate de plomb ($PbSO_4$). Comme l'acide sulfurique est transformé, la densité devient faible et ceci en fonction de la quantité déchargée.

- La densité de l'électrolyte décroît en fonction de la quantité déchargée.
- La tension de fin de décharge est fortement liée au courant de décharge

En charge

Durant la charge, le sulfate de plomb ($PbSO_4$) est transformé au niveau des plaques, en plomb (Pb) pour l'électrode négative et en oxyde de plomb (PbO_2) pour l'électrode positive. Cette formation s'accompagne de la formation d'acide sulfurique. La densité augmente.

La charge d'une batterie dans un système photovoltaïque s'effectue généralement selon la caractéristique de charge I U. La première phase s'effectue à courant "quasiment" constant jusqu'à l'atteinte de la tension de fin de charge à partir de laquelle commence la deuxième phase de charge qui s'effectue à tension constante. Durant cette deuxième phase, le courant de charge sera réduit à niveau correspondant au maintien de la charge dans le but de conduire à une charge complète de la batterie.

NOTE 1 : La densité croit lentement au début de charge pour remonter brusquement en fin de charge. Cette remontée brusque de la densité est le résultat de l'homogénéisation de l'électrolyse qui fait suite à son bouillonnement causé par l'apparition d'un dégagement gazeux.

NOTE 2 : Le phénomène de dégagement gazeux appelé "gassing" est lié à la tension de charge qui est elle-même quasiment dépendante de la température selon la formule :

$$U_g = U_{gT_0} - 0,005 \text{ V/}^\circ\text{C} \cdot T$$

avec : U_g = tension de gassing à la température T en [V]
 U_{gT_0} = tension de gassing à $T_0 = 20^\circ\text{C}$ en [V]
T = température actuelle en [$^\circ\text{C}$]

2.3.3 Précautions d'exploitation

Des caractéristiques fonctionnelles des batteries au plomb présentées ci-dessus découlent certaines dispositions à prendre qui sont indispensables au bon fonctionnement de ces batteries:

- La tension de fin de charge doit être fixée en tenant compte de la température :
 - Soit au niveau du régulateur qui doit être équipé d'un dispositif appelé compensateur de température qui fixe automatiquement la tension de fin de charge en fonction de la température mesurée.
 - Soit en prévoyant une tension fixe calculée à partir de la formule

$$U_g = U_{gT_0} - 0,005 \text{ V/}^\circ\text{C} \cdot T \text{ en utilisant une température maximale du site.}$$

- Il faudra veiller à ce que la durée du gassing ne dépasse pas 10 heures par mois.
- La fixation du seuil de tension de fin de décharge doit tenir compte du courant moyen de décharge.
- Des charges d'égalisation doivent être prévues au moins deux fois par an(si le régulateur ne dispose pas d'une activation automatique de la charge d'égalisation) pour éviter la formation prolongée de sulfate sur les plaques des batteries.

2.3.4 Différentes causes de la défaillance des batteries

a) Surcharge des batteries

Les surcharges des batteries engendrent non seulement la corrosion de ses plaques positives, mais aussi un dégagement excessif de gaz pouvant arracher des plaques, les matières actives qui se déposent aussi bien au fond du bac, qu'entre les séparateurs et les plaques. Les surcharges des batteries génèrent en outre une augmentation de la température de ces dernières, ce qui peut conduire à la destruction des plaques et des séparateurs.

b) Décharges profondes

Les décharges profondes sont, à côté des surcharges, les premières causes de la détérioration d'une batterie. Les résultats des décharges profondes prolongées sont entre autre la diminution de la densité

de l'électrolyte, le dépôt au fond du bac de sédiments fins de cristaux de sulfate de plomb et la décoloration des plaques, ainsi que leur sulfatation.

c) Sulfatation

La sulfatation consiste en la formation sur les plaques de larges cristaux de sulfates de plomb, en lieu et place des fins cristaux qui y sont normalement présents. Les causes de la sulfatation sont :

- la non-utilisation de la batterie durant une longue période, après sa charge complète ou partielle,
- le fonctionnement de la batterie durant des jours à un état de charge partielle, sans charge d'égalisation,
- la variation de la température dans la batterie.

Les manifestations de la sulfatation sont l'augmentation de la résistance interne de la batterie, ce qui entraîne une diminution de la décharge et une augmentation de la tension de charge.

d) Courts-circuits

Les courts-circuits des éléments sont générés par :

- la destruction des séparateurs,
- l'accumulation excessive des sédiments au fond du bac,
- la formation de structures arborescentes de plomb, de la plaque négative vers la plaque positive.

Les manifestations du court-circuit des éléments sont :

- une densité d'électrolyte faible, en dépit de la réception normale de charge,
- une perte rapide de capacité après une pleine charge,
- une tension à vide faible.

e) Autres causes de la diminution de la durée de vie des batteries

Outres les phénomènes décrits plus haut, d'autres causes que nous présentons ci-dessous peuvent contribuer à la diminution de la durée de vie des batteries. Il s'agit :

- des phénomènes de vibrations,
- des salissures.

2.4 Régulateur de charge

Le régulateur de charge a pour fonction principale entre autre de protéger la batterie contre les charges excessives et les décharges profondes et de stabiliser la tension dans le circuit de charge.

Au plan fonctionnel, le régulateur de charge :

- collecte les informations relatives à l'état de charge de la batterie (tension, état de charge).
- compare ces informations aux seuils de régulation préfixés :
 - o U_{min} : tension de déconnexion de la charge (utilisation) pour la protection à la décharge profonde.
 - o U_{max} : tension de déconnexion des modules pour la protection à la surcharge.
- opère la protection de la batterie.

Le processus de régulation est consigné dans le tableau ci-dessous :

Etat de la batterie	Réaction du régulateur
La tension de la batterie (U_b) est supérieure à la tension maximale (U_{max})	Déconnexion des modules PV
La tension de la batterie (U_b) est inférieure à la tension de reconnexion (U_{t1})	Reconnexion des modules PV
La tension de la batterie (U_b) est inférieure à la tension de déconnexion (U_{min})	Déconnexion de la charge (utilisation)
La tension de la batterie (U_b) est supérieure à la tension de reconnexion des récepteurs (U_{t2})	Reconnexion de la charge (utilisation)

Exemple de processus de régulation : cas du régulateur SUN SAVER MPPT- 15L à (30°C)

Tension de déconnexion modules	14,50 V
Tension de déconnexion utilisation	11,40 V
Tension de reconnexion utilisation	12,50 V

2.4.1 Principaux types de régulateur de charge

Il existe deux types de régulateurs de charge dans les applications photovoltaïques.

a) Régulateur parallèle ou Shunt(alimentation en continu), la tension du régulateur doit être égale à la tension de la batterie

Avantages du régulateur shunt

- Aucune chute de tension dans l'unité de charge.
- Consommation du régulateur négligeable durant la période de non régulation.
- La défektivité du régulateur n'entraîne pas l'interruption de la charge de la batterie.

Inconvénient

- Nécessité d'un dispositif de dissipation thermique adéquat (ventilation).

b) Régulateur série

Dans le cas du régulateur série, l'organe de commutation est en série dans le circuit du générateur.

Avantages du régulateur série

- La diode de blocage n'est pas indispensable.

Inconvénients

- Chute de tension dans l'unité de charge.
- Consommation du régulateur durant la période de non régulation.
- La défektivité du régulateur entraîne l'interruption de charge de la batterie.

Guide pour le choix d'un régulateur de charge :

Pour le choix d'un régulateur, les caractéristiques suivantes sont indispensables :

- La **tension nominale** : elle peut être de 12 V, 24 V, 48 V etc. en fonction de la tension du système dans lequel il sera inséré. (La tension de régulateur est égale à la tension d'entrée de l'onduleur et en absence de l'onduleur est égale à la tension de l'alimentation).
- Le **courant de court-circuit maximal** du générateur photovoltaïque.
- Le **courant de fonctionnement maximal** du générateur photovoltaïque.
- Le **courant de charge maximal** continu de la charge (récepteurs).
- La **tension de circuit ouvert maximale** du générateur.

En outre, les critères suivants sont indispensables pour le choix d'un régulateur de charge :

- Rendement du régulateur : le rendement caractérise les pertes au niveau du régulateur de charge. Le rendement d'un bon régulateur doit être le plus élevé possible entre 90 et 95 %.
- Protections : les protections suivantes doivent être exigées :
 - * Protection contre la surtension : l'entrée du générateur doit être protégée contre la surtension (atmosphérique),
 - * Inversion de polarité de la batterie : le régulateur doit être protégé contre l'inversion de polarité aux bornes de la batterie,
 - * Protection contre les courts-circuits : le régulateur doit être protégé contre les courts-circuits (exemple par des fusibles),
- Boîtiers : les boîtiers des régulateurs, tout en permettant une bonne dissipation de la chaleur, doivent être assez étanches.

2.5 Groupement des modules et des batteries

Pour obtenir une tension et une puissance suffisante, il est nécessaire de connecter plusieurs modules entre eux. Dans ce cas, plusieurs batteries doivent être aussi connectées entre elles.

2.5.1 Montage des modules

2.5.1.3 Montage des modules en série

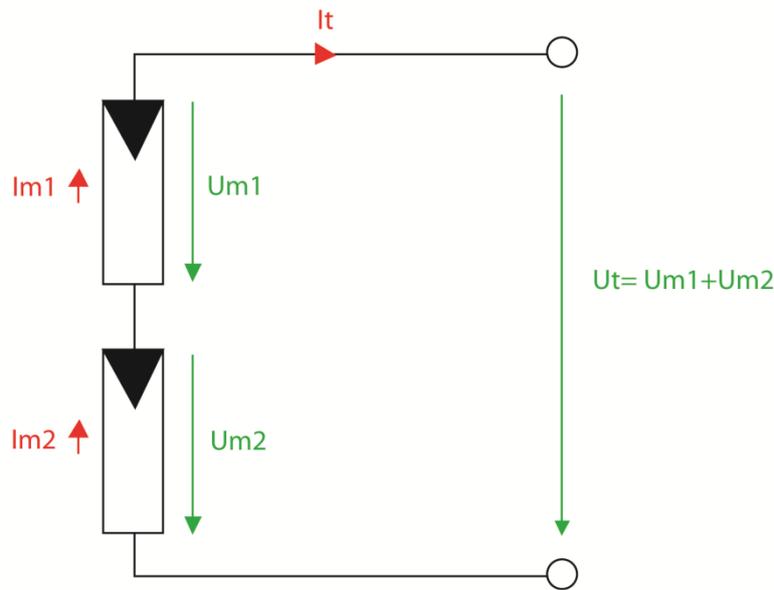


Figure2-15 : Association de modules en série.

Pour obtenir une tension plus élevée que celle d'un seul module, on connecte deux ou plusieurs modules en série. Dans le cas de la connexion de deux modules en série, la borne positive (+) du premier module est connectée à la borne négative (-) du deuxième module.

Ainsi, la tension totale est : $U_t = U_{m1} + U_{m2}$
Le courant total est : $I_t = I_{m1} = I_{m2}$

NOTE : Il est recommandé que les modules soient identiques. Pour n modules identiques de tension U_{m1} et d'intensité I_{m1} : $U_t = n \cdot U_{m1}$ et $I_t = I_{m1}$

2.5.1.3 Montage des modules en parallèle

Pour obtenir une puissance (un courant) plus élevée que celle d'un module, il faut brancher deux ou plusieurs modules en parallèle. Dans le cas de la connexion de deux modules en parallèle, la borne positive (+) du premier module est connectée à la borne positive (+) du deuxième module. Les bornes négatives (-) sont reliées entre elles.

La tension totale du branchement est égale à la tension d'un module : $U_t = U_{m1} = U_{m2}$
Le courant total est égal à la somme des courants des deux modules : $I_t = I_{m1} + I_{m2}$

NOTE : Il est recommandé que les modules soient identiques. Pour n modules identiques d'intensité I_{m1} et de tension U_{m1} : $I_t = n \cdot I_{m1}$ et $U_t = U_{m1}$

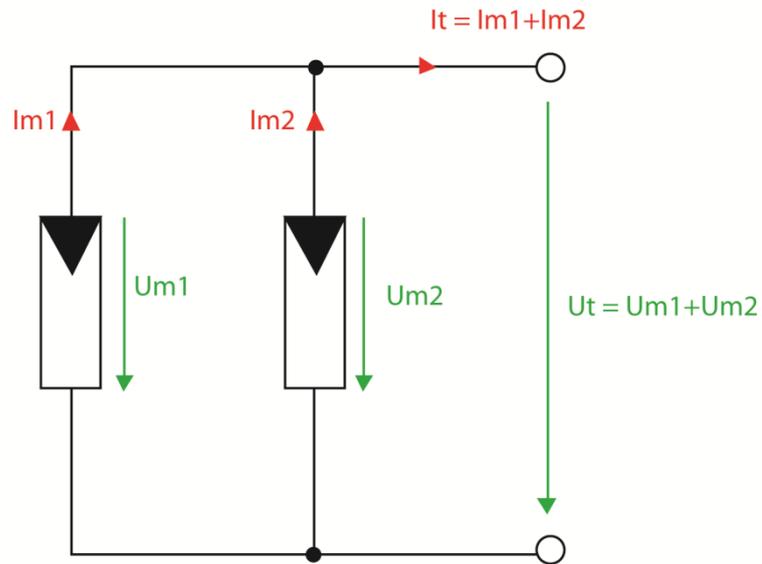


Figure2-16 : Association de modules en parallèle.

2.5.1.3 Montage des modules en série-parallèle (mixte)

Les modules peuvent être aussi connectés en série et les séries connectées en parallèle.

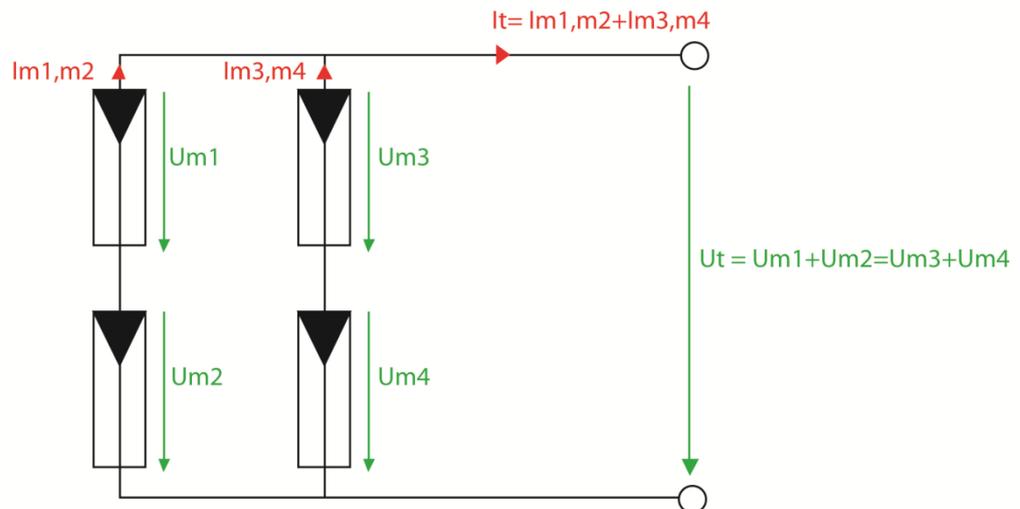


Figure 2-17 : Association de modules en série-parallèle.

U_t	$= U_{m1} + U_{m2} = U_{m3} = U_{m4}$
I_t	$= I_{m1,m2} + I_{m3,m4}$

avec :

- U_t = tension totale
- U_{m1} = tension module 1
- U_{m2} = tension module 2
- I_t = courant total
- I_{m1} = courant module 1
- I_{m2} = courant module 2

Exemples : a) Connecter en série deux modules A75

- Courant de court-circuit d'un module A75 = 4,80 A
- Tension de circuit ouvert d'un module A75 = 21 V

$$U_{co\ t} = U_{co\ m1} + U_{co\ m2} = 21\ V + 21\ V = \mathbf{42\ V}$$

$$I_{cc\ t} = I_{cc\ m1} = I_{cc\ m2} = \mathbf{4,80\ A}$$

b) Connecter en parallèle deux modules A75

$$U_{co\ t} = U_{co\ m1} = U_{co\ m2} = \mathbf{21\ V}$$

$$I_{cc\ t} = I_{cc\ m1} + I_{cc\ m2} = 4,80\ A + 4,80\ A = \mathbf{9,60\ A}$$

c) Connecter quatre modules A75 en série de deux modules et les deux séries en parallèle.

$$U_{co\ t} = U_{co\ m1} + U_{com2} = U_{co\ m3} + U_{co\ m4} = 21\ V + 21\ V = \mathbf{42\ V}$$

$$I_{cc\ t} = I_{cc\ m1,m2} + I_{cc\ m3,m4} = 4,8\ A + 4,8\ A = \mathbf{9,60\ A}$$

2.5.2 Montage des batteries

2.5.2.1 Montage des batteries en série

Pour augmenter la **tension** U des batteries, une ou plusieurs batteries doivent être montées en série. Dans le cas de deux batteries, la borne positive (+) de la première batterie est connectée avec la borne négative (-) de la deuxième batterie.

La tension totale U_t est égale à $U_{b1} + U_{b2}$: $U_t = U_{b1} + U_{b2}$

La capacité en Ah reste la même : $C_t = C_{b1} = C_{b2}$

NOTE : Il est souhaitable que les batteries soient identiques.

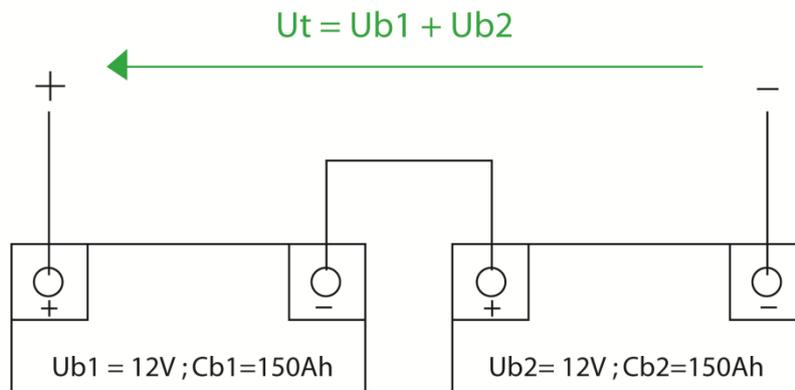


Figure2-18 : Montage des batteries en série.

Exemple : Monter en série deux batteries de 12 V de capacité 150 Ah.

$$U_t = U_{b1} + U_{b2} = 12 \text{ V} + 12 \text{ V} = \mathbf{24 \text{ V}}$$

$$C_t = C_{b1} = C_{b2} = \mathbf{150 \text{ Ah}}$$

2.5.2.2 Montage des batteries en parallèle

Pour augmenter la **capacité Ah** de deux ou plusieurs batteries, on les monte en parallèle. Dans le cas de deux batteries, la borne positive (+) de la première batterie est connectée avec la borne positive (+) de la deuxième batterie. La borne négative (-) de la première batterie est connectée avec la borne négative (-) de la deuxième batterie.

La tension reste la même : $U_t = U_{b1} = U_{b2}$

La capacité totale devient : $C_t = C_{b1} + C_{b2}$

NOTE : Il est souhaitable que les batteries soient identiques.

Exemple : Monter en parallèle deux batteries de 12 V de capacité de 150 Ah.

$$U_t = U_{b1} = U_{b2} = \mathbf{12 \text{ V}}$$

$$C_t = C_{b1} + C_{b2} = 150 \text{ Ah} + 150 \text{ Ah} = \mathbf{300 \text{ Ah}}$$

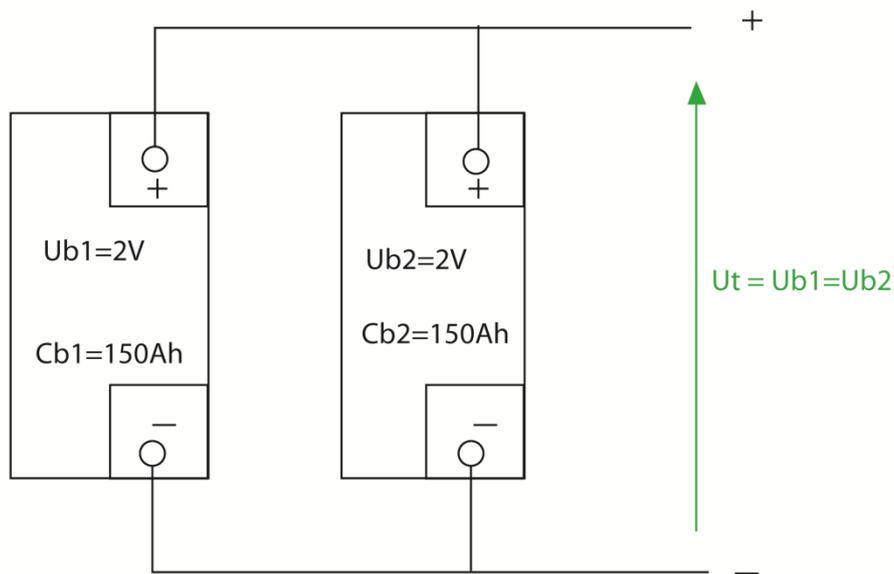


Figure2-19: Montage des batteries en parallèle.

2.5.2.3 Montage des batteries en série-parallèle (mixte)

Plusieurs batteries peuvent être montées en série parallèle.

Dans le cas de 4 batteries montées en série-parallèle, la tension totale est la tension obtenue par la mise en série des batteries ; la capacité totale est la capacité des batteries en parallèles.

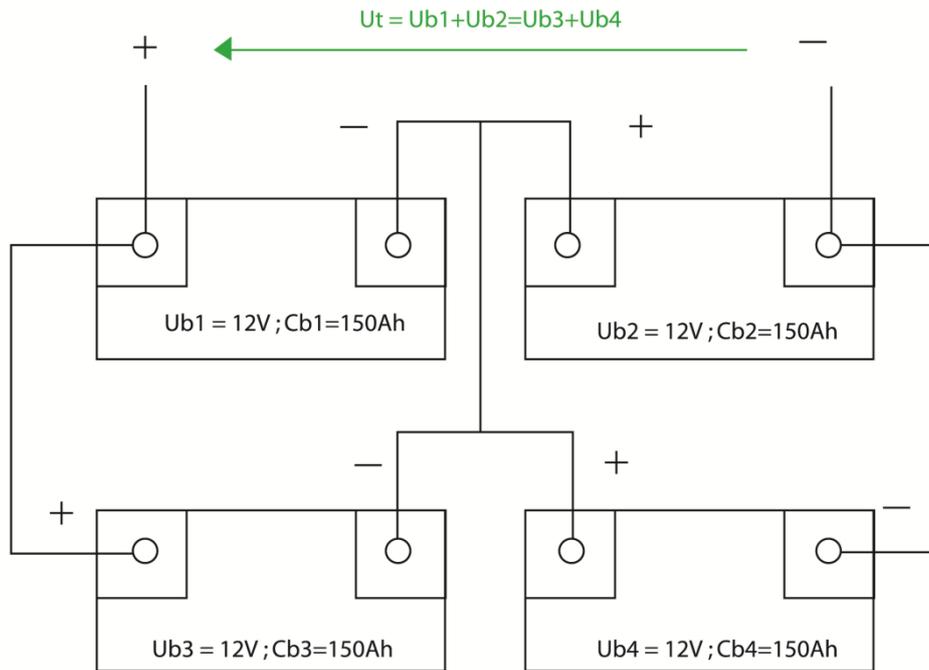


Figure2-20 : Montage des batteries en série-parallèle.

Exemple : 4 batteries de 12 V de capacité de 150 Ah chacune.

$$U_t = U_{b1} + U_{b2} = U_{b3} + U_{b4} = 12 \text{ V} + 12 \text{ V} = \mathbf{24 \text{ V}}$$

$$C_t = C_{b1,b2} + C_{b3,b4} = 150 \text{ Ah} + 150 \text{ Ah} = \mathbf{300 \text{ Ah}}$$

Principes à respecter pour les groupements des batteries :

a) Les batteries à monter en série doivent :

- être de même type (fabrication),
- avoir les mêmes capacités (Ah),
- avoir une densité d'électrolyte égale (état de charge égal).

b) Les batteries à monter en parallèle doivent :

- être de même type (fabrication),
- avoir la même tension nominale,
- avoir une densité d'électrolyte égale (état de charge égal).
- les capacités nominales des batteries ne doivent pas être trop différentes

2.6 L'onduleur ou convertisseur

L'onduleur est alimenté directement par la batterie et débite sur des récepteurs en courant alternatif. L'onduleur transforme la tension continue des batteries en tension alternative qui alimente les récepteurs en courant alternatif : téléviseurs, vidéo ou réfrigérateur.

Les onduleurs diffèrent par la forme d'onde du courant électrique qu'ils délivrent : carrée, sinus reconstitué, etc. La forme sinusoïdale est la norme habituelle de l'électricité fournie par le réseau électrique.

Les onduleurs à onde « non sinus » génèrent des harmoniques qui peuvent endommager dans les cas extrêmes certains appareils électriques. Un convertisseur DC/AC peut être couplé soit au régulateur soit directement à la batterie, il doit alors être muni d'un dispositif anti-décharge profonde.

Les caractéristiques principales d'un onduleur sont les suivantes :

- Puissance nominale à 20°C en [VA].
- Tension nominale d'entrée en [V].
- Plage de la tension d'entrée en [V].
- Protection tension d'entrée basse en [V].
- Puissance de démarrage admissible en %
- Intensité maximale admissible en [A].
- Tension nominale de sortie en [V].
- Plage de tension de sortie.
- Onde de sortie
- Fréquence nominale de sortie en [Hz].
- Rendement maximal, généralement de l'ordre de 90%.

Exemple : L'onduleur : Victron EnergyMultiPlus Compact 12 V/800 VA/35 A, AC transfercapacity 1x16 A /inverter 230V

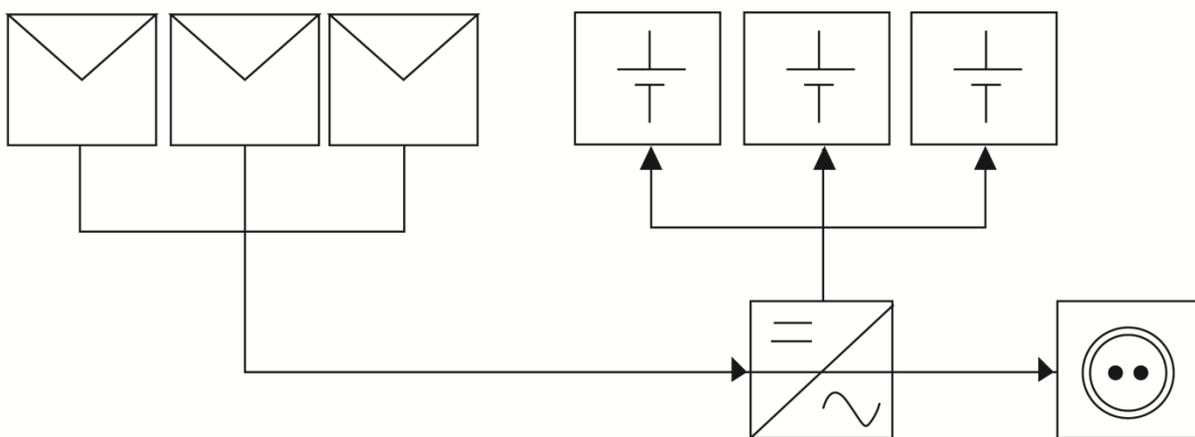


Figure 2-21 : Générateur autonome DC/AC.

2.7 Quelques exemples d'applications photovoltaïques

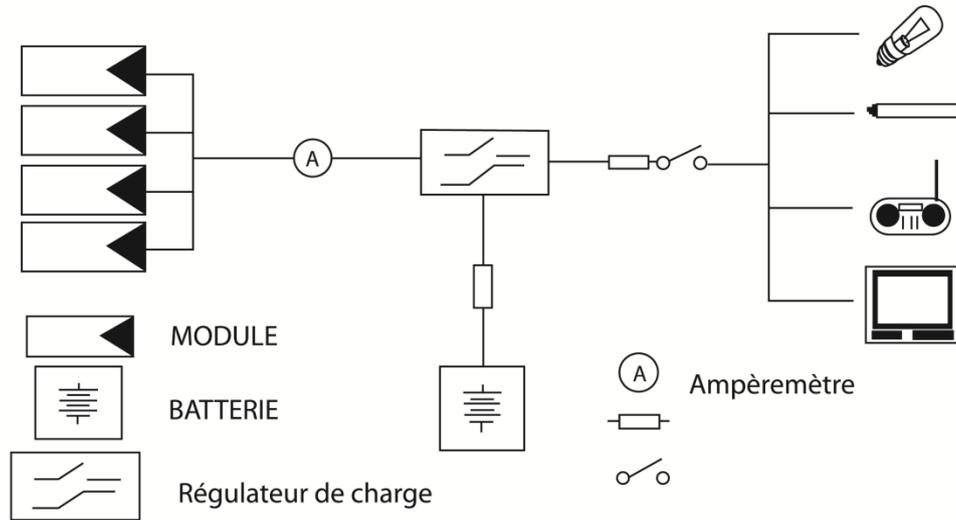


Figure 2-22 : Systèmes en courant continu.

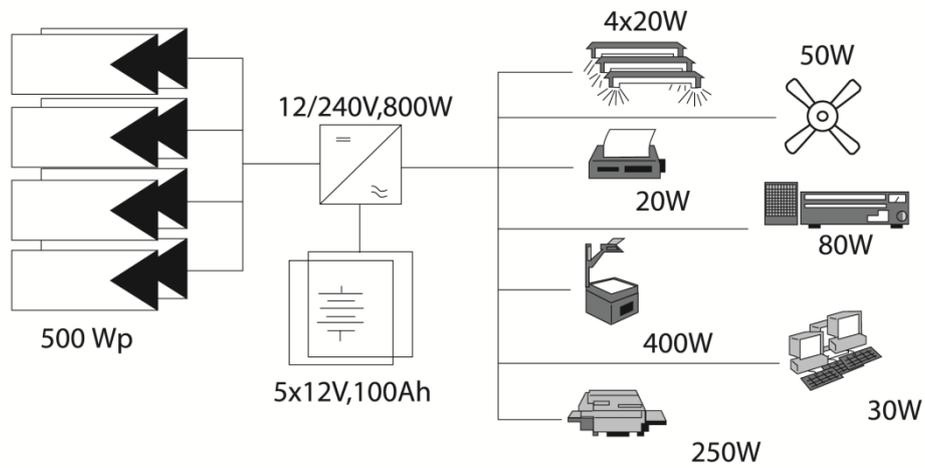


Figure 2-23 : Système en courant alternatif avec onduleur central.

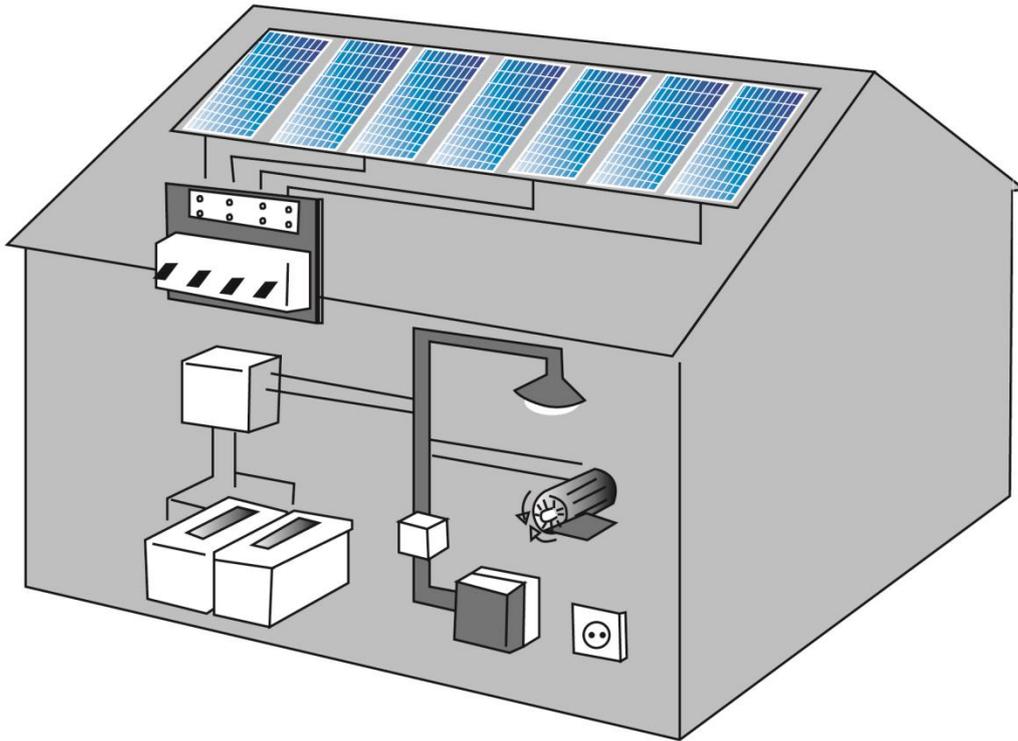


Figure 2-24 : Configuration d'un système photovoltaïque autonome sur toit (hors réseau).

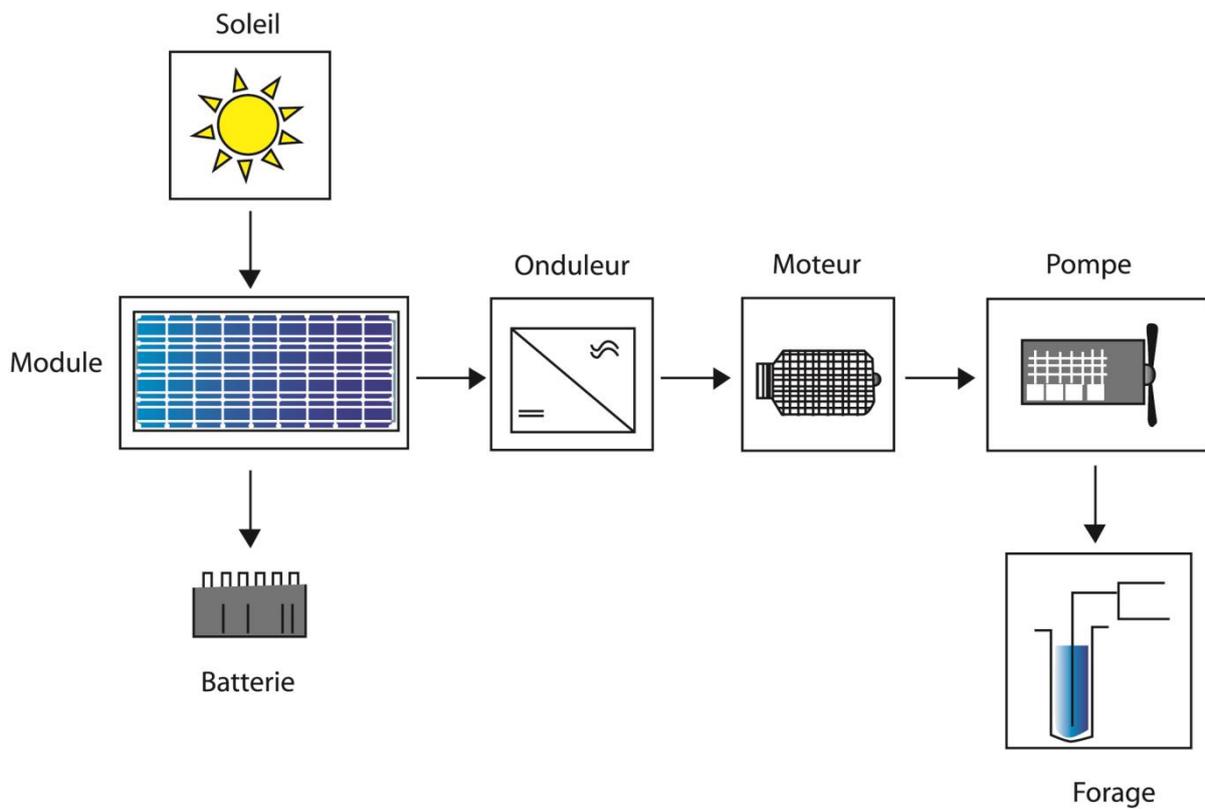


Figure 2-25 : Système de pompage.

3 PROCEDURE D'INSTALLATION DES SYSTEMES

L'installation complète des systèmes devra être réalisée de façon soignée. Ainsi, l'esthétique visuelle de toutes les installations doit être respectée :

- Verticalité des câbles et / ou des composants (prises de courant, interrupteur, régulateur, réglettes, etc.) fixés aux murs
- Régularité et alignement des points de fixation
- Remise en l'état des murs après perçage

3.1 Module photovoltaïque

3.1.1 Etude de l'emplacement du module

Le panneau solaire ne fonctionnera pas correctement s'il n'est pas totalement éclairé par le soleil durant toute la journée. Il faut donc éviter que le panneau reçoive l'ombre portée d'un obstacle quelconque (bâtiment ou arbre). Pour cela, et avant toute installation, il est important de :

- Choisir un emplacement provisoire,
- Repérer et identifier tous les obstacles risquant de porter une ombre sur cet emplacement, surtout entre 7 h (le matin) et 16 h (l'après-midi),
- Pour chaque obstacle identifié :
 - Mesurer la **distance L** qui sépare l'obstacle de l'emplacement choisi.
 - Estimer (mesurer si possible) sa **hauteur H** par rapport à l'emplacement choisi.
 - Mesurer son **azimut a** relatif (angle que fait la direction de l'obstacle avec la direction du sud à partir de l'emplacement).

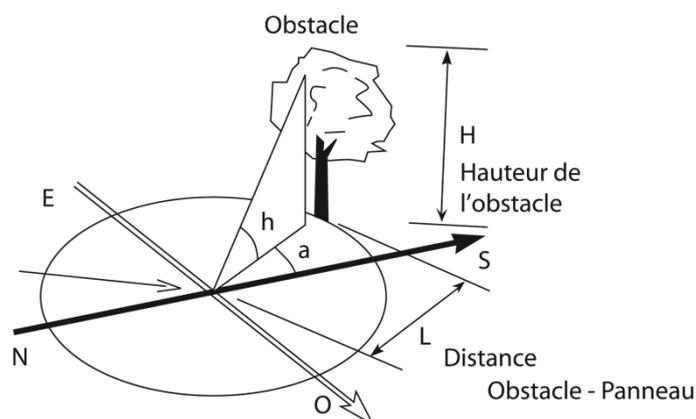


Figure 3-1 : Coordonnées d'un obstacle.

A partir des paramètres ainsi déterminés, utilisés le monogramme (Figure 3-2) dans le sens de l'aiguille d'une montre.

- A partir de la distance de l'obstacle L et de sa hauteur H en mètres, déterminer sa **hauteur h** en degré.
- En fonction de son azimut a, déterminer sa **hauteur effective**, puis en fonction de la latitude du site d'installation, déterminer la **distance effective** de l'obstacle.

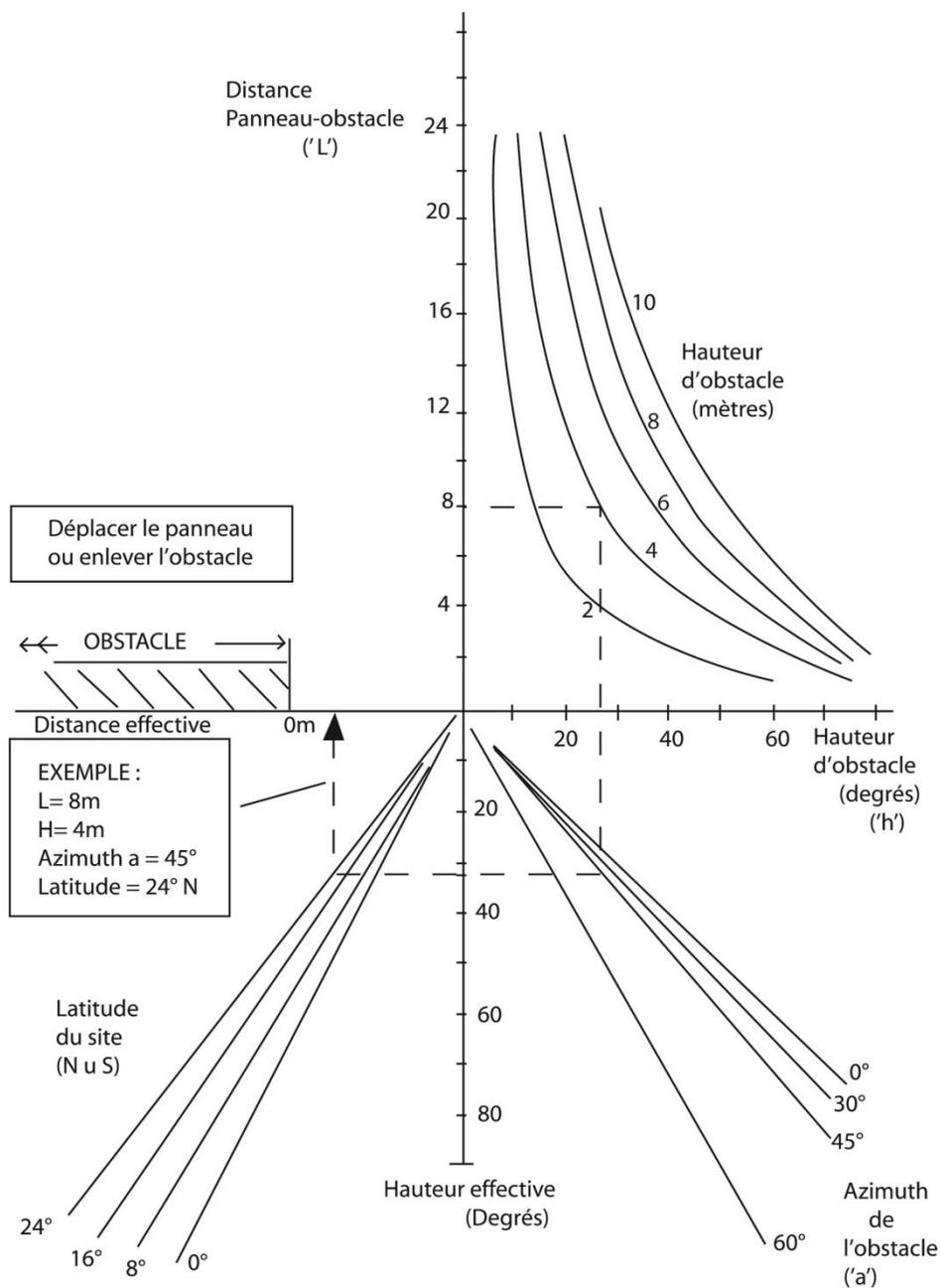


Figure 3-2 : Monogramme de définition des ombres portées.

- ⇒ Si la **distance effective** est inférieure à la **distance limite D_m** , l'obstacle en question n'est pas gênant. Si au contraire la distance effective est supérieure à D_m (partie hachurée), l'obstacle est gênant. Il faut changer d'emplacement et reprendre la procédure décrite.
- ⇒ Si parmi tous les emplacements envisageables aucun n'est préservé de l'ombre de certains arbres, on peut envisager de tailler ces arbres, voire d'en couper un.
- ⇒ Les arbres qui portent ombrage au panneau seulement tôt le matin (avant 8 heures) ou tard l'après-midi (après 16 heures) ne sont pas gênants et ne doivent pas être coupés.

3.1.2 Orientation et inclinaison du module

L'orientation du module est la direction vers laquelle il est situé. Elle doit être en plein sud pour les sites de l'hémisphère nord et en plein nord pour les sites de l'hémisphère sud. Le Togo est situé dans l'hémisphère nord.

L'inclinaison (ou la pente) est l'angle que fait le module avec l'horizontale. Le Togo s'étant du 6^{ème} au 11^{ème} degré de latitude nord, les modules doivent être orientés plein sud avec une inclinaison entre 6° dans le sud et 11° dans le nord du Togo.

L'inclinaison du module peut être déterminée :

- A l'aide d'une boussole.
- A l'aide d'une boussole, un gabarit et un niveau.
- A l'aide d'un inclinomètre (instrument de mesure d'une pente).

Avant l'installation du panneau

Vérifier que les diodes by-pass et anti-retour sont bien installées. Si elles ne sont pas installées, vérifier qu'elles se trouvent sur la face intérieure du couvercle de la boîte de jonction. Si elles y sont, les installer en suivant le schéma, soit sur la notice d'utilisation, soit sur la face interne du couvercle de la boîte de jonction.

Fixation des modules PV

- En cas de montage sur toiture, une distance minimale de 10 cm doit être respectée entre la face arrière du module et la toiture. La structure support du module doit être fixée sur le corps de charpente ou du bâtiment, et non sur la toiture elle-même. Un système de haubanage doit être prévu si nécessaire.
- En cas de fixation murale, le support de modules doit être fixé au minimum en 2 points avec un système de fixation traversant le mur (goujons et platine de serrage).
- En cas de structure au sol, le support doit être installé dans un lieu à l'écart des zones de passage ; le(s) module(s) et le câblage doivent être placés hors de portée des enfants.
- Les pieds de la structure support doivent être boulonnés ou scellés dans des ancrages en béton coulés dans le sol. Les dimensions minimales de ces plots en béton armé seront de 300 mm x 300 mm x 300 mm. Une dalle unique en béton armé de section 250mm x 250 mm chaînés sur sa longueur est une autre option pouvant être envisagée.

Quel que soit le cas, le béton devra être dosé au moins à 350 kg. La hauteur du générateur par rapport au sol devra être réglée de sorte que le point le plus bas soit au moins à 3 m du niveau du sol.

Les câbles seront fixés à la structure au moyen de brides en plastique livrées à cet effet.

Branchement du panneau

Les bornes + et - de la boîte de jonction doivent être reliées aux bornes + et - du régulateur de charge avec un câble résistant aux rayonnements ultraviolets 1 x 4 mm², pour une distance module-batterie n'excédant pas 5 mètres.

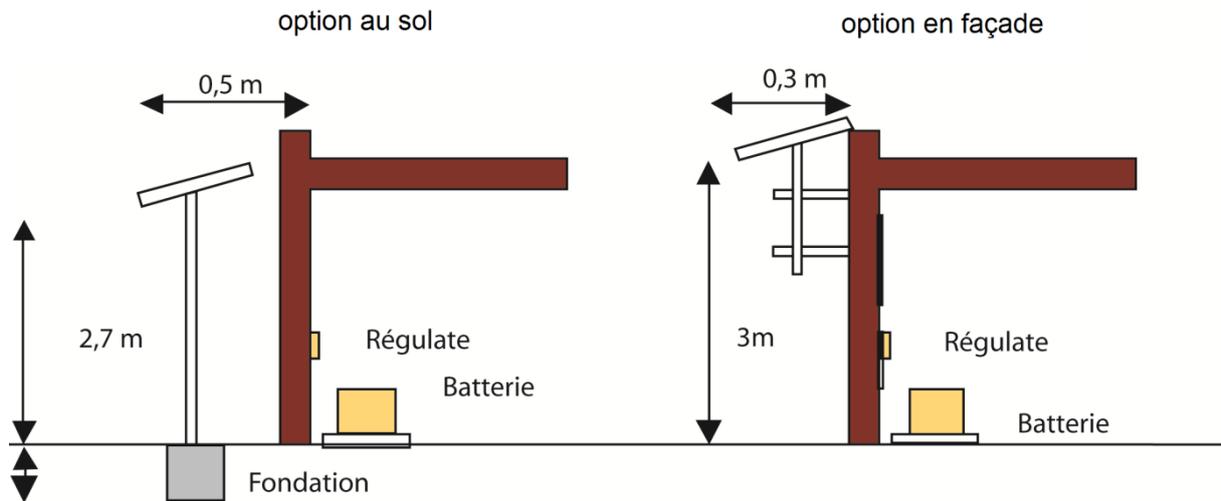


Figure3-3 : Options d'installation envisageables.

3.2 Installation du régulateur de charge

- Le régulateur doit être installé à hauteur des yeux, soit à peu près 1,50 m du sol afin que l'utilisateur puisse bien voir les indications lumineuses (exemple : "batterie déchargée").
- Le régulateur de charge doit être installé le plus près possible de la batterie et du panneau afin d'éviter des pertes inutiles (voir tableau de chute de tension).
- Il doit être protégé du rayonnement direct du soleil et, bien entendu, de la pluie.
- La polarité doit être respectée lors du branchement des différentes composantes.

Les différentes composantes seront branchées aux bornes du régulateur dans l'ordre suivant :

- 1) Batterie
- 2) Module
- 3) Utilisation (charge)

Les différentes composantes doivent être débranchées dans l'ordre suivant :

- 1) Utilisation (charge)
- 2) Module
- 3) Batterie

Après la connexion, vérifier les indicateurs de régulateur de charges afin d'identifier les anomalies possible dans le fonctionnement. Si aucune indication ne confirme le fonctionnement du régulateur de charge, vérifier que les connexions ont été bien réalisées : inversion de polarité probable.

Les connexions sur le régulateur se feront au moyen de tourillons à fourchette.

3.3 Installation de la batterie

Les batteries seront placées dans un local aéré en dehors des locaux où des personnes sont susceptibles de séjourner (bureaux, chambres à coucher, etc.) à l'abri des enfants La batterie sera installée sur un support (en bois si possible enduit d'une protection contre l'agression de l'acide).

- La batterie sera installée assez proche du régulateur de charge.

- La batterie sera connectée au régulateur de charge avec un câble de section adéquate
- Les cosses des batteries seront protégées par des capots les protégeant contre toutes manipulations étrangères.

Une charge préalable sera réalisée conformément à la procédure de la fiche en annexe avant la mise en service des batteries.

L'aération du local devra être telle que les ouvertures du local assurent une ventilation naturelle présente une superficie égale :

$$A \geq 28 \text{ cm}^2 \text{ h/m}^3 \cdot Q$$

avec : A = surface des ouvertures en [cm²]

Q = volume d'air en [m³/h]

Exemple : Pour la batterie de 75 Ah à installer, Q doit être égal à 15 m³/h.

$$A \geq 28 \text{ cm}^2 \text{ h/m}^3 \cdot 15 \text{ m}^3/\text{h} = 420 \text{ cm}^2$$

⇒ La surface des ouvertures du local doit être $A \geq 420 \text{ cm}^2$.

3.4 Chutes de tension dans le câblage

Pour le câblage des systèmes on doit prendre en considération, que la résistance des câbles réduit la tension du système. En effet, la chute de tension ΔU est une fonction proportionnelle de la longueur du câble. On peut l'exprimer par la chute de tension absolu ΔU ou la chute de tension relative ΔU_{rel} .

Les chutes de tension admissibles dans les différents tronçons du système ainsi que les distances maximales correspondantes sont présentées dans le tableau ci-après :

Tronçon	ΔU_{rel}	ΔU (V)	S (mm ²)	Distance Conception	Distance Maximale
1. Panneau- Régulateur	1,50%	0,18	4	4 m	4,68 m
2. Régulateur-Batterie	1,00%	0,12	4	1 m	4 m
3. Régulateur- Dérivation n° 3	3,00%	0,36	4	15 m	17,14 m
4. Boîte dérivation lampe et mécanisme	1,00%	0,12	1,5	4,5 m	5 m

Tableau 3-1 : Chutes de tension admissibles dans le système.

La longueur maximale L_{max} à ne pas dépasser pour une section donnée peut aussi être vérifiée à partir de la formule suivante :

$$L_{\text{max}} \leq \frac{\Delta U \cdot S}{2 \cdot \rho \cdot I}$$

avec : L_{max} = longueur maximale en [m]
 ΔU = chute de tension en [V]
 S = section câble en [mm²] = 4 mm²
 ρ = résistivité câble en [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
 = 0,01786 $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ pour le cuivre
 I = Intensité de courant en [A]

3.5 Installation de l'onduleur

Au cas où un onduleur est installé on respectera les prescriptions ci-après. L'onduleur doit être installé :

- dans un lieu sec et protégé du rayonnement direct du soleil des sources de chaleur et d'humidité,
- dans un lieu assez aéré,
- à une distance minimale de la batterie afin d'éviter des chutes de tension excessives (confer Tableau 3-1),
- dans un local différent du local des batteries car le dégagement gazeux provenant des batteries peut avoir des effets explosif de corrosion,
- en position verticale et fixé au mur avec les dispositifs prévus à cet effet.
- Les câbles de raccordement doivent être fixés au mur à l'aide d'attaches adéquates ou d'embases à colliers « Colson » adaptées.
- Les câbles (+) et (-) doivent être clairement marqués.

4 MISE EN ŒUVRE DES EQUIPEMENTS

Les principes d'assurance qualité permettent par la mise en œuvre systématique d'action planifiée de vérification, de validation et conservation de traces, de maîtriser la qualité de l'installation des systèmes.

La mise en œuvre des dispositifs d'assurance qualité permet aux installateurs de faire la preuve des précautions prises pour assurer la qualité de leurs prestations et de garantir une traçabilité des actions menées au cours de l'installation des systèmes.

Les documents indispensables à la mise en œuvre du plan qualité au cours de l'installation sont disponibles en annexe, ils sont listés ci-après :

- Consigne de la charge préalable des batteries
- Fiche d'installation
- Certificat de réception quantitative individuel (pour les systèmes individuels)
- Certificat de réception quantitative

La batterie est la composante dont la mise en service nécessite un soin particulier. Nous décrivons ci-dessous les différentes étapes de cette mise en service :

4.1 Préparation de la batterie

- Mesurer la densité de l'électrolyte de remplissage.
- Remplir les batteries jusqu'au niveau correspondant à la partie inférieure du marquage de niveau.
- Attendre après remplissage au moins deux heures.
- Ajuster si nécessaire l'électrolyte à son niveau nominal.

Après deux heures de repos :

- Mesurer la tension de la batterie.
- Mesurer la densité de l'électrolyte.
- Mesurer la température.

Si après un repos de deux heures les mesures montrent que :

- la température de l'électrolyte n'augmente pas de plus de 5°C par rapport à la température initiale ou
- que la densité de l'électrolyte n'a pas diminuée de plus de 0,02 kg/l par rapport à sa valeur initiale,

la charge préalable peut commencer.

NOTE : Si la température de l'électrolyte au cours du remplissage est supérieure à 40°C, laisser reposer la batterie pendant au moins 12 heures ou reporter la charge préalable au lendemain.

4.2 Déroulement de la charge préalable

La source chargeante (champ photovoltaïque ou groupe électrogène) ne sera pas équipée de dispositif de contrôle de la charge (ceci afin d'éviter un arrêt précoce de la charge préalable).

Si la charge est réalisée avec un module (champ photovoltaïque), il sera connecté directement à la batterie sans régulateur de charge.

La batterie sera chargée :

- Dans une première phase si possible à courant constant jusqu'au gassing (la durée du gassing sera d'au moins 3 heures).
- Après cette phase, le courant sera réduit à une valeur correspondant de la capacité de la batterie.
- Au cas où la procédure ci-dessus décrite ne peut être respectée, charger la batterie pendant au moins 15 heures.
- Mesurer par pas de 30 mn après l'apparition du gassing, la tension, la densité de l'électrolyte.

La batterie sera considérée comme complètement chargée :

- Lorsque les valeurs de densité contenues dans le tableau 4-1 sont atteintes et ne varient plus pendant 2 heures.
- Lorsque la tension de la batterie de 12 V atteint 15,90 V et ne varie plus pendant 2 heures.
- **Dans tous les cas lorsque la température dépasse 45°C, la charge doit être arrêtée.**

Les grandeurs mesurées seront consignées dans la fiche en annexe. L'écart entre les grandeurs mesurées ne devra pas excéder 0,005 V par élément pour la tension et 0,01 kg/l pour la densité.

A la fin de la charge, le niveau d'électrolyte doit être ajusté au maximum dans chaque élément.

Densité électrolyte de remplissage à 20°C [kg/l]	Densité finale à 20°C [kg/l]
1,245	1,250 à 1,255
1,240	1,245 à 1,250
1,230	1,235 à 1,240

Tableau 4-1 : Valeurs de densité de l'électrolyte avant remplissage et après la charge préalable.

Les densités lues seront corrigées par rapport à la température comme dans le tableau ci-après. Les valeurs à 20°C sont les valeurs de référence.

Densité 20°C [kg/l]	Densité 25°C [kg/l]	Densité 35°C [kg/l]	Densité 45°C [kg/l]
1,144	1,142	1,138	1,131
1,164	1,162	1,157	1,149
1,183	1,180	1,176	1,168
1,203	1,200	1,194	1,168
1,213	1,210	1,204	1,187
1,223	1,220	1,214	1,197
1,233	1,230	1,224	1,216
1,240	1,237	1,231	1,223
1,244	1,241	1,234	1,226
1,250	1,247	1,240	1,232
1,255	1,252	1,245	1,236
1,266	1,263	1,256	1,247

Tableau 4-2 : Correction de la densité en fonction de la température.

La correction de la densité en fonction de la température peut aussi obtenue à l'aide de la formule suivante :

$$D_{20^{\circ}\text{C}} = D_{T_1} + 0,0007 \frac{\text{kg}}{\text{l} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot T$$

avec : $D_{20^{\circ}\text{C}}$ = densité à 20°C en [kg/l]
 D_{T_1} =densité mesurée à la température T_1
 T = $T_1 - 20^{\circ}\text{C}$

5 ENTRETIEN ET MAINTENANCE

Deux types d'entretien seront réalisés dans le cadre de l'exploitation des équipements installés :

L'entretien trimestriel

L'entretien trimestriel s'effectue tous les trois mois et a pour but de vérifier le bon fonctionnement des équipements et de prendre des mesures pouvant assurer leur bon fonctionnement. Cet entretien consiste principalement à des actions de contrôle visuels et des mesures simples des paramètres électriques.

L'entretien annuel

L'entretien annuel consiste en un entretien plus approfondi. Il couvre les actions menées au cours des entretiens trimestriels mais aussi des actions de mesures approfondies permettant d'apprécier de façon plus précise l'état de fonctionnement des équipements.

5.1 Entretien Trimestriel

5.1.1 Champ photovoltaïque

L'entretien du champ consiste principalement en la vérification visuelle du champ:

Contrôle visuel

Contrôle de vue de la propreté des modules : nettoyage Fréquent des modules « renouveler les consignes au responsable du centre : nettoyage des modules tôt le matin ou tard le soir ».

- Faire le nettoyage le soir ou tôt le matin quand les panneaux ne sont pas exposés à un fort ensoleillement.
- Si les panneaux sont installés sur le toit, il faut une échelle pour y accéder.
- On utilisera un chiffon doux et propre : mais pas d'eau.
- On essuiera doucement la surface des panneaux en partant du haut vers le bas.
- On s'assurera qu'il n'y a plus de trace de poussière.
- On évitera de marcher sur les panneaux ou de s'y appuyer.

Contrôles des fixations des modules : vérification de la visserie antivol cas de corrosion ou d'infraction : resserrer si possible et les enduire si nécessaire de dégrissant.

Contrôle des boîtiers de jonction : présence d'eau, ou d'insectes : vérifier l'étanchéité des boîtiers si nécessaire resserrer les presse-étoupe ou les remplacer.

Contrôle de présence d'ombre portée sur les modules : « pour cela confirmer les risques à l'aide de l'abaque de la figure 3-2 »

5.1.2 Batterie

Contrôle visuel de la propreté du local des batteries

Contrôles visuels des batteries :

- Des différences de couleurs
- De dépôts de sédiments dans les cuves des éléments
- Vérifier les connexions des éléments
- Fissures des éléments
- Les fuites d'électrolytes

Fuites d'électrolyte :

Avec un chiffon, nettoyer les dépôts d'électrolyte sur les bacs des éléments. Pour ce faire, utiliser uniquement de l'eau propre exempte de tout additif.

NOTE : Les fuites d'électrolyte peuvent causer des défaillances massives de batterie lorsque le courant sortant d'un élément passe dans l'électrolyte d'un autre. La formation de dépôts de matériaux conducteurs peut également causer des arcs électriques et des explosions d'éléments.

PRECAUTION : **Ne pas utiliser une grande quantité d'eau à proximité des cellules durant leur nettoyage, car l'eau est un conducteur.**

Corrosion des bornes et des connexions :

Une des principales causes de la mauvaise performance des batteries est la corrosion des bornes et des connexions. La corrosion des connexions peut être suivie de la défaillance des bornes ou d'une rupture d'éléments.

En cas de corrosion des connexions, effectuer les opérations suivantes :

- 1) Isoler complètement la batterie de tous les branchements : branchement au champ, branchement à l'onduleur (régulateur de charge).
- 2) Isoler l'élément ou les éléments concernés (selon les prescriptions du constructeur).
- 3) Nettoyer la connexion ou la borne corrodée à l'aide d'une brosse métallique ou le papier verre.
- 4) Appliquer une mince couche de graisse anticorrosion haute température.
- 5) Raccorder l'élément et serrer les connexions (selon les prescriptions du fabricant).
- 6) Rebrancher la batterie dans le circuit raccordement au régulateur de charge et à l'onduleur.

Contrôle du niveau d'électrolyte :

Contrôler le niveau d'électrolyte dans chacun des éléments. Si le niveau de l'électrolyte dans un élément n'est au bon niveau, ajouter de l'eau distillée jusqu'au niveau haut du marquage de niveau

Comment ajouter l'eau distillée ?

- 1) A l'aide d'un équipement propre (entonnoir), ajouter lentement de l'eau distillée dans l'élément jusqu'au niveau haut du marquage.
- 2) Enregistrer le numéro de l'élément ainsi que la quantité.

Comment conserver l'eau distillée ?

- La conservation d'eau doit se faire dans des récipients adéquats. Des récipients adéquats sont en verre, ébonite, polyéthylène, polypropylène, PVC ou autres matières plastiques. Les tubes doivent être composés de PVC, gomme ou polyéthylène.
- Les récipients métalliques peuvent provoquer la dissolution d'ions métalliques et sont par conséquent à éviter.
- Les récipients en verre peuvent provoquer la dissolution d'alcalins et de l'acide silicique. Ceux-ci ne sont pas nuisibles et se trouvent dans les résidus d'évaporation. Il est recommandé de toujours garder l'eau purifiée dans des récipients étanche à l'air.

Vérifier la densité de l'électrolyte :

La densité de l'électrolyte d'un accumulateur au plomb donne une bonne idée de son état de charge. Ainsi pour apprécier l'évolution de l'état de charge des batteries on effectuera des mesures trimestrielles précises de la densité des batteries.

Procédure de mesure de la densité d'électrolyte :

- 1) Arrêter le système afin d'éviter une décharge.
- 2) Débrancher les modules.
- 3) Laisser reposer les batteries pendant une à deux heures.
- 4) Mesurer la densité de chaque élément (cf. figure 5-1)
- 5) Mesurer simultanément la température de l'électrolyte de chaque élément.
- 6) Mesurer la tension de chaque élément.
- 7) Inscire les résultats dans la fiche en annexe

Répéter la même opération pour chaque élément et inscrire les résultats sur la fiche disponible en annexe.

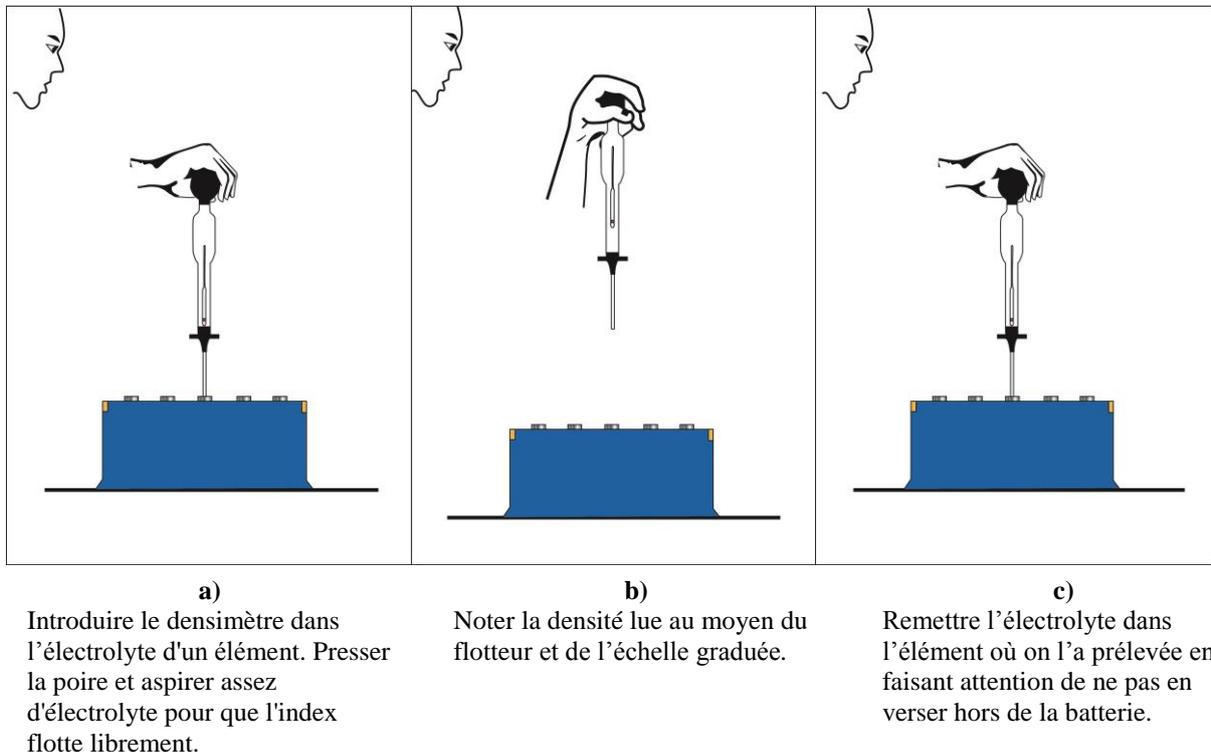


Figure 5-1 : Procédure de mesure de la densité d'électrolyte.

5.1.3 Entretien du régulateur de charge

Le régulateur de charge est un équipement qui nécessite peu d'entretien. On effectuera trimestriellement les opérations suivantes:

- Vérification de la propreté du régulateur de charge
- Vérification de l'aération du régulateur de charge
- Vérification des connexions aux bornes du régulateur
- Observation du bon fonctionnement des différents indicateurs du régulateur de charge

5.1.4 Entretien de l'onduleur

Comme le régulateur de charge l'onduleur nécessite peu d'entretien. Les opérations de vérifications suivantes se feront trimestriellement :

- Vérification de la propreté de l'onduleur : présence de poussière, présence d'insectes
- Vérification de l'aération de l'onduleur

5.1.5 Inspection des câbles électriques

Des câbles électriques relient :

- les modules au régulateur de charge,
- les batteries au régulateur de charge,
- les batteries à l'onduleur,
- l'onduleur aux récepteurs.

On inspectera ces câbles à chaque visite d'entretien pour être sûr qu'ils sont en bon état

- Contrôle des connexions aux bornes des batteries.
- Suivre le câble de bout en bout chercher les détériorations suivantes : coupure, isolant usé ou mangé dénudant l'âme des conducteurs. Tout câble endommagé doit être remplacé.
- Si on constate que les câbles sont rongés par des animaux, envisager de les protéger par un fourreau.

5.2 Entretien annuel

5.2.1 Champ photovoltaïque

Contrôle visuel :

- Contrôle de vue de la propreté des modules : nettoyage fréquent des modules « renouveler les consignes au responsable du centre : nettoyage des modules tôt le matin ou tard le soir ».
- Contrôle de présence d'ombre portée sur les modules « pour cela confirmer les risques à l'aide de l'abaque de la figure 3-2 ».
- Contrôles des fixations des modules : vérification de la visserie antivol cas de corrosion ou d'infraction : resserrer si possible et les enduire si nécessaire de dégrippant.
- Contrôle des boîtiers de jonction : présence d'eau, ou d'insectes : vérifier l'étanchéité des boîtiers si nécessaire resserrer les presse-étoupe ou les remplacer.
- Inspection des défauts sur les modules suivant la fiche en annexe.

Contrôle des performances électriques :

- Mesurer la tension de circuit ouvert du champ photovoltaïque.
- Mesurer le courant de court-circuit du champ photovoltaïque.
- Mesurer le courant de charge des batteries.
- Mesurer la tension de charge des batteries.

Mesure de la tension de circuit ouvert :

On fera la mesure vers midi un jour ensoleillé.

- La tension de circuit ouvert est celle qui règne entre les deux bornes de sortie lorsque le panneau (module) ne débite pas, on devra donc débrancher les panneaux (modules).
- Après avoir débranché les panneaux on exécute la mesure au niveau des bornes de sortie correspondante.
- Les mesures effectuées, on refait le branchement.
- Pour effectuer la mesure de la tension de circuit ouvert on utilisera un multimètre ou un voltmètre en courant continu. Mettre le multimètre sur mesure de tension continue (DC).
- Sélectionner la plage de mesure pour qu'elle contienne la tension à laquelle on s'attend. Par exemple pour les modules des systèmes de tension de 22,1 V on choisit la plage 0 – 30 V.
- On enfiche les fiches de l'appareil dans les prises convenables et vérifier que la fiche négative (noire ou-) est bien dans la prise négative (ou « commune ») et que la fiche positive (rouge ou +) est bien dans la prise positive.
- Vérifier que le multimètre est sur « marche » et qu'il est muni de piles chargées.
- Mettre en contact les pointes des fiches avec les bornes entre lesquelles on veut mesurer la tension. Bien veiller à ne pas mettre ces bornes en court-circuit en les touchant ensemble avec la même sonde, car on créera un courant important qui peut endommager les composants.
- Lire la valeur affichée et inscrire cette valeur sur la fiche en annexe.
- Mettre l'appareil sur « Arrêt » après la mesure pour ne pas vider la pile.
- Noter la température des modules : la tension de circuit-ouvert diminue quand la température augmente.
- Comparer la valeur obtenue à la valeur de la fiche technique des modules.

Mesure du courant de court-circuit :

- Le courant de court-circuit est celui débité au niveau des bornes de sortie lorsque celles-ci sont reliées par le multimètre.
- On fera la mesure vers midi, un jour bien ensoleillé et cours d'une longue période d'ensoleillement non fluctuante.
- Pour faire la mesure on débranche les modules du régulateur de charge.
- Après avoir débranché les modules on effectue la mesure au niveau des bornes correspondantes.
- La mesure effectuée, on refait les branchements.
- On utilise un multimètre ou un ampèremètre pour mesurer le courant de court-circuit.
- Mettre le multimètre sur mesure d'intensité.
- Sélectionner la plage de mesure pour qu'elle contienne l'intensité à laquelle on s'attend.

ATTENTION : Pour les systèmes composés de 4 modules de courant de court-circuit de 5 A branchés en parallèle. Le courant total peut atteindre 20 A.

- Choisir dans ce cas la plage de 0- 20A.
- Enfoncer les fiches de l'appareil dans les prises convenables et vérifier que la fiche négative (noire ou -) est bien dans la prise « commune » et que la prise positive (rouge ou +) est bien prise d'intensité convenable.
- Mettre en contact les pointes des fiches avec les bornes + et – du panneau.
- Lire la valeur affichée par le multimètre et noter la valeur sur la fiche en annexe.

5.2.2 Batteries

Les contrôles et opérations suivantes déjà décrites pour l'entretien trimestriel seront réalisés :

- Vérification de fuites d'électrolyte et nettoyage des batteries.

PRECAUTION : **Ne pas utiliser une grande quantité d'eau à proximité des cellules durant leur nettoyage, car l'eau est un conducteur.**

- Vérification de la corrosion des bornes et connexions: En cas de corrosion des connexions, effectuer les opérations décrites pour les entretiens trimestriels correspondantes.
- Contrôler le niveau d'électrolyte dans chacun des éléments. Si le niveau de l'électrolyte dans un élément est bas, ajouter de l'eau distillée jusqu'au niveau haut du marquage de niveau.
- Contrôler la présence éventuelle de fissures au niveau des bacs.
Des fissures peuvent apparaître sur les bacs des batteries au cours de leur fonctionnement.
- Vérifier l'aération du local des batteries.

NOTE : Outre ces opérations déjà effectuées trimestriellement, des mesures précises de densité et de la tension à vide des éléments seront effectuées annuellement.

6 RECHERCHE ET REPARATION DES PANNES

Avant de commencer la recherche d'une panne on doit s'assurer :

- Qu'on dispose du schéma global de l'installation.
- Qu'on identifie sur le schéma assez clairement chacun des composants.
- Qu'on dispose des fiches d'intervention permettant de consigner les interventions effectuées.

Recherche de la panne

Dans cette partie du manuel, on indique ce qu'il faut faire pour identifier les pannes principales pouvant subvenir dans un système et comment remédier à ces pannes.

NOTE : Pour des raisons de commodité, le processus de recherche de panne et de dépannage est ici appliqué à un système avec onduleur et sur des lampadaires solaires. Néanmoins les instructions données pour la réparation sont exprimées dans un souci de généralisation aux systèmes les plus communs.

Il est important :

- d'être sûr d'avoir correctement identifié les symptômes du défaut,
- d'avoir toujours commencé par la première étape inscrite sous chaque symptôme et d'avoir continué dans l'ordre vers chaque étape.

6.1 Symptômes de dysfonctionnement

Symptômes	Diagramme de recherche de panne correspondant
Aucun récepteur n'est alimenté. (L'onduleur ne débite pas.)	Diagramme 1
Les récepteurs fonctionnent le soir pendant une à deux heures et l'onduleur s'arrête.	Diagramme 2
L'onduleur ne débite pas, mais l'indicateur de fonctionnement clignote.	Diagramme 3
L'onduleur indique une baisse de tension prématurée.	Diagramme 4
L'onduleur ne peut pas démarrer ou s'arrête au bout de quelques minutes de fonctionnement.	Diagramme 5
L'onduleur indique une surtension.	Diagramme 6
Le lampadaire ne s'allume pas.	Diagramme 7
Le lampadaire s'allume quelques heures et s'éteint.	Diagramme 8
Le lampadaire ne s'allume pas avant le lever du jour.	Diagramme 9

6.2 Diagrammes de recherche de pannes

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 1

Symptôme : Aucun récepteur n'est alimenté. (L'onduleur ne débite pas.)

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Alimentation coupée.	1
Tension aux bornes de l'onduleur faible.	2
Circuit batterie-onduleur interrompu.	3
Batterie déchargée ou défectueuse.	6
Panneau solaire ne débite pas.	4

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 2

Symptôme : Les récepteurs fonctionnent le soir pendant une à deux heures et l'onduleur s'arrête.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
La charge a augmenté.	5
Batterie profondément déchargée.	6
Batterie défectueuse.	6
Module ne débite pas correctement.	4

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 3

Symptôme : L'onduleur ne débite pas mais l'indicateur de fonctionnement clignote.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Charge à la sortie trop faible pour être détectée.	7
L'alimentation de certaines charges interrompue ou défailante.	7

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 4

Symptôme : L'onduleur indique une baisse de tension prématurée.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Câble d'entrée onduleur trop long.	8
Batterie pas assez chargée ou défectueuse.	6

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 5

Symptôme : L'onduleur ne peut pas démarrer ou s'arrête au bout de quelques minutes de fonctionnement.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Charge trop importante.	5
Chute de tension importante à l'entrée de l'onduleur.	8
Batterie pas assez chargée ou défectueuse.	6

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 6

Symptôme : L'onduleur indique une surtension.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Seuil de régulation modifié.	9
Raccordement batterie-régulateur (onduleur) défaillant.	3
Régulateur défaillant.	9

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 7

Symptôme : Le lampadaire ne s'allume pas.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Le temps maximum programmé est terminé.	10
L'énergie disponible est épuisée.	11
La batterie ne se charge pas correctement.	12

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 8

Symptôme : Le lampadaire s'allume quelques heures et s'éteint.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
Le temps maximum programmé est terminé.	10
L'énergie disponible est épuisée.	11
La batterie ne se charge pas correctement.	12

DIAGRAMME DE RECHERCHE DE PANNE N° 9

Symptôme : Le lampadaire ne s'allume pas avant le lever du jour.

Identification de la panne	N° de procédure à suivre
L'énergie disponible est épuisée.	11
La batterie ne se charge pas correctement.	12
Le commutateur pour enclencher le système n'est pas activé.	15

6.3 Procédures d'opération de dépannage

PROCEDURE D'OPERATION N°1 : L'alimentation est coupée.

Comment confirmer cette panne ?

L'onduleur est équipé d'un disjoncteur magnétothermique à son entrée; l'onduleur n'est pas alimenté quand le disjoncteur est ouvert.

Comment réparer cette panne ?

Vérifier que le disjoncteur est ouvert.

S'il est ouvert, refermer.

Observer le comportement de l'onduleur.

PROCEDURE D'OPERATION N°2 : Tension aux bornes de l'onduleur est faible.

Comment confirmer cette panne ?

Dans certains cas, les batteries sont directement connectées à l'onduleur qui en assure la protection contre les décharges profondes. Quand la tension de la batterie de 12 V est inférieure à 11,4 V (tension de déconnexion de la charge U_{\min}), l'onduleur coupe les récepteurs.

Vérifier si l'indication de décharge profonde est activée :

- Si oui, la batterie est déchargée et ceci explique l'arrêt de l'onduleur.
- Si non, vérifier la tension de la batterie 12 V. Si elle est supérieure à 11,4 V, le seuil de coupure de l'onduleur est peut-être déréglé.

Comment réparer cette panne ?

Si la tension de la batterie est inférieure à 11,4 V, cas normal de délestage des récepteurs, laisser recharger les batteries et suivre leur comportement.

- Si la tension de la batterie est supérieure à 11,4 V, vérifier le seuil de délestage de l'onduleur.
- Si un onduleur de rechange est disponible, essayez-le. Si le défaut se confirme faites remplacer l'onduleur défaillant.

PROCEDURE D'OPERATION N°3 : Circuit batterie-onduleur interrompue, connexion batterie interrompue.

Comment confirmer ce défaut ?

Les connexions des batteries peuvent être endommagées à cause de la corrosion. Dans ce cas les batteries n'alimentent plus l'onduleur, qui affiche une tension basse, et ne peuvent pas débiter.

Comment réparer ce défaut ?

Vérifier toutes les connexions des batteries ainsi que le circuit entre les batteries et l'onduleur.

- Si une déconnexion est identifiée, réparer la connexion et observer le fonctionnement de l'onduleur.

PROCEDURE D'OPERATION N°4 : Les modules ne débitent pas.

Comment confirmer ce défaut ?

Si les modules ne débitent pas convenablement, les batteries ne seront pas chargées. Vérifier que les modules sont bien nettoyés.

- Si oui, vérifier les connexions des modules, vérifier les tensions de circuit ouvert et les courants de court-circuit.
- Si la tension de circuit ouvert est faible, vérifier les diodes by-pass de chacun des modules.

Comment réparer ce défaut ?

- Si les modules sont sales, les nettoyer et suivre la charge des batteries.
- Si les connexions sont défectueuses, les rétablir.
- Si les tensions de circuit ouvert sont faibles (environ la moitié de la tension totale par module) et que certaines diodes by-pass sont défectueuses, les changer ou les enlever en vue d'un futur remplacement.

PROCEDURE D'OPERATION N°5 : La charge a augmenté : D'autres récepteurs que ceux prévus ont été branchés.

Comment confirmer ce défaut ?

Les charges prévues pour être alimentées par les systèmes communautaires sont prédéterminées. Si d'autres charges sont branchées sur le système il s'arrêtera plus tôt que prévu.

Comment réparer ce défaut ?

Vérifier si d'autres récepteurs n'ont pas été branchés.

- Si d'autres récepteurs ont été branchés, demander à l'utilisateur de les débrancher et suivre le comportement du système

PROCEDURE D'OPERATION N°6 : Batteries souvent déchargées ou défectueuses.

Comment confirmer ce défaut ?

- Débrancher les batteries des modules et de l'onduleur et laisser reposer au moins pour une heure.
- Mesurer la densité de chaque élément, sa température et sa tension.
- La batterie est composée de plusieurs éléments en série. Une batterie d'une tension maximale de 12 V comporte par exemple 6 éléments d'une tension maximale de 2 V.

Vérifier l'état de charge de chaque élément en vérifiant le lien entre la densité et la tension de la batterie à l'aide de la formule suivante :

$$U / V = D / \text{kg/l} + 0,85$$

avec: U = tension de l'élément en [V]
D = densité de l'électrolyte en [kg/l]

Si U est inférieure à 1,85 V l'élément est déchargé profondément.

Comment réparer ce défaut ?

Effectuer une charge d'égalisation. A cet effet les récepteurs doivent être déconnectés pendant une période qui permet une pleine charge des batteries. Après la charge d'égalisation faites un test de décharge sur la batterie le soir sans charge. Il s'agira de mesurer le comportement de la tension de la batterie avec des niveaux de charge évolutifs (1 lampes, 2 lampes, etc.). Si la tension diminue trop vite, la batterie est défectueuse.

PROCEDURE D'OPERATION N°7 : Charge à la sortie trop faible pour être détectée.

Comment confirmer ce défaut ?

Si l'onduleur est doté d'un dispositif « de stand-by » en mode automatique, il s'éteint quand il n'y a aucune charge. Il ne redémarre que quand il détecte une charge. Si la sensibilité préfixée ne permet pas de détecter la charge alimentée, il ne démarrera pas. Augmenter la charge et suivre le comportement de l'onduleur.

Comment réparer ce défaut ?

Si l'onduleur démarre après l'augmentation de la charge, diminuer progressivement la charge afin de détecter la charge minimale de démarrage de l'onduleur. Si cette charge minimale est fréquente, modifier la sensibilité du seuil de démarrage.

PROCEDURE D'OPERATION N°8 : Câble d'entrée onduleur trop long.

Comment confirmer ce défaut ?

Une chute de tension importante à l'entrée de l'onduleur peut être due au dimensionnement de la section du câble d'alimentation et de la distance entre la batterie et l'onduleur. Vérifier la section du câble installé. Vérifier la distance entre les batteries et l'onduleur. Vérifier la chute de tension maximale admissible en tenant compte du courant maximal :

- Soit à l'aide de la formule :

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{S}$$

avec : ΔU = chute de tension maximale en [V]
 S = section câble actuelle en [mm²]
 ρ = résistivité câble en [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
= 0,01786 $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ pour le cuivre
 I = Intensité de courant en [A]
 L = Longueur actuelle du câble en [m]

- Soit à l'aide de l'abaque de la figure 5-1.

Si la chute de tension constatée est supérieure à 3 %, rapprocher les batteries de l'onduleur.
Si le rapprochement n'est pas possible augmenter la section du câble.

La chute de tension à l'entrée de l'onduleur peut être grande si la charge est trop importante (donc le courant à l'entrée est élevé), bien que le câble à l'entrée ne soit pas trop long.

Vérifier qu'une charge trop importante n'empêche pas le démarrage de l'onduleur. Cette vérification se fera en mesurant ou en évaluant le courant en fonction de la charge et en utilisant l'abaque ci-dessus.

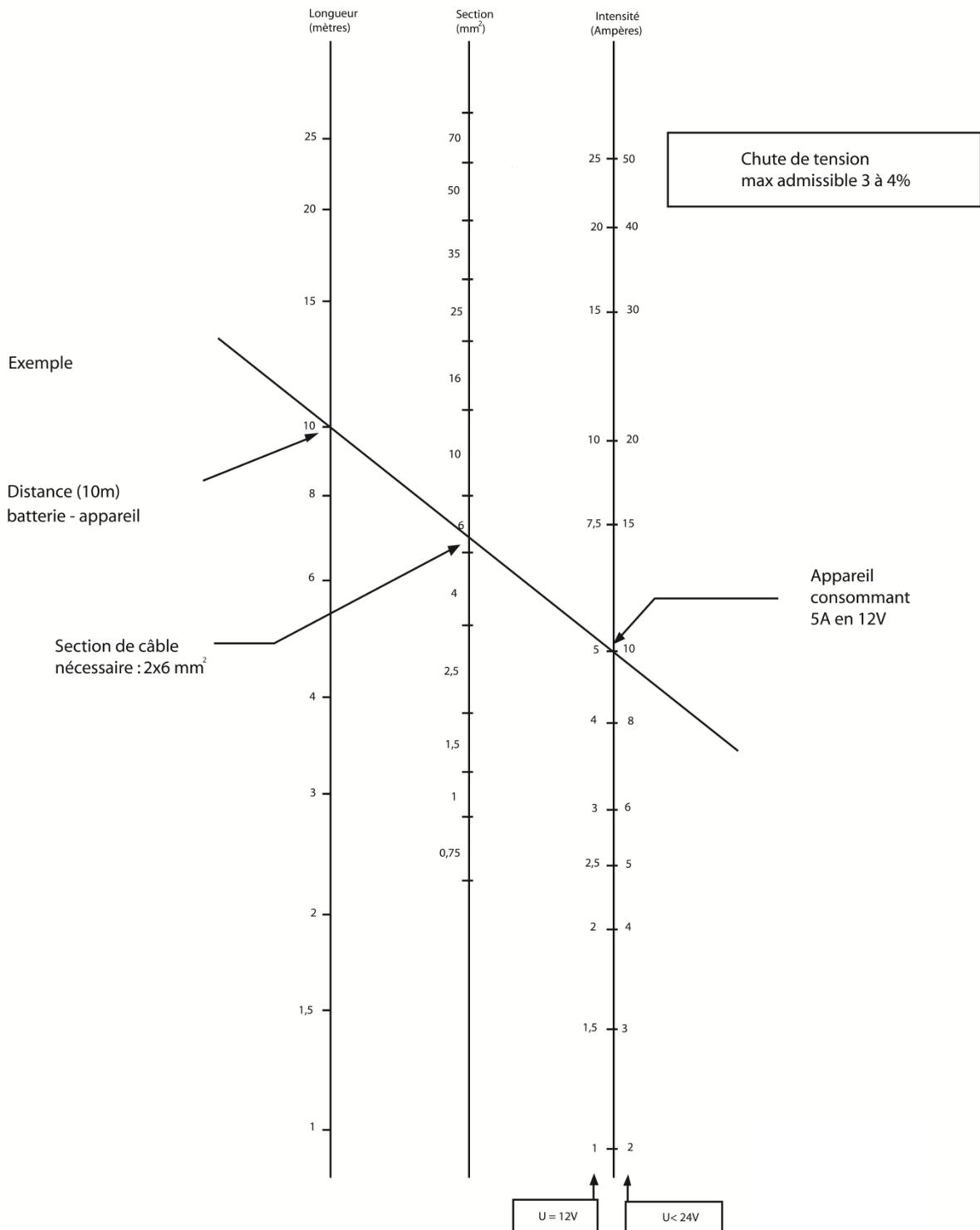


Figure 5-1 : Abaque pour la définition des chutes de tension.

PROCEDURE D'OPERATION N°9 : Régulateur défaillant.

Comment confirmer ce défaut ?

Le régulateur de charge assure la protection en surcharge de la batterie. Il arrête la charge de la batterie quand la tension de celle-ci dépasse un seuil maximal. Si la tension à l'entrée de l'onduleur est supérieure à la tension maximale de fin de charge, le régulateur est peut-être défaillant.

- Mesurer la tension aux bornes des batteries.
- Mesurer la tension aux bornes « batterie » du régulateur de charge.
 - Si ces tensions sont supérieures à la tension de fin de charge (fonction de la température), le régulateur ne régule pas.

Comment réparer ce défaut ?

- Si l'on dispose d'un régulateur de rechange, remplacer le régulateur.
- Si ce régulateur limite la tension, le régulateur d'origine est défectueux.

PROCEDURE D'OPERATION N°10 : Le temps maximum programmé est terminé ou non sélectionné.

La durée d'éclairage à la tombée de la nuit et au lever du jour est programmée sur le régulateur. A l'expiration de la durée programmée la lampe s'éteint.

Comment confirmer ce défaut ?

La sélection de la durée d'éclairage à la tombée de la nuit est programmée par le sélecteur A du panneau de contrôle. La sélection de la durée au lever du jour est programmée par le sélecteur B.

- Vérifier si la durée d'éclairage est bien sélectionnée sur le panneau de contrôle, position du sélecteur différente de 0.
 - Si la durée prévue est bien conforme à la durée prévue, le défaut n'est pas lié à la programmation de la durée.

Comment réparer ce défaut ?

Si la durée programmée n'est pas conforme à la durée prévue, reprogrammer la durée prévue et observer le comportement du lampadaire.

PROCEDURE D'OPERATION N°11 : L'énergie disponible est épuisée.

La durée de fonctionnement du lampadaire dépend de la quantité d'énergie stockée par la batterie.

- Si la quantité d'énergie disponible n'est pas suffisante, les récepteurs ne seront plus alimentés.

Comment confirmer ce défaut ?

Quand l'énergie stockée n'est pas suffisante, la batterie sera profondément déchargée après une utilisation préalable.

- Vérifier, si la LED rouge est allumée. Si elle est allumée, la batterie est déchargée et la sortie de la consommation est désactivée. Mesurer la tension de la batterie. Si elle inférieure à 11,50 V la batterie est profondément déchargée.

Comment réparer ce défaut ?

Si la batterie est déchargée et que la sortie de la consommation est désactivée, laisser recharger la batterie un à deux jours et observer le comportement du lampadaire.

PROCEDURE D'OPERATION N°12 : La batterie ne se charge pas correctement.

Si la batterie est souvent déchargée, elle n'est peut-être pas correctement chargée.

Comment confirmer ce défaut ?

Si le module ne charge pas la batterie, il est peut-être sale ou déconnecté du régulateur.

- a) Vérifier que la LED verte est allumée : Si elle est allumée, le module charge la batterie.
- b) Vérifier que le panneau est bien nettoyé.
- c) Vérifier les connexions entre le module et la batterie. Il est probable qu'un problème de fixation déconnecte momentanément le module de la batterie.

Comment réparer ce défaut ?

- Si la LED verte n'est pas allumée, vérifier la connexion entre le module et la batterie.
- Si la LED verte est allumée, vérifier que le module est bien propre. S'il n'est pas propre, le nettoyer et mesurer le courant de charge en fonction de l'ensoleillement

Enfin vérifier les connexions entre le module et la batterie. Les resserrer si nécessaire.

PROCEDURE D'OPERATION N°13 : L'interrupteur crépusculaire est défaillant.

L'interrupteur crépusculaire permet d'enclencher l'allumage du lampadaire à la tombée de la nuit. Ainsi, le lampadaire ne s'allumera pas, si l'interrupteur crépusculaire est défaillant.

Comment confirmer ce défaut ?

Recouvrir la cellule de l'interrupteur pour simuler l'obscurité.

- Si la lampe s'allume, l'interrupteur n'est pas défaillant.
- Si la lampe ne s'allume pas, vérifier le dispositif électronique d'amorçage de l'interrupteur.

Comment réparer ce défaut ?

Si l'interrupteur crépusculaire est défaillant, le remplacer.

PROCEDURE D'OPERATION N°14 : Le récepteur est défaillant.

Comment confirmer ce défaut ?

Démonter la lampe fluorescente et la vérifier.

- Si une lampe de rechange est disponible la remplacer et observer le fonctionnement du lampadaire.
- Si le lampadaire ne fonctionne pas, la lampe n'est peut-être pas défaillante.

Comment réparer ce défaut ?

- Si la lampe fluorescente est défaillante, la remplacer et observer le fonctionnement du lampadaire.

PROCEDURE D'OPERATION N°15 : Le Régulateur-temporisateur ou le dispositif de commutation est défaillant.

Le régulateur gère la charge et la décharge de la batterie, contrôle le fonctionnement de l'interrupteur crépusculaire. Le dispositif de commutation gère .les durées de fonctionnement.

Comment confirmer ce défaut ?

Si aucune des recherches précédentes n'a été concluante, ces dispositifs sont peut-être défaillants.

Comment réparer ce défaut ?

Remplacer le dispositif de commutation et observer le comportement du lampadaire.

- Si le lampadaire ne fonctionne toujours pas, remplacer le régulateur et observer le comportement du lampadaire.

7 ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'entretien

Site

Date

Champ PV

Etat général : Etat câblage : Ombre portée :	Mesures : heure : Ensoleillement (état ciel) : Icc : Uco : Im Uch :
--	---

Batteries

Etat général Aération local batterie : Autres tâches réalisées :	Mesures heure : Densité [kg/l] <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>Cel. 1</th> <th>Cel. 2</th> <th>Cel. 3</th> <th>Cel. 4</th> <th>Cel.5</th> <th>Cel6</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> Température [°C] <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>Cel. 1</th> <th>Cel. 2</th> <th>Cel. 3</th> <th>Cel. 4</th> <th>Cel.5</th> <th>Cel6</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> Tension [V] <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>Cel. 1</th> <th>Cel. 2</th> <th>Cel. 3</th> <th>Cel. 4</th> <th>Cel.5</th> <th>Cel6</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Cel. 1	Cel. 2	Cel. 3	Cel. 4	Cel.5	Cel6							Cel. 1	Cel. 2	Cel. 3	Cel. 4	Cel.5	Cel6							Cel. 1	Cel. 2	Cel. 3	Cel. 4	Cel.5	Cel6						
Cel. 1	Cel. 2	Cel. 3	Cel. 4	Cel.5	Cel6																																
Cel. 1	Cel. 2	Cel. 3	Cel. 4	Cel.5	Cel6																																
Cel. 1	Cel. 2	Cel. 3	Cel. 4	Cel.5	Cel6																																

Régulateur de charge

Etat général : Connexions : Vérification des indications	Autres tâches réalisées :
--	---------------------------

Onduleur :

Etat général : Connexions : Vérification des indications :	Autres tâches réalisées :
--	---------------------------

Etat général du câblage :

Observations et remarques :

Intervenants

Responsable centre

Annexe 2 : Inspection visuelle : Fiche d'enregistrement de défauts des modules

Date d'inspection :

Techniciens :

Eléments	Type de défaut	Module N°				
		1	2	3	4	
Module	distordu					
Cadre	Oxydé					
	Déplacé					
	endommagé					
Joint cadre	déplacé					
	Autres défauts					
Encapsulation	Prise d'air					
	délamination					
	Infiltration d'eau					
Cellules	cassées					
	détériorées					
Connexion et jonction des cellules	décolorées					
	déplacées					
	cassées					
Face avant	cassée					
	Autres défauts					
Face arrière	cassée					
	Autres défauts					
Boîtes de connexion	détériorée					
	Infiltration d'eau					
	Diode claquée					
Observations :						

Intervenants :

Responsable du Centre

Annexe 5 : Consigne de la charge préalable des batteries

Date : _____				Site: type de système			
Type de source chargeante :							
<ul style="list-style-type: none"> • Générateur PV : • Autres sources : 							
Densité de l'électrolyte avant remplissage :							
Courant moyen de charge _____ :							
Heure début charge : _____				heure fin charge : _____			
Date début charge : _____				date fin charge : _____			
Densité 2h après remplissage		Densité par élément		Valeurs		observations	
tension : _____ V		élément 1.					
		élément 2.					
		élément 3.					
		élément 4.					
		élément 5.					
		élément 6.					
Température : _____ °C							
2h après fin de charge préalable :		Densité par élément		Valeurs		observations	
Tension : _____ V		élément 1.					
		élément 2.					
		élément 3.					
		élément 4.					
		élément 5.					
		élément 6.					
Température : _____ °C							

Annexe 6 : Fiche d'installation

FICHE D'INSTALLATION

Communauté rurale

Site.....

Date d'installation	:
Date du premier entretien	:
Date du deuxième entretien	:

MODE DE MONTAGE DU MODULE									
O		sur toit							
	O	sur sol							
O		attention ombre							
			O lieu dégagé						
RECEPTEURS									
Nombre de points lumineux :									
<u>Lieu d'installation</u>									
Point lumineux 1	Point lumineux 3						
Point lumineux 2	Point lumineux 4						
MESURES									
* Avant branchement									
batterie tension : V									
densité b+ <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table> b-									
* Après installation du régulateur									
tension module	:	V						
tension batterie	:	V						
tension utilisation	:	V						

Installateurs

Date, signature de l'utilisateur

Annexe 7 : Fiche de réception provisoire/Fiche définitive (après la durée de la garantie)**FICHE DE RECEPTION PROVISOIRE – SHS**

Nom de l'abonné (ou type de structure communautaire) : _____

Village et Communauté Rurale : _____

Date de mise en service du système : _____

INSPECTION VISUELLE**Modules photovoltaïques et support**

Contrôle de l'état du module : conforme # non-conforme #

Orientation et inclinaison du module : Direction ____ Angle ____ conforme # non-conforme #

Présence d'ombres portées pouvant couvrir le module : oui # non #

Accessibilité du module pour la maintenance : oui # non #

Inspection du câblage : conforme # non-conforme #

Commentaires sur câblage : _____

Configuration de support utilisé : sur façade # sur sol #

Inspection du support : conforme # non-conforme #

Commentaires sur support : _____

Batterie

Conformité du local d'implantation de la batterie : conforme # non-conforme #

Commentaires sur le local : _____

La batterie repose sur un support adéquat : oui # non #

Commentaire sur le support de batterie : _____

Accessibilité pour la maintenance : oui # non #

Contrôle visuel du niveau d'électrolyte : bon # à compléter #

Régulateur de charge

Conformité du local d'implantation du régulateur : conforme # non-conforme #

Commentaires sur le local : _____

Le régulateur est installé de façon à ce que son affichage soit visible : oui # non #

Les éléments du système sont connectés au régulateur en respectant les polarités : oui # non #

Vérifier les chutes de tension admissibles à l'aide des abaques :

Distance Module - Régulateur - Batterie acceptable : oui # non # en mètres : _____

Câblage des installations intérieures

L'installation complète des systèmes est réalisée de façon soignée : oui # non #

Régularité et alignement des points de fixation : oui # non #

Remise en l'état des murs après perçage : oui # non #

Réalisation du câblage et connexions : conforme # non-conforme #

Réserves à la conformité : _____

Vérification des installations intérieures :

Un interrupteur par point lumineux est installé oui # non #

Chaque lampe doit être placée à une hauteur au sol de 1,80 m : oui # non #

La distance Boîte de dérivation - Lampe est inférieure à 3 mètres : oui # non #

Les boîtes de dérivation sont hors de portée des enfants : oui # non #

La distance Boîte de dérivation - Interrupteur est inférieure à 1,5 m : oui # non #

La distance entre un interrupteur, une prise, une boîte de connexion, un régulateur et la plus proche attache de chacun des câbles qui y parvient est de 5 cm : oui # non #

La prise à courant continu est correctement installée : oui # non #

Le convertisseur DC/DC est correctement installé : oui # non #

Le réglage de la tension du convertisseur à été faite selon la tension de la charge qui lui est affectée :
 oui # non #

INSPECTION TECHNIQUE

Vérification des paramètres techniques du module :

Avant la mise en service (module installé sur son support mais non connecté au régulateur) :

Tension à vide aux bornes du module (U_{Co}) : _____ Volt

Intensité de court circuit débitée par le panneau (I_{cc}) : _____ A

Préciser les conditions de test : Ciel dégagé # Nuageux # heure _____

Vérification des paramètres techniques du régulateur :

L'affichage LED du régulateur fonctionne : oui # non #

Tension mesurée au régulateur : U(module) = _____ Volts

U(batterie) = _____ Volts

U(charges) = _____ Volts

Vérification des paramètres techniques de mise en service des batteries :

Densité de l'électrolyte avant remplissage :

Courant moyen de charge :

Heure début charge : _____ heure fin charge : _____

Date début charge : _____ date fin charge : _____

Densité 2h après remplissage	Densité / élément	Valeur mesurée	Valeur corrigée	observations
Tension : V	élément 1.			
	élément 2.			
	élément 3.			
	élément 4.			
	élément 5.			
	élément 6.			
Température : °C	élément 1.			
	élément 2.			
	élément 3.			
	élément 4.			
	élément 5.			
	élément 6.			
2h après fin de charge préalable :	Densité / élément	Valeur mesurée	Valeur corrigée	
	élément 1.			
	élément 2.			
	élément 3.			
	élément 4.			
	élément 5.			
Tension : V	élément 1.			
	élément 2.			
	élément 3.			
	élément 4.			
	élément 5.			
	élément 6.			
Température : °C	élément 1.			
	élément 2.			
	élément 3.			
	élément 4.			
	élément 5.			
	élément 6.			

Conclusions de l'inspection technique :

Je soussigné _____, s/c _____ certifie que le kit photovoltaïque nommé ci-dessus à été inspecté et est conforme aux prescriptions d'installation du constructeur et répond aux normes internationales en vigueur :

CONFORME #

NON-CONFORME #

Conformité sous réserve de modification :

Fait à _____, le _____,

Représentant Opérateur :

Annexe 8 : Expériences

Voir expériences 1 à 10 de *SOLARTRAINER Profi, Instruction relatives aux expériences, Laboratoire de recherche fondamentale en photovoltaïque*, de IKS Photovoltaik, Edition 06/2009 :

- Expérience 1 :** Enregistrement de la courbe caractéristique d'une diode
Enregistrement de la courbe caractéristique d'un bandeau de diodes
- Expérience 2 :** Enregistrement de la courbe caractéristique d'un module solaire
- Expérience 3 :** Enregistrement de la courbe caractéristique d'un module solaire pour de différentes irradiances
- Expérience 4 :** Influence de la température sur la courbe caractéristique d'un module solaire
- Expérience 5 :** Influence de l'angle d'inclinaison sur la puissance fournie par un module solaire
- Expérience 6 :** Enregistrement de l'évolution de la hauteur du soleil pendant toute une journée en été et en hiver
- Expérience 7 :** Connexion de modules solaires en série
- Expérience 8 :** Connexion de modules solaires en parallèle
- Expérience 9 :** Ombrage de modules solaires sans diode by-pass
- Expérience 10 :** Ombrage de modules solaires avec diode by-pass

COMPOSANTS DU SOLARTRAINER

	Qt			
ST01	1X	Connecteur de modules solaire		
ST02 230/50-30	4X	Simulateur du module solaire		
ST03	1X	Boite à borne du générateur		
ST04	1X	Contrôleur de charge		
ST05 O 230V/50	1X	Onduleur d'exploitation parallèle		
ST06 S 230V/50	1X	Onduleur de réseau sinusoïdal		
ST07 230V	1X	Onduleur de charge AC		
ST08	1X	Connexion de charge DC		
ST09	1X	connexion de batterie		
ST11 230V/50Hz	1X	Rectificateur de AC		
ST13 400/230V	1X	Réseau public 400/230V/50-60Hz		
ST14 230V/50Hz	1X	Cadre du module monocristallin		
ST16	1X	Diode/diode liée		
ST19	1X	Définisseur de piste d'essai		
ST20 AC 230V	1X	les charges électriques à courant alternatif composés de:		
	2X	charge ampoule de 60W 230/50-60Hz		
	1X	charge ampoule de 9W 230/50-60Hz		
ST20 DC	1X	charge électrique DC composée de:		
	1X	chargeur de 12V pour ampoule de 50W		
ST20 RW	1X	charge électrique DC composée de:		
	1X	Résistance réglable de 15 Ohm/5,5A		
	1X	Résistance réglable de 170 Ohm/1,7A		
	1X	Résistance réglable de 325 Ohm/1,2A		
	1X	Résistance réglable de 15,8 Ohm/0,17A		
ST21	1X	Batterie solaire		
ST23	1X	Compteur à courant continu (DC)		
ST24	1X	multimètre à 2 pièces		
ST27 230V	1X	Alimentation à tension variable 0-30 V / 0-2,5 A 230V/50-60Hz		
ST96	1X	table de laboratoire		
ST97	1X	instruction d'expérimentation		
ST98	1X	manuel		
ST99 10 Module	1X	cadre réceptif pour 10 modules		