

MASTER MICRO ÉLECTRONIQUE ET DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES

ANNÉE UNIVERSITAIRE: 2016/2017

Cours:

Systemes photovoltaïques

**Prof. Abdelhamid
BENHAYA**

Director of Advanced
Electronics Laboratory
Head of Clean room
Department of
Electronics

Faculty of Technology
University of Batna 2
Rue Chahid Boukhrouf
Mohamed El Hadi
05000 Batna , Algeria

e-mail:

a.benhaya@univ-batna2.dz
benhaya_abdelhamid@yahoo.fr

Tel: +213 (0)7 73 87 37 84

BIBLIOGRAPHIE

Référence de base

- ⊙ Alain Ricaud, Systèmes photovoltaïques, Cours Polytech' Savoie 5eme année, Octobre 2011.

Autres références

- ⊙ <http://pascal.buhler.pagesperso-orange.fr/panneaux.htm>.

Les Panneaux Solaires.

- ⊙ Mansour Assani Dahouenon, Le manuel du Technicien Photovoltaïque, Edition Peracod 2011.

<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696>

<http://www.photovoltaique.info/Points-cles-pour-une-installation.html>

HISTOIRE

- ◉ **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque (transformation directe d'énergie portée par la lumière en électricité).
- ◉ **1875** : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- ◉ **1954** : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- ◉ **1958** : Une cellule avec un rendement de 6 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- ◉ **1973** : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- ◉ **1983** : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.
- ◉ La recherche se porte aujourd'hui sur des polymères et matériaux organiques (éventuellement souples) susceptibles de remplacer le silicium.

GÉNÉRALITÉS

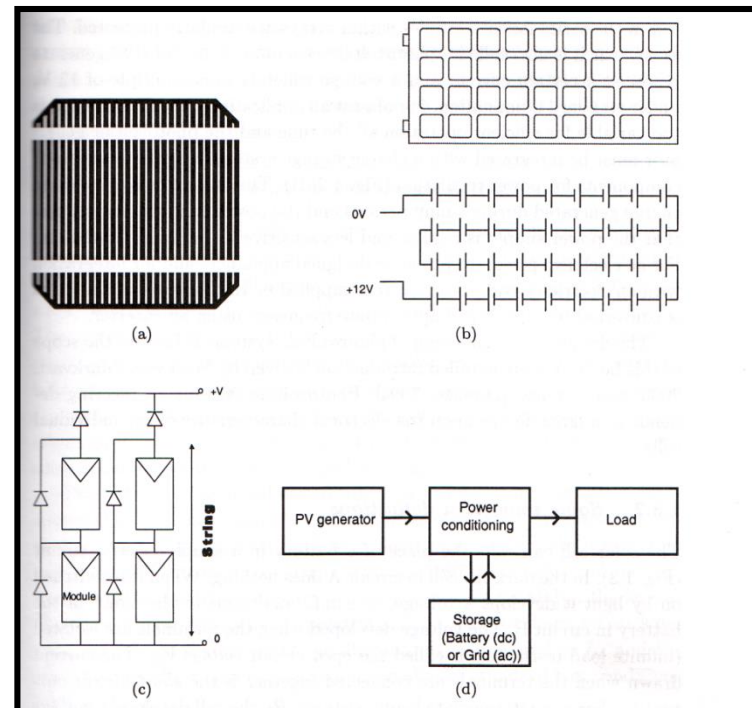
DÉFINITIONS DE BASE

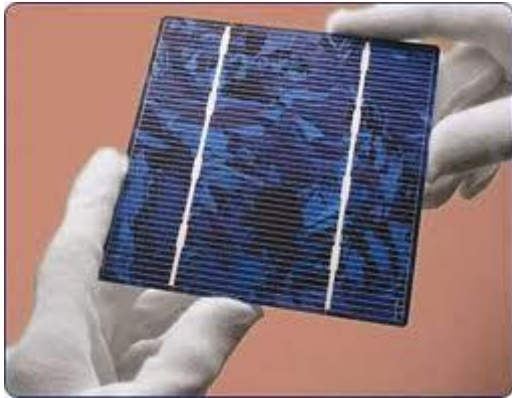
Une cellule photovoltaïque ou solaire est un dispositif d'une surface de l'ordre de 100 cm^2 qui génère une tension de 0.5 à 1 V et un courant de court circuit de quelques dizaines de milliampères.

Un module est l'association de cellules en série et en parallèle (28 à 36 cellules) pour générer une tension de l'ordre de 12V.

Un panneau photovoltaïque est l'association de plusieurs modules pour obtenir une puissance importante.

Un générateur photovoltaïque est l'association de plusieurs panneaux pour générer la puissance requise par une installation.

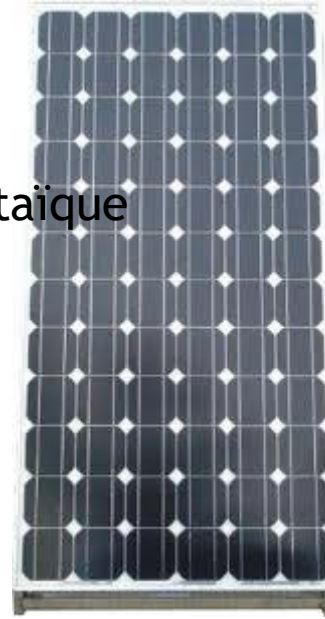




Cellule photovoltaïque



Module
Photovoltaïque



Panneau
Photovoltaïque



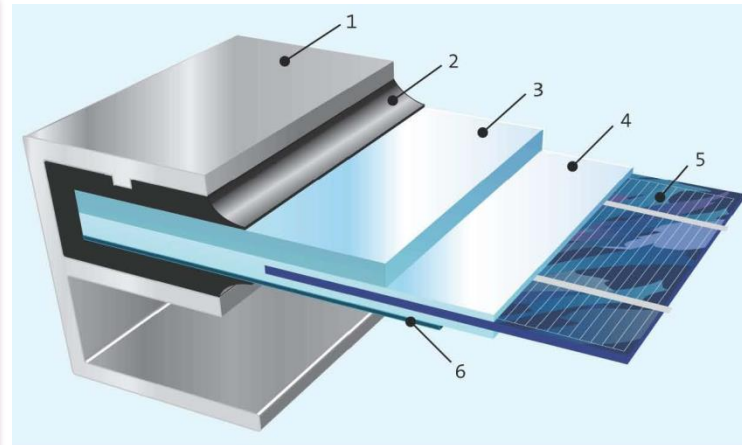
Générateur
Photovoltaïque



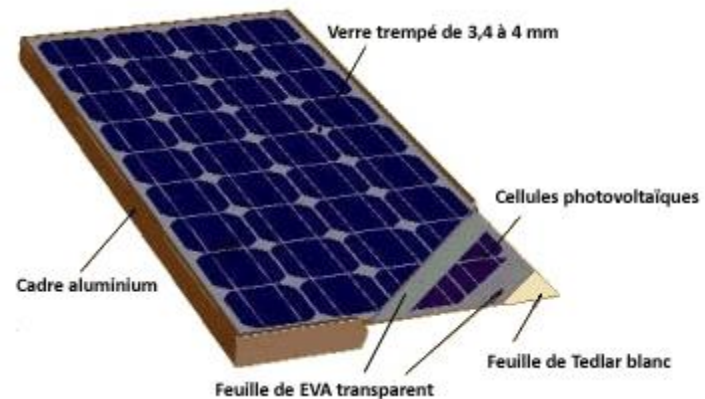
CONSTITUTION D'UN MODULE

Un module est constitué des cellules associées en série/parallèle encapsulées et protégées par :

- ◉ Face avant en verre;
- ◉ Enrobage des cellules (l'Acétate d'éthylène-vinyl (EVA));
- ◉ Protection Face arrière;
- ◉ Un Boîtier de connexion;
- ◉ Un joint périphérique;
- ◉ Un cadre



- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Cadre en aluminium | 4. Support EVA |
| 2. Joint d'étanchéité | 5. Cellule cristalline |
| 3. Verre | 6. Film Tedlar |

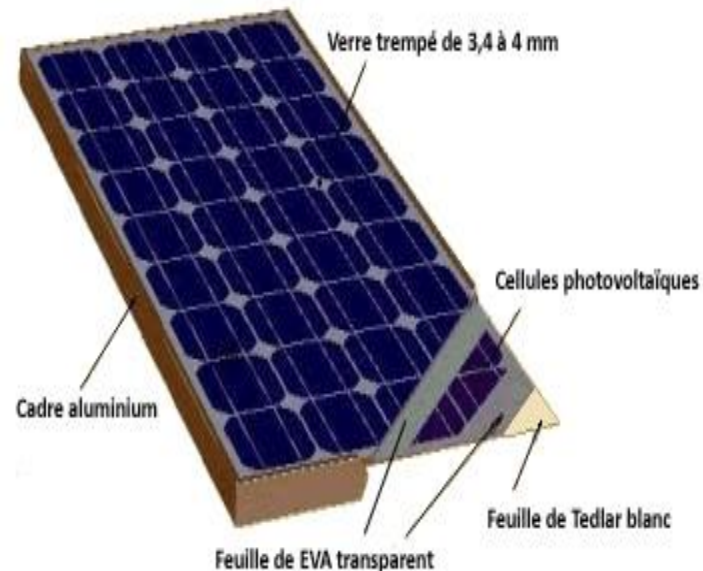


CONSTITUTION D'UN MODULE

Propriétés face avant

La face avant du module doit être en verre ayant les caractéristiques suivantes :

- Bonne transparence
- Résistance à l'impact et à l'abrasion (grêle, jet de pierres, vent de sable, nettoyage au chiffon).
- Etanchéité à l'humidité.



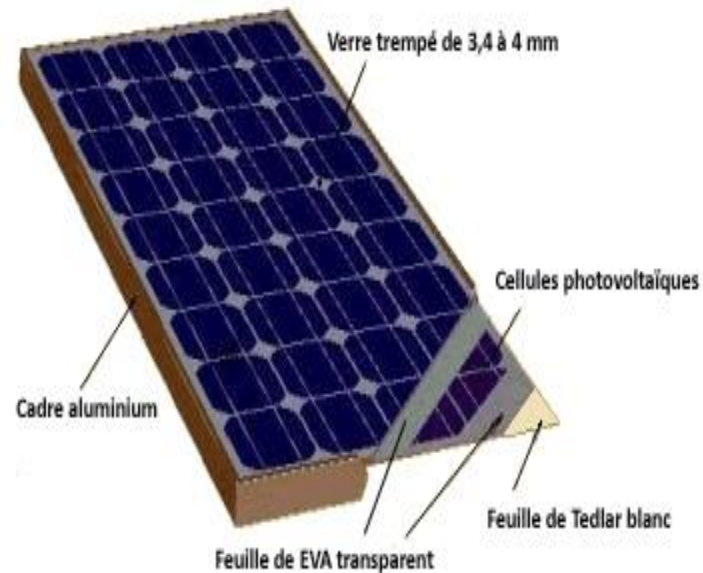
CONSTITUTION D'UN MODULE

Propriétés enrobage

L'enrobage des cellules a les caractéristiques suivantes :

- 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-vinil (EVA).



CONSTITUTION D'UN MODULE

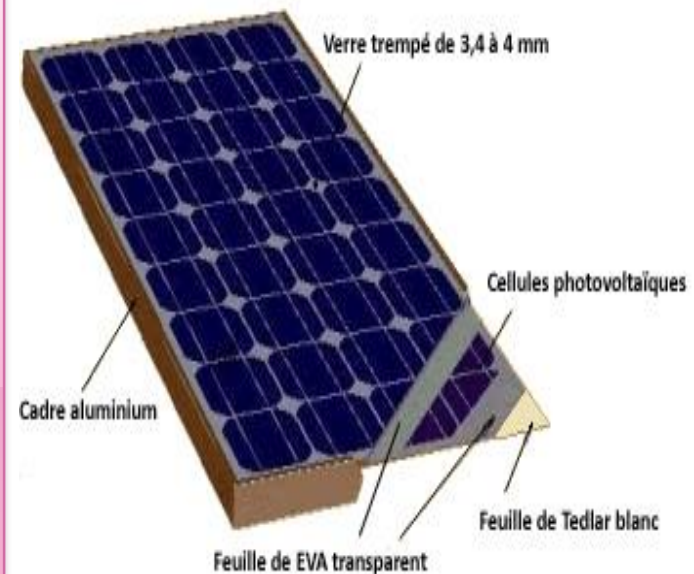
Propriétés face arrière

Face arrière, un matériau ayant les caractéristiques suivantes :

- Protection mécanique contre le poinçonnement et les chocs (risque de mise à nu et de bris des cellules).
- Etanchéité 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).



CONSTITUTION D'UN MODULE

Un Boîtier de connexion qui permet :

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



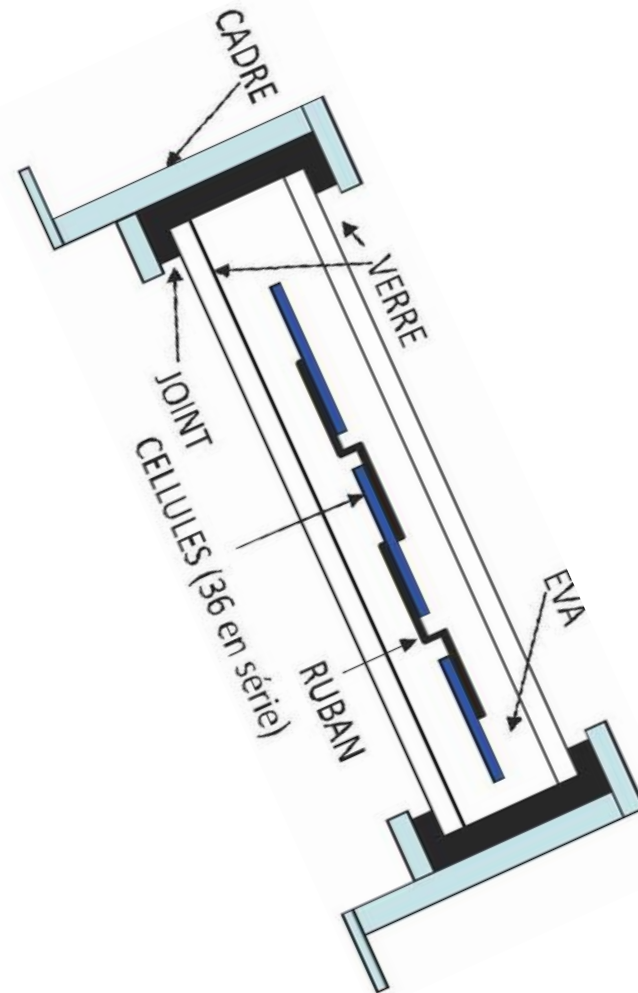
CONSTITUTION D'UN MODULE

Propriétés joint périphérique

- Il évite les pénétrations d'humidité entre la face avant et la face arrière.

Propriétés du cadre

- Il permet le montage et la fixation mécanique, tout en participant, si nécessaire, à la rigidité du module.
- Il 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.



SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

SUPPORTS ET CHÂSSIS DES PANNEAUX SOLAIRES

Les supports des panneaux doivent répondre à des exigences telles que:

- Résistance mécanique (vent);
- Tenue à la corrosion;
- Conductivité thermique;
- Facilité d'assemblage;
- Poids.

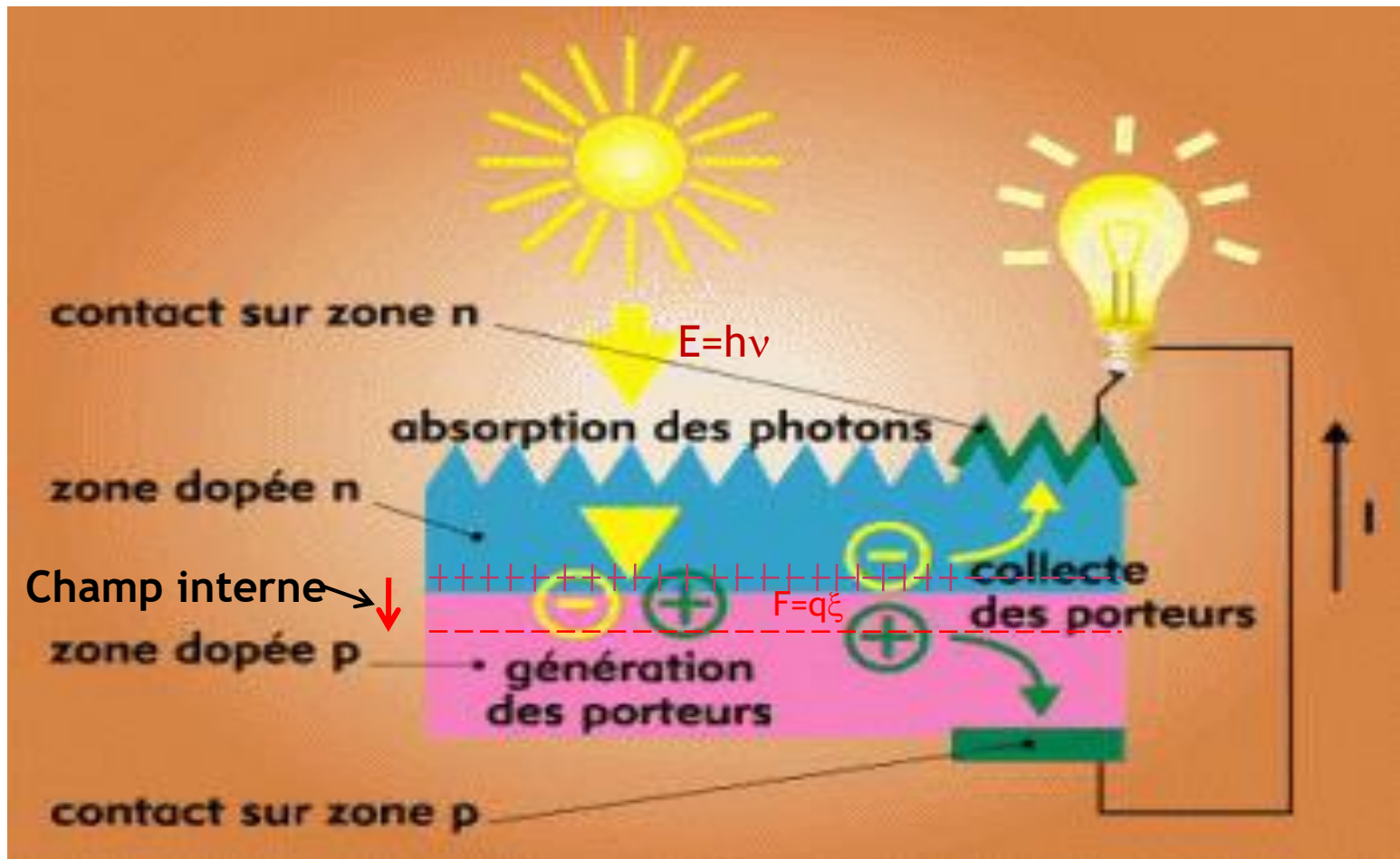


Les châssis existants sont fonction du nombre de modules et de leur taille, du support d'implantation. On trouve:

- Dalle;
- Mur;
- Toit.



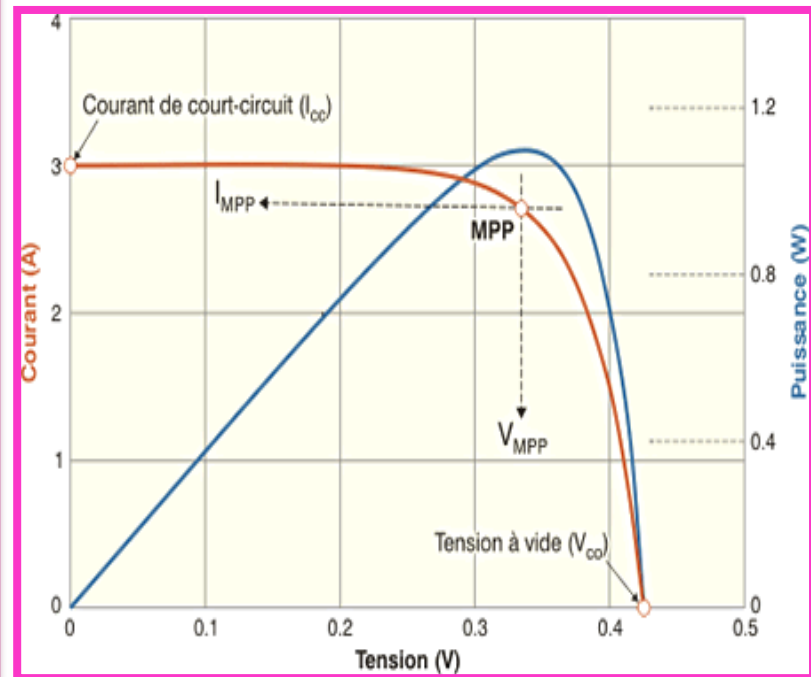
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



CARACTÉRISTIQUE I(V) D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

Paramètres d'une cellule photovoltaïque

- Sa tension à vide V_{co} : Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.
- Son courant court-circuit I_{cc} : Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.
- Son point de puissance maximal MPP:
obtenu pour une tension et un courant optimaux : V_{opt} , I_{opt} (parfois appelés aussi V_{mpp} , I_{mpp}).



CONDITIONS STANDARDS DE TEST (STC)

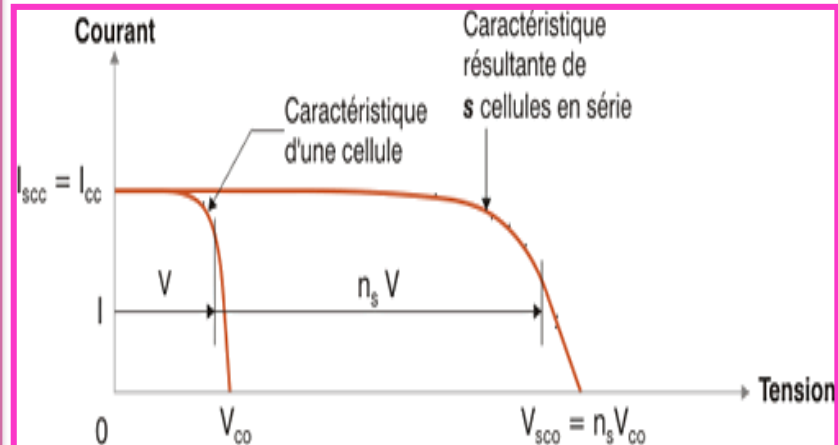
Pour permettre une comparaison du rendement de différentes cellules, on relève les caractéristiques $I(V)$ dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions).

Ces conditions sont :

- *Eclairement: $1\ 000\ \text{W/m}^2$*
- *température de $25\ ^\circ\text{C}$,*
- *conditions spectrales: Air Mass 1.5 (ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale).*

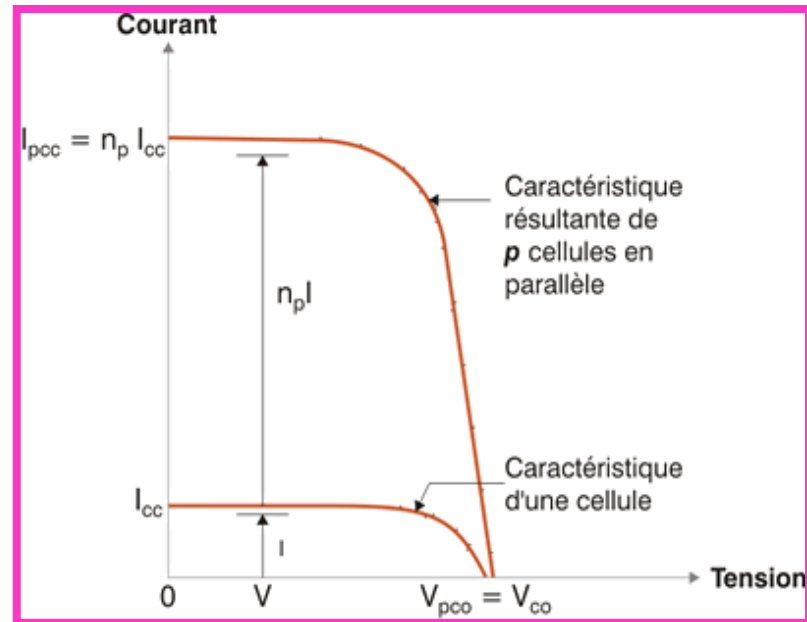
ASSOCIATION DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES EN SÉRIE

Par association en série (appelée "String"), les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules



ASSOCIATION DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES EN PARALLÈLE

Par association en **parallèle**, les cellules sont soumises à la **même tension** et le **courant** résultant correspond à la **somme des courants** générés par chacune des cellules.

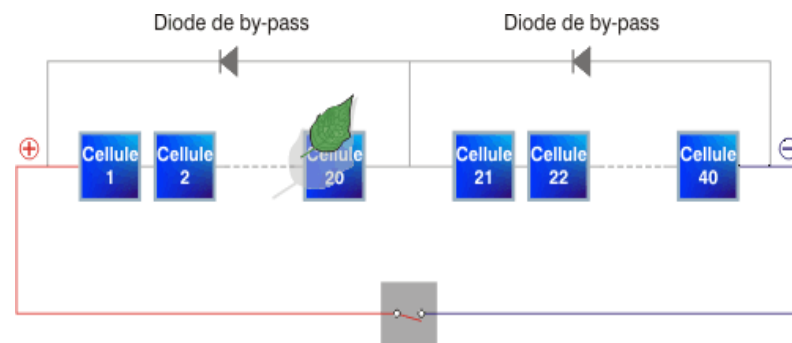
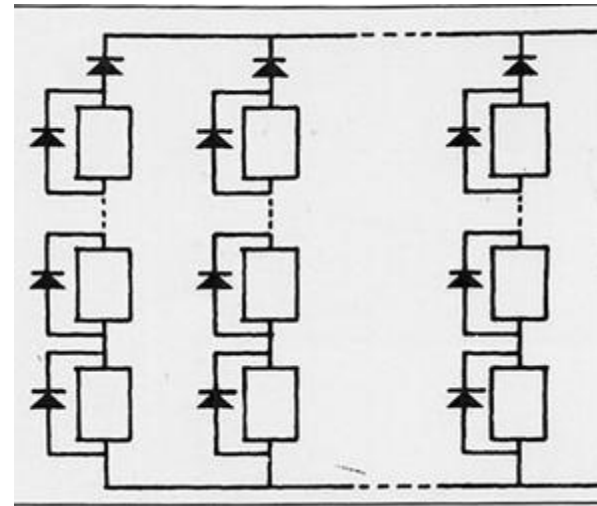


DIODES BY-PASS ET ANTI-RETOUR

Sous certaines conditions, la cellule la plus faible peut alors se comporter comme une cellule réceptrice, dissipant la puissance générée par la cellule la plus forte.

Cette cellule peut même être détruite si la contrainte ou la température devient trop importante.

Pour éviter ce phénomène, on place des diodes de by-pass en parallèle et des diodes anti-retour en série (empêchant tout courant ou tension inverses).



EFFET DES DIODES DE BY-PASS

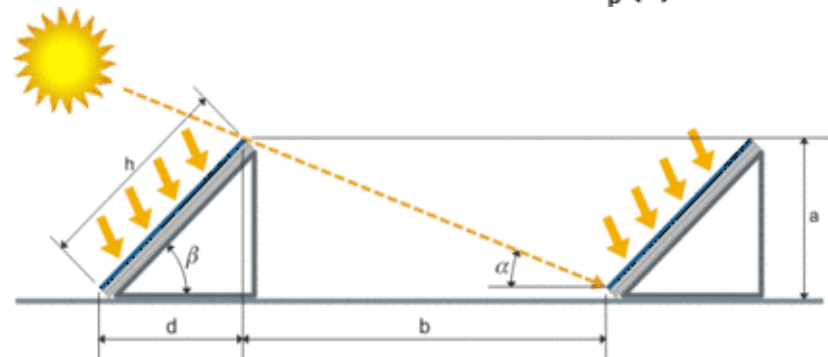
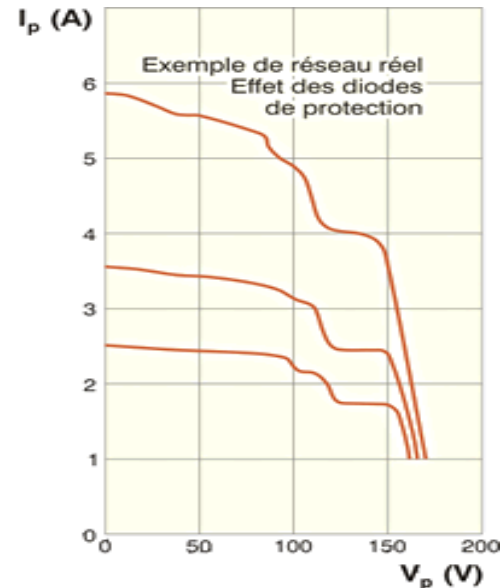
L'utilisation de ces by-pass induit néanmoins des perturbations de la courbe caractéristique, modifiant le point de puissance maximal du module.

Pour limiter l'ombrage temporaire (feuille, saleté,...) on introduit une inclinaison de 15° pour avoir l'auto nettoyage du vitrage.

Pour limiter l'ombrage entre panneau, il faut bien calculer l'entre-axe :

Entre axe = $d + b = h (\cos \beta + \sin \beta / \text{tg } \alpha)$

$\beta = 35^\circ$ et $\alpha = 16^\circ$

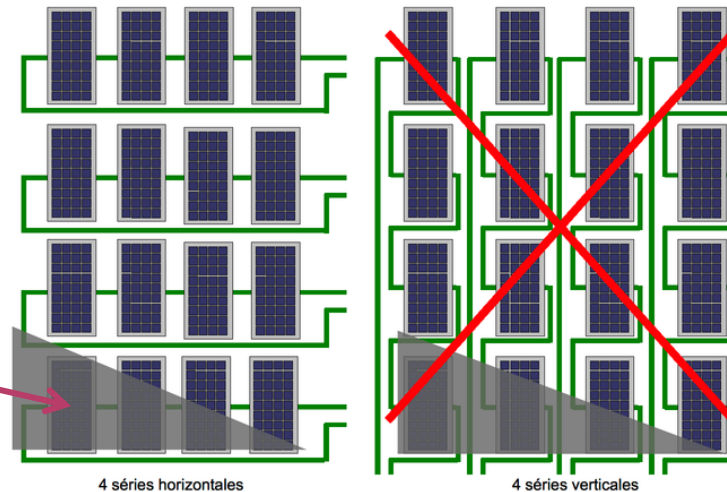


CÂBLAGE EN SÉRIE

Un câblage judicieux des séries de module en fonction des ombrages sur l'installation permet de minimiser la perte engendrée par les masques.

on cherchera donc à éviter au maximum les différences d'éclairement au sein d'une même série.

C'est pourquoi on associera autant que possible les modules ombragés en même temps au sein d'une même série.



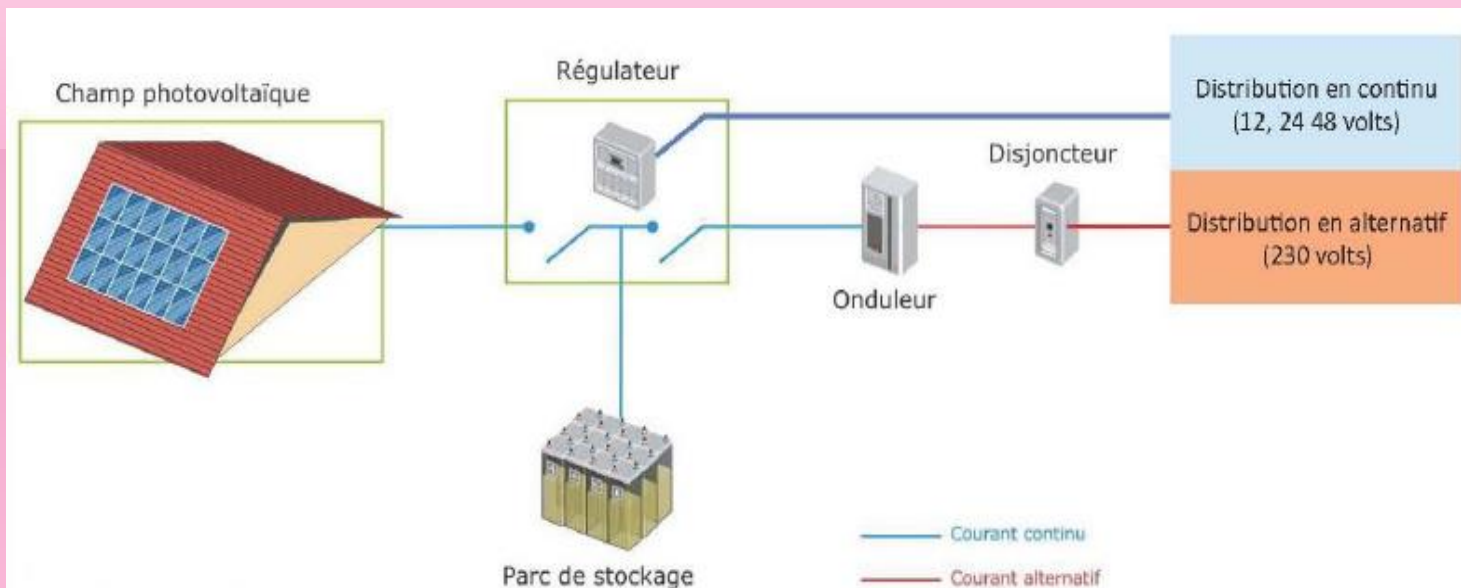
4 séries horizontales

4 séries verticales

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

DÉFINITION D'UN SYSTÈME PV

Un système photovoltaïque est un dispositif qui convertit directement l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. L'élément de base de ce système est la cellule photovoltaïque aussi appelée cellule solaire.



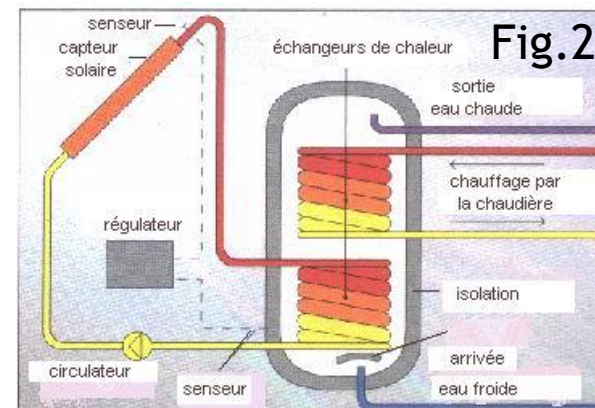
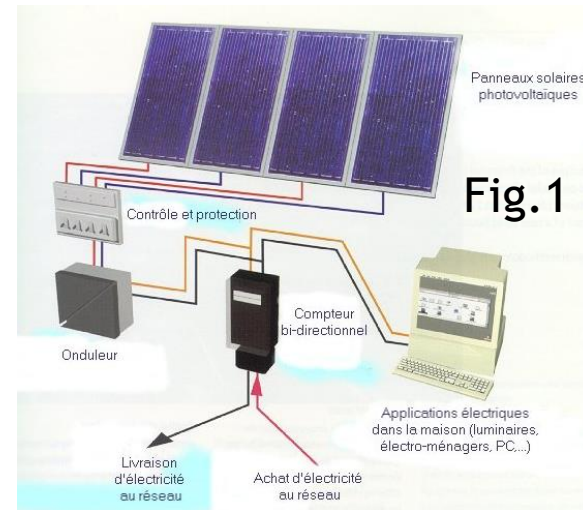
DIFFÉRENTS TYPES DE PANNEAUX SOLAIRES

Remarque importante:

Quand on parle de panneaux solaires, Il est important de savoir qu'il existe deux sortes de panneaux solaires:

Les panneaux à énergie électrique qui transforme directement le rayonnement solaire en énergie électrique (Fig.1).

Les panneaux à énergie thermique qui transforment de l'eau froide qui passe dans les panneaux en eau chaude (Fig.2).



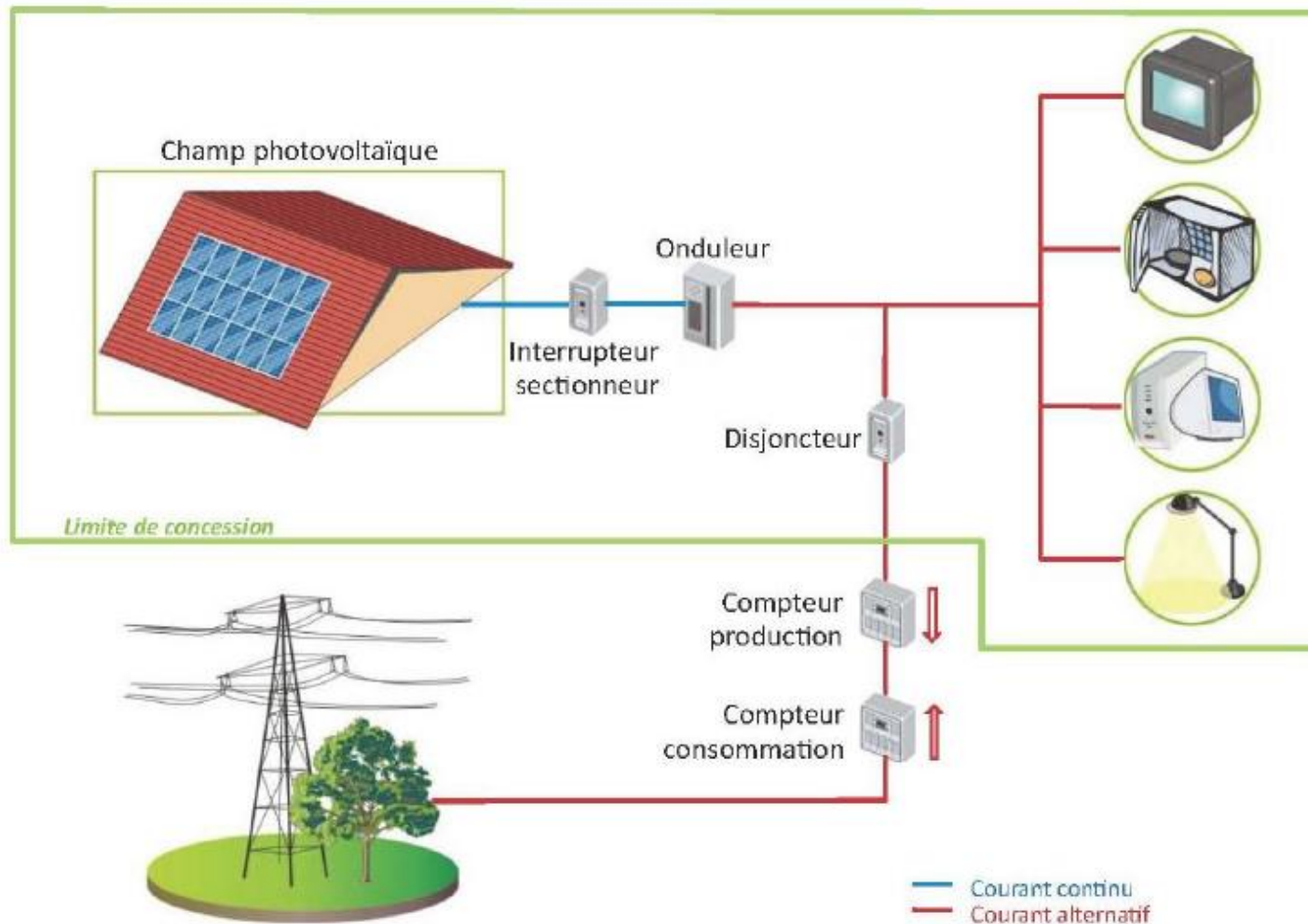
COMPOSITION D'UN SYSTÈME PV

Un système photovoltaïque se compose des éléments suivants:

- ◉ Un générateur PV (ensemble de panneaux photovoltaïques interconnectés pour délivrer un courant et une tension requis)
- ◉ Un système d'orientation ou de suivi (Tracking system),
- ◉ Une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),
- ◉ Un stockage pour remédier à la nature aléatoire de la source solaire (nuage, alternance jour et nuit)
- ◉ Un convertisseur DC/AC ou onduleur (les cellules fournissent un courant continu)
- ◉ Une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard

SCHÉMA ÉLECTRIQUE TYPE D'UN SYSTÈME PV

Système photovoltaïque raccordé au réseau (vente surplus)



DIFFÉRENTS TYPES DE SYSTÈMES PV

Il existe 3 types de systèmes PV

- Systèmes PV avec stockage électrique (utilisation de batteries d'accumulateurs électrochimiques par exemple).

Ces systèmes PV alimentent des appareils d'utilisation selon 2 modes :

- soit directement en courant continu;
 - soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un convertisseur CC-CA (utilisation d'un onduleur)
- Systèmes à couplage direct sans batterie (fonctionnement appelé aussi “au fil du soleil”).
Dans ce cas, les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu - continu (adaptateur d'impédance)
 - Systèmes connectés au réseau local par l'intermédiaire d'un onduleur piloté à la fréquence du réseau (dans ce cas le réseau servant de stockage).

**PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
CAS DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC
STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE**

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

CARACTÉRISTIQUES

Le stockage électrochimique par batterie d'accumulateurs offre:

- ◉ Une bonne réversibilité entre la décharge et la recharge;
- ◉ Actuellement, les batteries au Plomb acide offrent un des meilleurs compromis entre service rendu et coût d'exploitation.

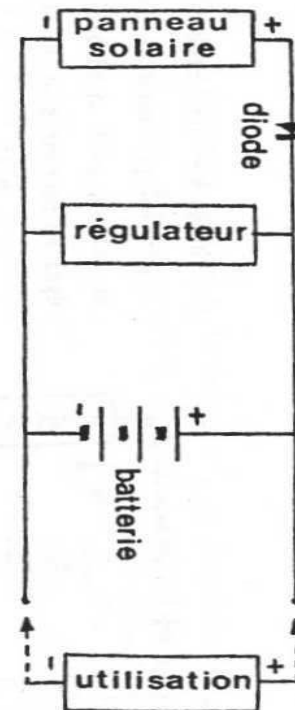
SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- Le panneau solaire charge la batterie en période d'ensoleillement.
- La batterie d'accumulateurs assure le stockage journalier et / ou saisonnier de l'énergie électrique.
- La diode anti-retour évite la décharge des accumulateurs à travers le panneau solaire en période d'obscurité.
- Le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge et éventuellement contre les décharges profondes occasionnelles.

Remarque:

Chaque composant du système devra être choisi en fonction des contraintes techniques et économiques.

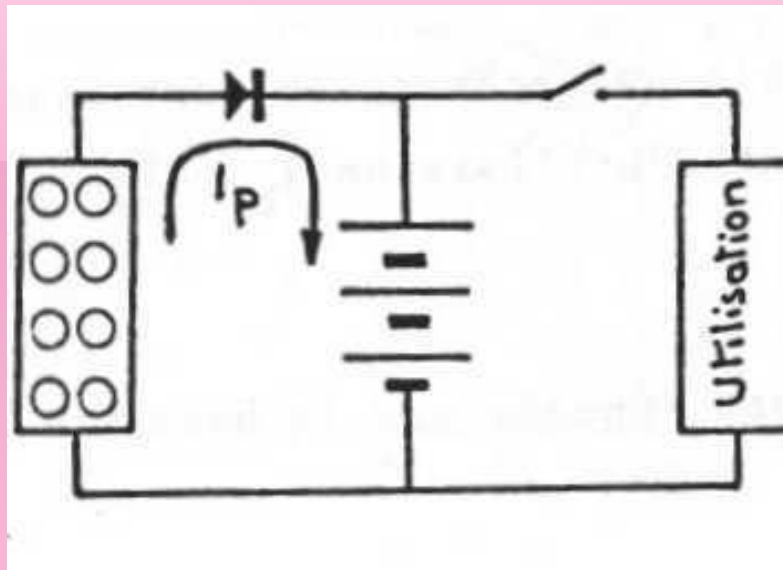


SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

MODES DE FONCTIONNEMENT

Premier mode : déconnexion de la charge

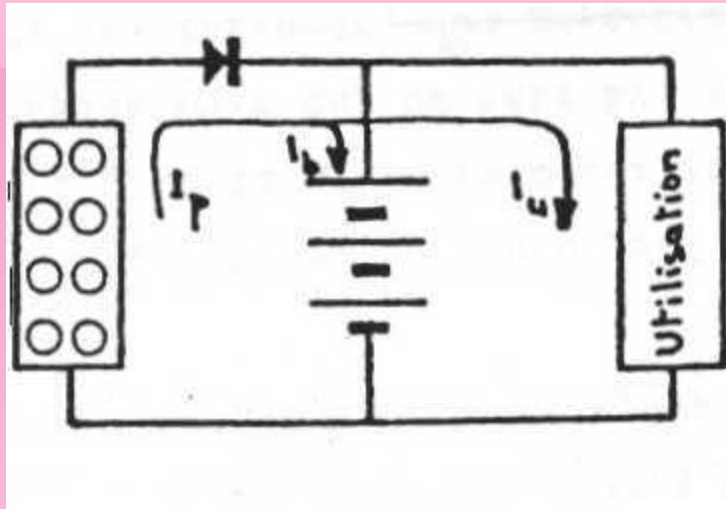
La charge est déconnectée. Le courant du panneau solaire, fonction de l'ensoleillement, charge la batterie.



SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE MODES DE FONCTIONNEMENT

Deuxième mode : excédent de courant

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire est supérieur au courant d'utilisation. Le courant excédentaire charge la batterie : $I_p = I_B + I_U$.



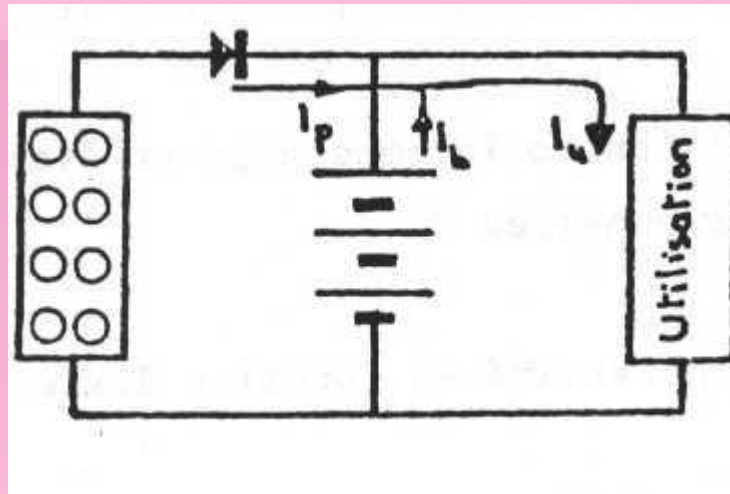
SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

MODES DE FONCTIONNEMENT

Troisième mode : courant nul

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire se trouve, pour un ensoleillement donné, égal au courant d'utilisation : $I_p = I_U$

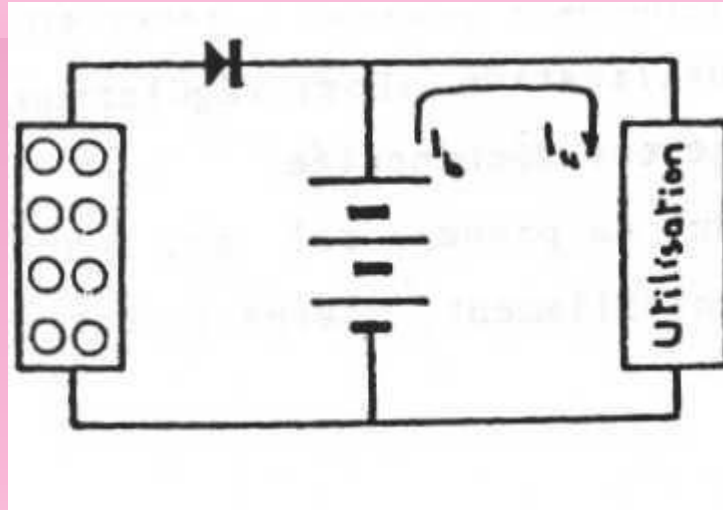
Aucun courant ne traverse la batterie : $I_B = 0$.



SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE MODES DE FONCTIONNEMENT

Quatrième mode : nuit

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire est nul $I_p = 0$ (période d'obscurité). La diode anti-retour est bloquée. La batterie se décharge en fournissant le courant d'utilisation $I_B = I_U$.



SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT.

Pour avoir l'adaptation d'un module PV branché sur une batterie, on doit superposer les caractéristiques courant - tension du module PV et de la batterie en charge.

Hypothèse: on peut considérer qu'un accumulateur se charge sous une tension presque constante en dehors des courtes périodes de début et fin de charge

la tension de la batterie V_b vue par le module est donnée par la force contre électromotrice E_0 et la résistance interne r qui est très faible.

$$V_b = E_0 + rI$$

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

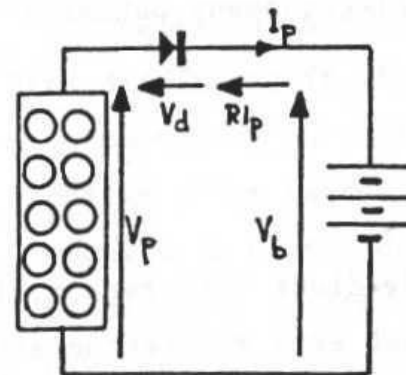
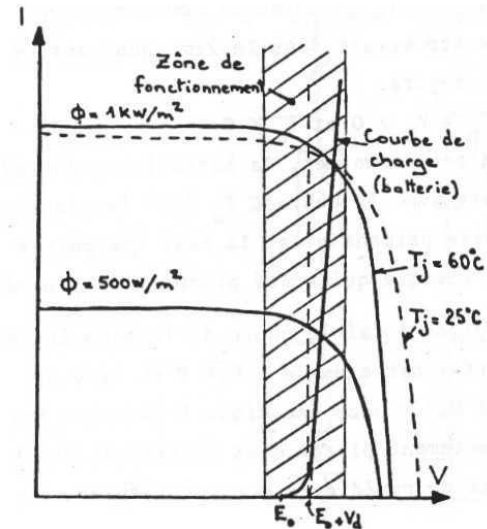
Point de fonctionnement

En réalisant la liaison module - batterie, le point de fonctionnement du module sera déterminé par l'intersection des 2 courbes.

- $I_p = f(V_p)$: caractéristique du module
- $V_p = V_b + R I_p + V_d = E_0 + V_d + (r + R) I_p$

Avec:

V_d : chute de tension dans la diode,
 r : résistance interne de la batterie,
 R : résistance électrique des câbles.



SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

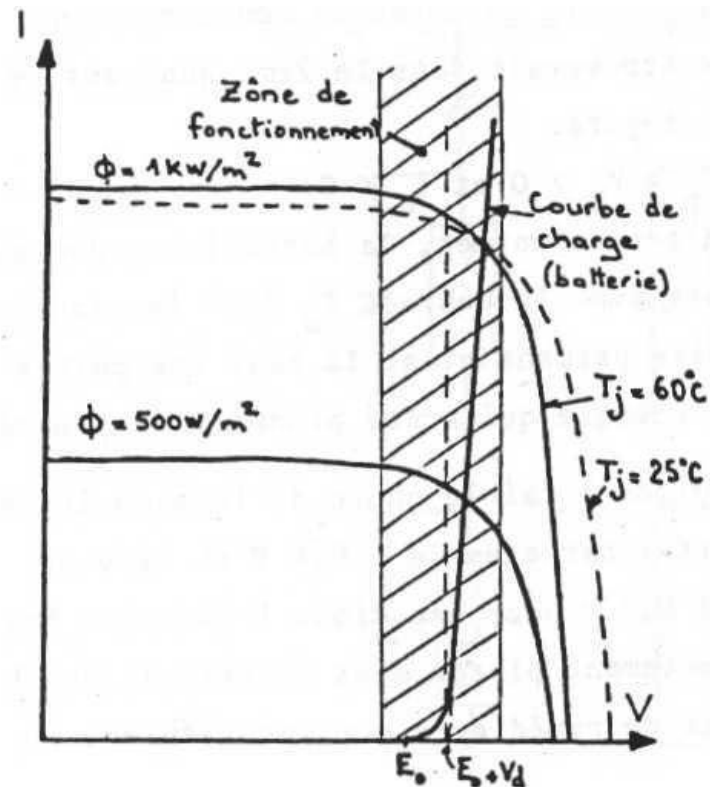
CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

D'après ce qui précède, on déduit que:

- Le point de fonctionnement du module solaire est déterminé par la tension de la batterie et l'ensoleillement ;
- La tension aux bornes du module solaire est légèrement supérieure à celle de la batterie (en période de charge).

Conclusion:

Dans ces conditions, on peut considérer le module solaire comme un générateur de courant dont la valeur est proportionnelle à l'ensoleillement.



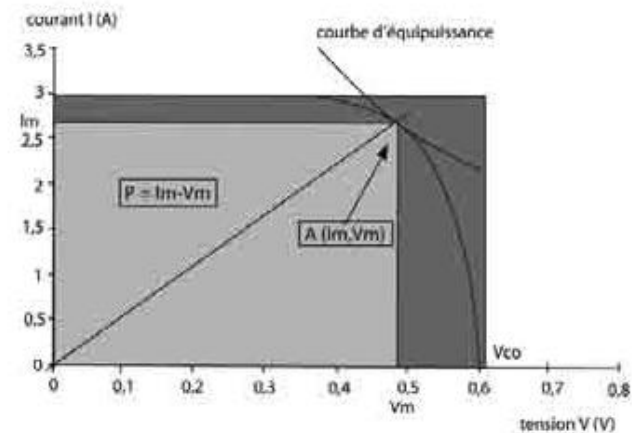
SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

PARAMÈTRES PRINCIPAUX D'UN MODULE

Les principaux paramètres qui caractérisent un module sont :

- le courant de court-circuit : I_{cc}
- la tension de circuit ouvert : V_{co}
- le courant correspondant au point de puissance maximale : I_m
- la tension correspondant au point de puissance maximale V_m
- La puissance crête qui est la puissance maximale :

$P = V_m \cdot I_m$ pour une température des cellules $T_j = 25^\circ\text{C}$, un ensoleillement de 1000 W/m^2 et une distance optique AM 1,5



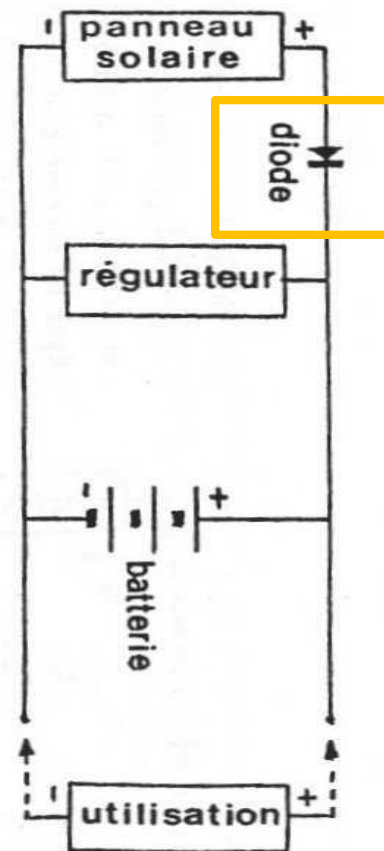
SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

RÔLE DE LA DIODE ANTI-RETOUR

La diode anti-retour est insérée dans le circuit pour éviter que la batterie ne se décharge dans le module pendant la nuit.

Remarque

On utilise une diode à faible chute de tension (type Schottky par exemple : 0,4 V au lieu de 0,7 V pour une diode à jonction PN) pour remédier à cet inconvénient au prix d'une petite perte de puissance.



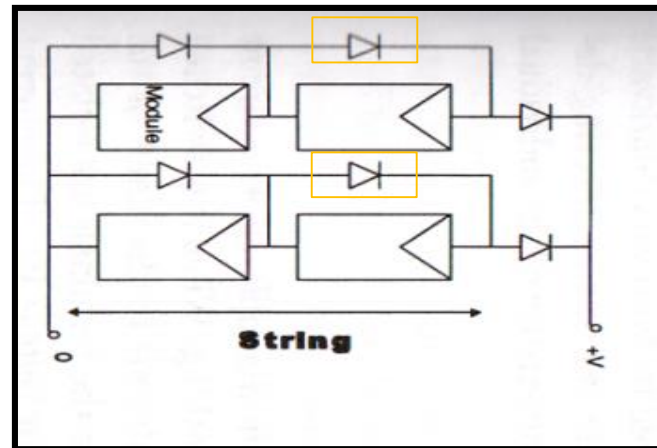
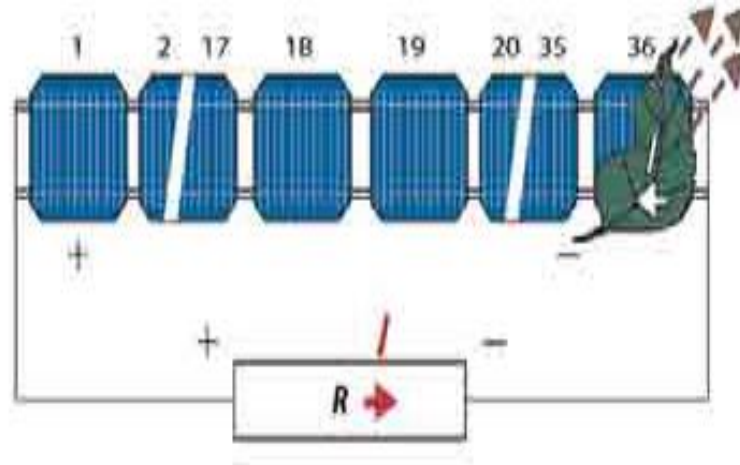
SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

RÔLE DES DIODE BY-PASS (PARALLÈLES)

La protection par diodes by-pass (ou parallèles) 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.

Remarque

Quand une cellule d'un module est masquée, elle s'échauffe anormalement si le module n'est pas équipé de diodes by-pass.



SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

CÂBLAGE

Le câblage a pour but de regrouper électriquement les modules solaires pour obtenir un système PV avec la puissance voulue. Le câblage obéit aux règles suivantes:

- Tout d'abord, les modules sont câblés en série pour réaliser des branches qui comportent chacune leur diode en série;
- La mise en parallèle de branches est réalisée à l'aide de boîtes de jonction fixées sur les châssis;
- Apporter un soin particulier au serrage des cosses et au câblage de l'installation ;
- Utiliser de câbles résistant aux intempéries et dont la section sera fonction de la distance entre panneau solaire et batterie ;
- Les sections de câbles doivent être calculées de façon à limiter la perte de puissance à 1% à partir de l'expression: $\Delta P = I_N^2 [(\rho * 2 * l) / A]$.

- ΔP = Perte de puissance [W]
- I_N = Courant nominal [A]
- ρ = Résistance spécifique ($\rho_{cu} = 0,02 \text{ mm}^2/\text{m}$)
- l = Longueur totale du câble [m]
- A = Section de câble [mm²]

SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC STOCKAGE ÉLECTROCHIMIQUE

RÈGLES D'INSTALLATIONS DES CHAMPS DE PANNEAUX

L'essentiel de règles dans les installations de champs de panneaux photovoltaïques se résume en ce qui suit:

- Apparier les modules en usine pour en tirer la puissance maximale une fois interconnectés en panneaux;
- Choisir une inclinaison optimale pour un usage annuel;
- Installer les modules à une hauteur suffisante pour ne pas être atteints par les animaux, tout en restant accessibles pour un nettoyage annuel;
- Éviter la présence de couple électrochimique avec les cadres des modules dans le cas où la structure porteuse est métallique;
- Ne pas percer ou retravailler les cadres et structures en aluminium anodisé ou en acier galvanisé sur le site pour éviter la corrosion;
- Tenir compte des dilatations différentielles induites par les grandes variations de température (typiquement -20° à $+80^{\circ}$).
- Éviter les occultations parasites et partielles du champ de modules (arbres, immeubles)
- Protéger chaque sous station contre la foudre à l'aide de para-surtenseurs.
- Soigner les mises à la terre de l'ensemble des structures métalliques en évitant les « boucles ».

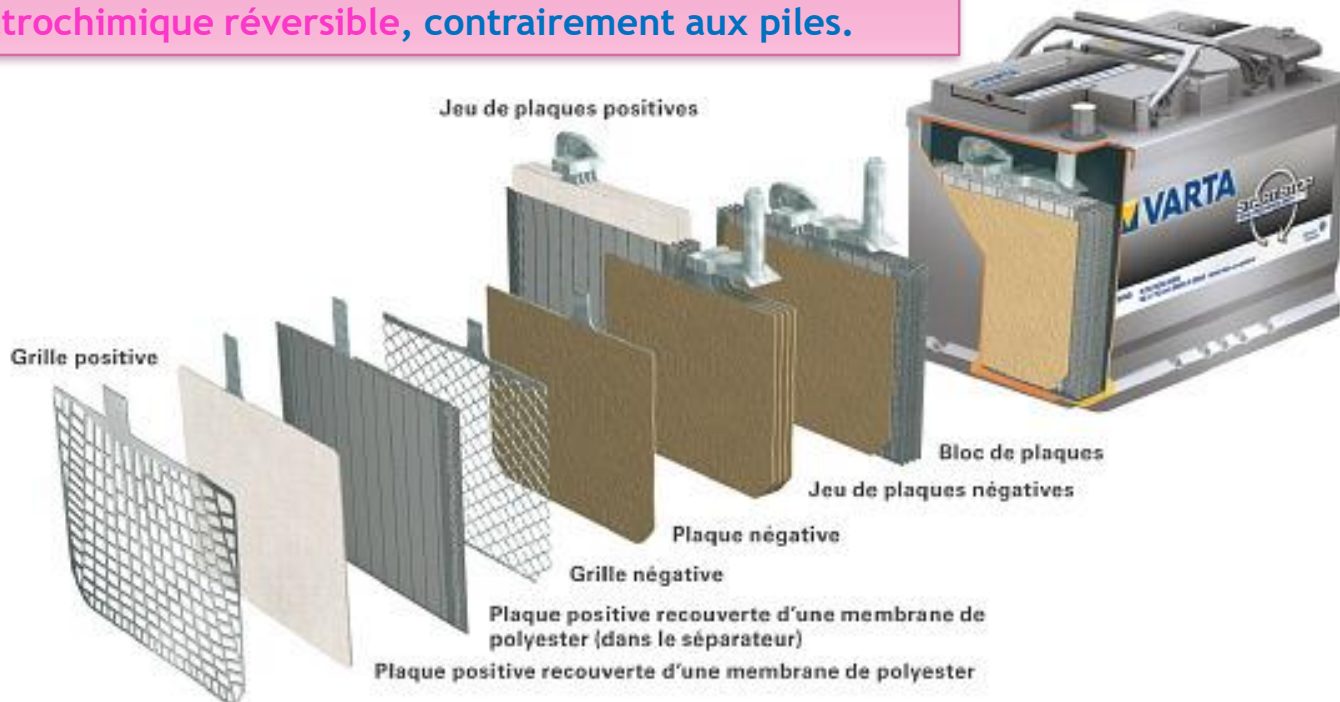
BATTERIES

BATTERIES

Diagramme schématique d'une batterie

Les batteries (ou accumulateurs) et les piles sont des systèmes électrochimiques, qui stockent de l'énergie sous forme chimique et la restituent sous forme électrique. Les batteries sont basées sur un système électrochimique réversible, contrairement aux piles.

Une batterie ou une pile se caractérise donc tout d'abord par un couple «oxydant-réducteur», (par exemple Plomb/Oxyde de plomb, Nickel/Cadmium...), échangeant des électrons.



BATTERIES

ÉLÉMENTS DE BASE

Quatre éléments sont indispensables pour le fonctionnement d'une batterie au plomb. Il s'agit de:

- l'électrode positive est constituée d'oxyde de plomb (PbO_2);
- l'électrode négative est constituée de plomb spongieux (Pb);
- l'électrolyte est une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4);
- le séparateur en matière poreuse isolante a les propriétés suivantes
 - * grande résistivité électrique;
 - * grande résistance chimique à l'acide sulfurique;
 - * bonne porosité aux ions..

Remarque

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).

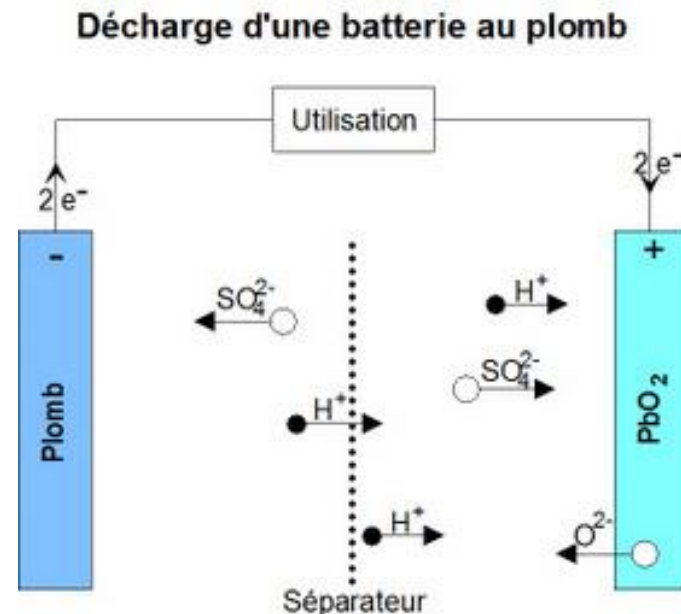
L'électrolyte est fabriqué à partir de l'acide sulfurique hautement concentré en le versant dans de l'eau purifiée

BATTERIES

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

En décharge

- ◉ Au cours de la décharge. Il y a formation de cristaux (sulfate de plomb) sur chacune des électrodes. La densité devient faible et ceci en fonction de la quantité déchargée.
- ◉ L'oxygène libéré par l'électrode positive s'unit aux ions H^+ en solution pour former de l'eau.
- ◉ Si la décharge est totale, l'électrolyte ne sera plus composé que d'eau distillée.

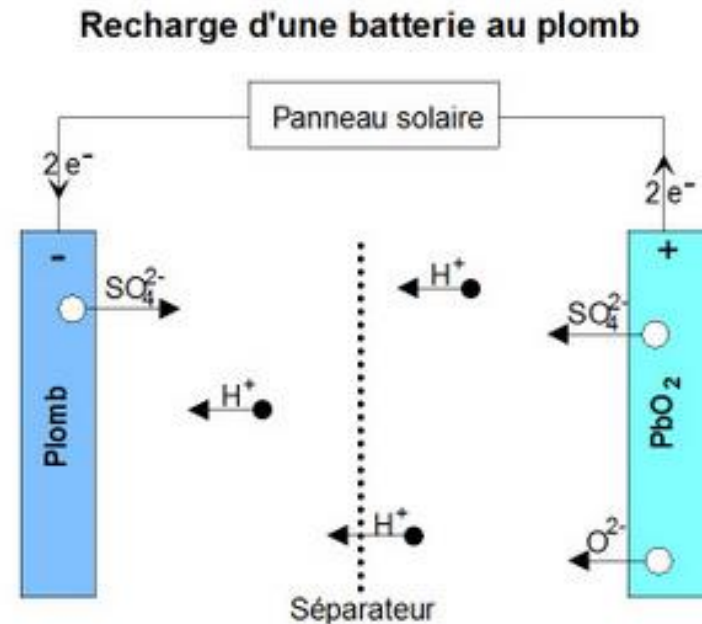


BATTERIES

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

En charge

- Durant la charge, le sulfate de plomb est transformé au niveau des plaques, en plomb (Pb) pour l'électrode négative et en oxyde de plomb (PbO₂) pour l'électrode positive.
- Cette formation s'accompagne de la formation d'acide sulfurique. La densité augmente.

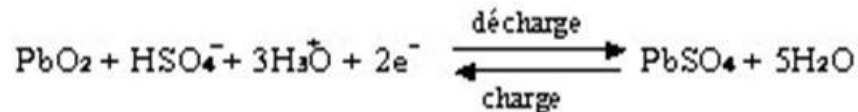


BATTERIES

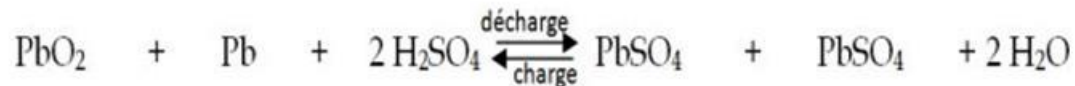
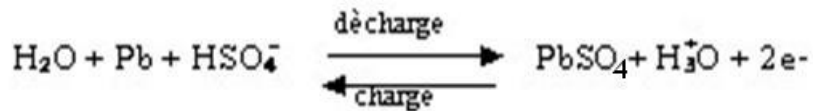
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Les réactions chimiques ayant lieu aux deux électrodes pendant la charge et la décharge sont résumées ci-dessous:

Réaction à l'électrode positive



Réaction à l'électrode négative



dioxyde de plomb + plomb + acide sulfurique sulfate de plomb + sulfate de plomb + eau
 (électrode positive) (électrode négative) (électrolyte) (électrode positive) (électrode négative) (électrolyte)

BATTERIES

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Les principales caractéristiques des batteries au plomb sont:

- Tension nominale;
- La capacité nominale de la batterie;
- La densité de l'électrolyte;
- Autodécharge;
- Rendement énergétique.

BATTERIES

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Tension nominale

Elle est un multiple de de 2 V.

Exemple:

- 6V;
- 12V;
- 24V.

BATTERIES

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

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 .

$$C = I \cdot t$$

$$[\text{Ah}] = [\text{A}] [\text{h}]$$

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

BATTERIES

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

La densité de l'électrolyte

- L'électrolyte peut être toute solution conductrice (acide, base, sel, ...). L'électrolyte utilisé pour les batteries d'accumulateurs au plomb est une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 et pour les batteries alcalines doit être une base (sur la base de OH).
- Pour les batteries au plomb, la densité de la solution ($H_2SO_4 + H_2O$) d'une batterie chargée peut varier de 1,26 à 1,3 et à une densité de 1,15 la batterie est considérée déchargée.
- On vérifie l'état de charge de la batterie à l'aide d'un pèse-acide
- Pour préparer cette solution, il faut :
 - De l'acide sulfurique pur d'une densité de 66° Baumé;
 - Dans un vase résistant à l'acide sulfurique ajoutez 3/4 l d'eau;
 - Ajoutez lentement, en remuant 1/4 l d'acide sulfurique 66° Baumé.

BATTERIES

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Autodécharge

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

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.
- **Le rendement énergétique** des batteries au plomb est de **70 - 75%** : **25% de l'énergie électrique est dissipée, essentiellement sous forme de chaleur**, lors des réactions électrochimiques de charge, décharge et auto-décharge.

BATTERIES

CAUSES DE LA DÉFAILLANCE DES BATTERIES

1) Surcharge des batteries

Les surcharges des batteries engendrent:

- ⊙ la corrosion de ses plaques positives;
- ⊙ un dégagement excessif de gaz;
- ⊙ une augmentation de la température.

Résultats:

Ces phénomènes contribuent à la destruction des plaques et des séparateurs.

BATTERIES

CAUSES DE LA DÉFAILLANCE DES BATTERIES

2) Décharges profondes

Les résultats des décharges profondes prolongées sont:

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

BATTERIES

CAUSES DE LA DÉFAILLANCE DES BATTERIES

3)Sulfatation

La sulfatation consiste en la formation sur les plaques de larges cristaux de sulfates de plomb.

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;
 - une augmentation de la tension de charge.

BATTERIES

CAUSES DE LA DÉFAILLANCE DES BATTERIES

4) 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.

Manifestation des courts-circuits

- une densité d'électrolyte faible malgré la réception normale de charge;
- une perte rapide de capacité après une pleine charge;
- une tension à vide faible

BATTERIES

CAUSES DE LA DÉFAILLANCE DES BATTERIES

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

D'autres causes peuvent contribuer à la diminution de la durée de vie des batteries. Il

s'agit de:

- des phénomènes de vibrations;
- des salissures.

BATTERIES

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.*
- *Tension de fin de décharge : La tension d'un élément ou d'une batterie à laquelle la décharge est terminée. Cette tension dépend du courant de décharge.*
- *Profondeur de décharge : DOD : Quantité de charge restituée par une batterie pleinement chargée et exprimée en pourcentage par rapport à la capacité nominale de la batterie.*
- *Tension de Gassing : 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.*
- *Charge d'égalisation : 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.*

RÉGULATEUR DE CHARGE

RÉGULATEUR DE CHARGE

Rôle

Sa fonction principale est de protéger la batterie contre les charges excessives et les décharges profondes.

Fonctionnement

Le régulateur, lors de son fonctionnement, procède comme suit:

- Collecte les informations relatives à l'état de charge de la batterie (tension, état de charge)
- Compare ces informations aux seuils de régulation préfixés:
 - V_{min} : tension de déconnexion de la charge (utilisation), protection décharge profonde.
 - V_{max} : tension de déconnexion des modules, protection à la surcharge.
- Opère la protection de la batterie.

RÉGULATEUR DE CHARGE

Procédé de régulation

Le procédé de régulation est résumé dans le tableau suivant:

Etat de la Batterie	Commande
$V_b > V_{max}$	Déconnecte les Modules Photovoltaïques
Si $V_b > V_{max}$ est vrai et $V_b < V_{t1}$	Reconnecte les Modules Photovoltaïques
$V_b < V_{min}$	Déconnecte la Charge (utilisation)
Si $V_b < V_{min}$ est vrai et $V_b > V_{t2}$	Reconnecte la batterie à la charge

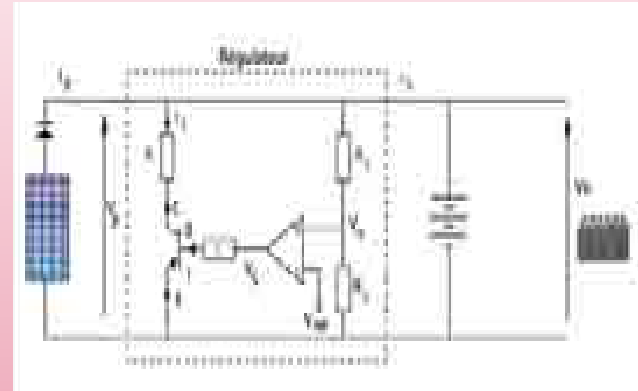
- V_{t1} la tension de reconnexion des modules;
- V_{t2} la tension de reconnexion des récepteurs (utilisation);
- V_b la tension de la batterie;
- V_{max} : tension de fin de charge;
- V_{min} : tension de fin de décharge.

RÉGULATEUR DE CHARGE

TYPES DE RÉGULATION

Régulateur parallèle ou Shunt

Le régulateur shunt régule la charge de la batterie en l'interrompant par un court-circuit du générateur photovoltaïque.



En régulation:

Le transistor T conduit
à $I_r > 0$ avec $I_p = I_r + I_b$.

I_r absorbe le courant de charge I_p ,
ce qui génère la diminution de la tension
 V_b de la batterie.

Hors régulation:

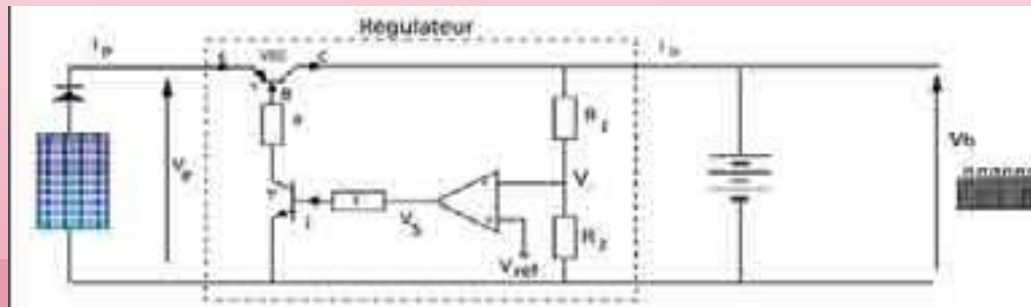
Le transistor est bloqué ($I_r = 0$), le module
débite et charge la batterie.

RÉGULATEUR DE CHARGE

TYPES DE RÉGULATION

Régulateur série

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



En régulation:
on a $i = 0$, $I_b = 0$. Le transistor ne conduit pas $I_p = 0$

Hors régulation
le transistor est saturé.
Le module débite et charge la batterie.

RÉGULATEUR DE CHARGE

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DIFFÉRENTS TYPES DE RÉGULATEURS

Régulateur série

Avantages:

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 défectuosité du régulateur entraîne l'interruption de charge de la batterie

Régulateur parallèle

Avantages

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

Inconvénients

Nécessité d'un dispositif de dissipation thermique adéquat.

RÉGULATEUR DE CHARGE

CRITÈRES DE CHOIX DES RÉGULATEURS

Caractéristiques indispensables pour un bon choix

- ⊙ **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);
- ⊙ **Courant de court-circuit maximal du générateur photovoltaïque;**
- ⊙ **Courant de fonctionnement maximal du générateur photovoltaïque;**
- ⊙ **Courant de charge maximal continu de la charge;**
- ⊙ **Tension de circuit ouvert maximale du générateur.**
- ⊙ **Rendement du régulateur.**

RÉGULATEUR DE CHARGE

CRITÈRES DE CHOIX DES RÉGULATEURS (SUITE)

Caractéristiques indispensables pour un bon choix

Protections

- ◉ **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, en plus de la dissipation de la chaleur, doivent être assez étanches.

ONDULEUR

ONDULEUR

Rôle

L'onduleur transforme la tension continue des batteries en tension alternative qui alimente les récepteurs en courant alternatifs (Réfrigérateur, Machine à laver,...etc.)

Alimentation de l'onduleur

L'onduleur est alimenté directement par la batterie et débite sur des récepteurs en courant alternatif.

ONDULEUR

Principales caractéristiques

- Puissance nominale à 20° C;
- Tension nominale d'entrée;
- Plage de la tension d'entrée;
- Protection tension d'entrée basse;
- Puissance de démarrage admissible (en %)
- Intensité maximale admissible;
- Tension nominale de sortie;
- Plage de tension de sortie.
- Onde de sortie
- Fréquence nominale de sortie;
- Rendement maximal (généralement de l'ordre de 90%).

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

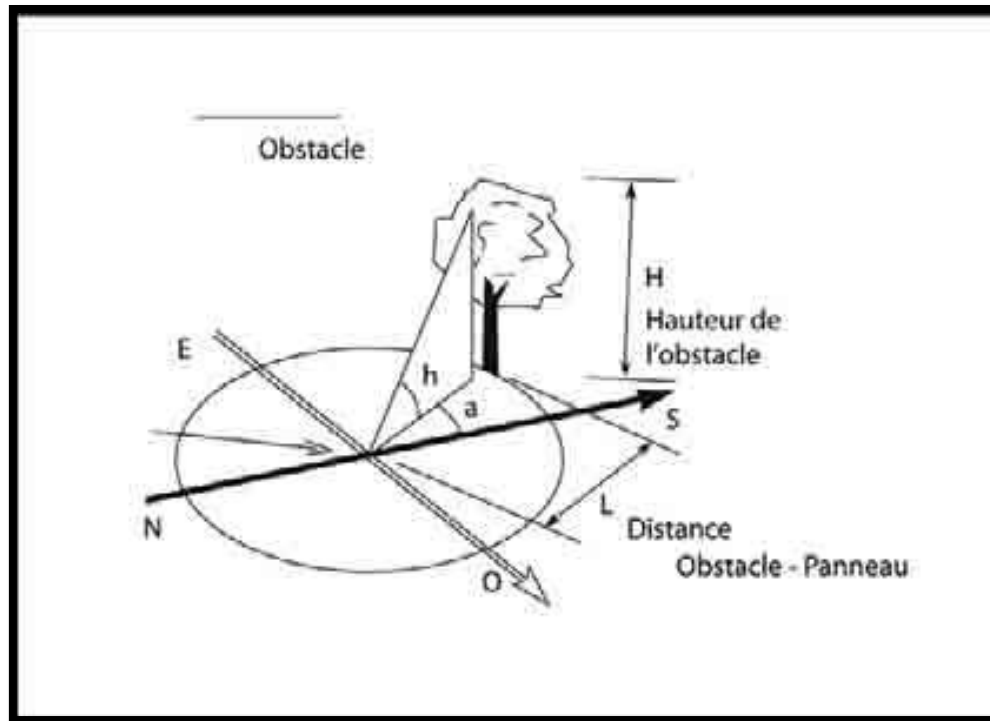
INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Choix de l'emplacement et ses paramètres

- ◉ Choisir, dans une 1^{ère} étape, un emplacement provisoire;
- ◉ Repérer et identifier tous les obstacles risquant de porter une ombre sur cet emplacement, surtout la période 8h-17h
- ◉ Pour chaque obstacle, il faut identifier:
 - Sa hauteur (H);
 - Sa distance du système (L);
 - Son azimut (a);
 - Sa hauteur en degré (h), sa hauteur effective et sa distance effective (voir le schéma diapositif suivant).
- ◉ **Conclusion:**
 - ❖ 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 , l'obstacle est gênant. Il faut donc changer d'emplacement du système et reprendre la procédure

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

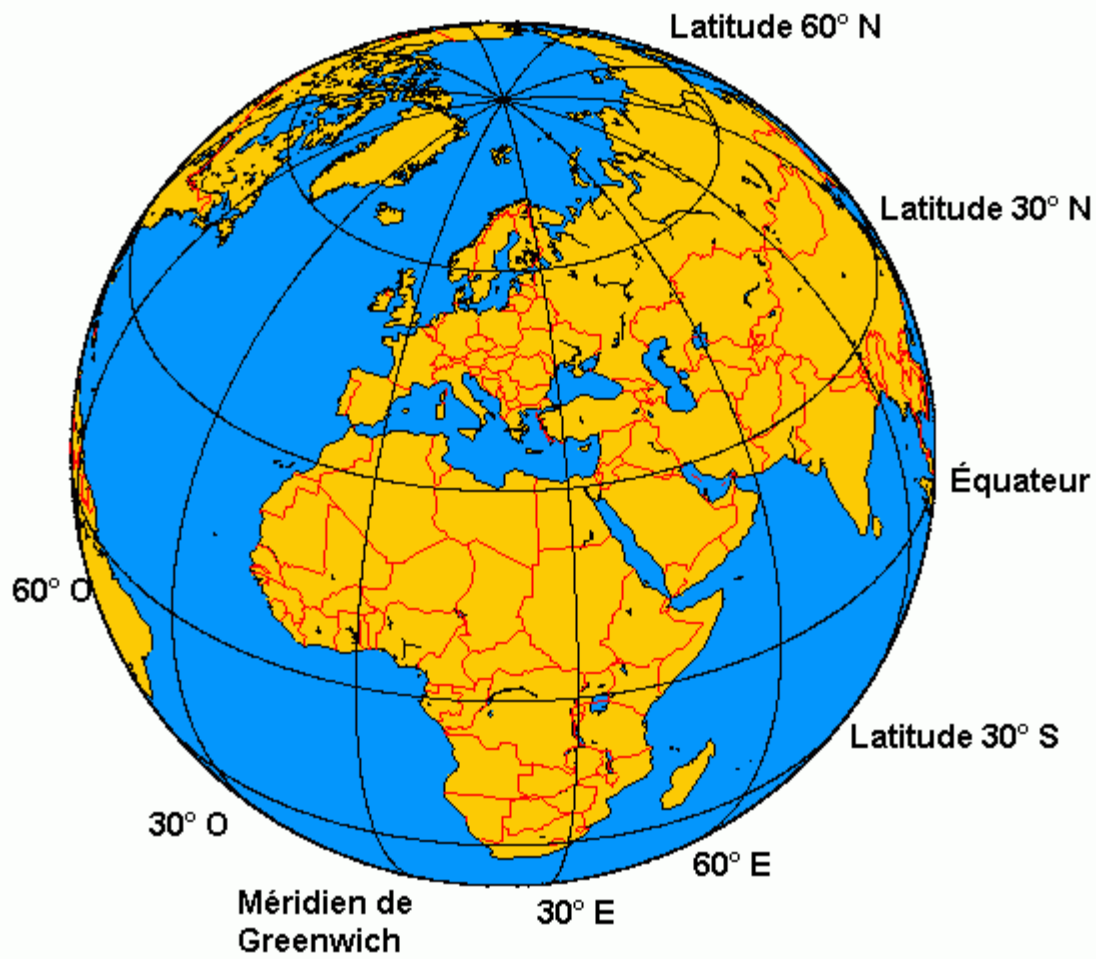
Coordonnées de l'obstacle



INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Orientation et inclinaison du module

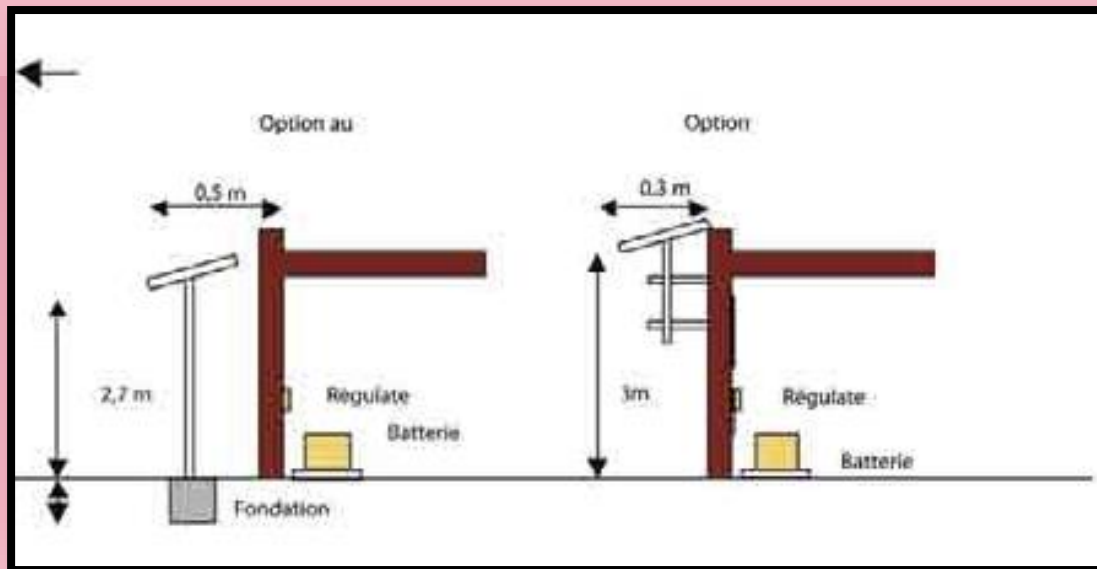
- L'orientation du module, constituant principal d'un système photovoltaïque, est la direction vers laquelle il est situé. Elle doit être:
 - En plein Sud pour les sites de l'hémisphère Nord;
 - En plein Nord pour les sites de l'hémisphère Sud.
- L'inclinaison (ou la pente) est l'angle que fait le module avec l'horizontale. Elle doit être égale à la latitude du site à 5° près.



INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

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 UV de type 1 x 4 mm² pour une distance module-batterie n'excédant pas 5 mètres (la section du câble dépend de la distance).



INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Critères d'installation du régulateur de charge

On doit respecter les points suivants:

- ❑ Le régulateur doit être placé à, à peu près, 1.50 m du sol afin que l'utilisateur puisse voir l'affichage;
- ❑ Le régulateur est installé le plus près possible de la batterie et du panneau afin d'éviter des pertes inutiles;
- ❑ Le régulateur est protégé du rayonnement direct du soleil et de la pluie.
- ❑ La polarité est bien respectée lors du branchement des différentes composantes.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Branchement et débranchement des composantes

On recommande de **brancher** les différentes composantes aux bornes du régulateur dans l'ordre suivant :

- 1) Batterie;
- 2) Module;
- 3) Charge.

Après la connexion, Il faut vérifier les indicateurs de régulateur de charges afin d'identifier les anomalies possibles dans le fonctionnement.

Et de les **débrancher** dans l'ordre:

- 1) Charge;
- 2) Module;
- 3) Batterie.

Si aucune indication ne confirme le fonctionnement du Régulateur de charge , vérifier que les connexions ont été bien réalisées : inversion de polarité probable.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Installation de la batterie

On doit respecter les points suivants:

- Les batteries doivent être placées dans un local aéré en dehors des locaux où des personnes sont susceptibles de séjourner 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;
- Les cosses des batteries seront protégées par des capots les protégeant contre toutes manipulations étrangères;
- Une charge préalable sera réalisée conformément aux conseils données dans la brochure des batterie avant leur mise en service.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Problème des chute tension dans les systèmes PV

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

TRONÇON	% V	V (V)	S (mm ²)	DISTANCE MAXIMALE (m)
Panneau-Régulateur	1,50	0,18	4	4,68 m
Régulateur-Batterie	1,00	0,12	4	4

Remarque: La longueur maximale à ne pas dépasser pour une section donnée peut être estimée à partir de la formule suivante :

- ❑ $L_{max} \leq \Delta U \times S / 2 \times \rho \times I$
- ❑ ΔU = chute de tension
- ❑ S = section câble = 4 mm²
- ❑ ρ = résistivité câble
- ❑ I = Intensité du courant en Ampères

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Installation de l'onduleur

L'onduleur doit être:

- ❑ Installé dans un lieu sec et protégé du rayonnement direct du soleil, des sources de chaleur et d'humidité.
- ❑ Installé dans un lieu assez aéré.
- ❑ Installé à une distance minimale de la batterie afin d'éviter des chutes de tension excessives.
- ❑ Installé, si possible, dans un local différent du local des batteries car le dégagement gazeux provenant des batteries peut avoir des effets explosifs de corrosion.
- ❑ Installé en position verticale et fixé au mur avec les dispositifs prévus à cet effet.

Et en fin:

- ❑ Les câbles de raccordement doivent être fixés au mur à l'aide d'attaches adéquats et les câbles + et - doivent être clairement marqués.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Préparation de la batterie

La batterie est l'élément dont la mise en service nécessite un soin particulier.

Etape 1: Procéder comme suit

- 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.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Préparation de la batterie (suite)

Etape 2: Tests à faire sur la batterie

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 diminué de plus de 0,02kg/l par rapport à sa valeur initiale.
- ❑ La charge préalable peut commencer.

Si la température de l'électrolyte au cours du remplissage est supérieure à 40 °C, alors:

- ❑ Laisser reposer la batterie pendant au moins 12 heures ou reporter la charge préalable au lendemain.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Charge préalable de la batterie

Attention:

- ❑ La source chargeant la batterie ne doit pas être équipée de dispositif de contrôle de la charge afin d'éviter un arrêt précoce de la charge préalable.
- ❑ Si la charge est réalisée avec un module, un panneau ou un champ photovoltaïque, il doit être connecté directement à la batterie sans régulateur de charge.

Déroulement de la charge

- ❑ La batterie sera chargée dans une première phase 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 à la capacité de la batterie .

Alternative

Au cas où la procédure ci-dessus ne peut être respectée, charger la batterie pendant au moins 15 heures.

Vérifications

Mesurer par pas de 30 mn après l'apparition du gassing, la tension et la densité de l'électrolyte.

INSTALLATION DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Quand est-ce que la batterie sera considérée comme complètement chargée ?

- ❑ Lorsque, les valeurs de densité données dans la brochure 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.

Attention:

Dans tous les cas lorsque la température dépasse 45 °C, la charge doit être arrêtée.

A faire à la fin de la charge

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

MAINTENANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

MAINTENANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Types d'entretien

Deux types d'entretien à réaliser:

Entretien trimestriel

- ❑ **Périodicité:**
3 mois
- ❑ **But :**
Vérifier le bon fonctionnement des équipements et de prendre des mesures pouvant assurer leur bon fonctionnement.
- ❑ **Actions à prendre:**
Contrôle visuels et des mesures légères.

Entretien annuel

- ❑ **Périodicité:**
1 an
- ❑ **But :**
Apprécier de façon plus précise l'état de fonctionnement des équipements.
- ❑ **Actions à prendre:**
Il couvre les actions menées au cours des entretiens trimestriels mais aussi des actions de mesures approfondies

MAINTENANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Maintenance trimestriel

1) Modules

- ❑ Contrôle de vue de la propreté des modules (nettoyage avec un chiffon doux tôt le matin ou tard le soir);
- ❑ Contrôles des fixations des modules;
- ❑ Contrôle de présence d'ombre portée sur les modules;
- ❑ Contrôle des boîtiers de jonction;

2) Batterie

- ❑ Contrôle visuel de la propreté du local des batteries;
- ❑ Contrôles visuels des batteries;
- ❑ Fuites d'électrolyte;
- ❑ Corrosion des bornes et des connexions;
- ❑ Contrôle du niveau d'électrolyte;
- ❑ Vérifier la densité de l'électrolyte

MAINTENANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Maintenance trimestriel (suite)

3) Régulateur

- 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.

4) Onduleur

- Vérification de la propreté de l'onduleur;
- Vérification de l'aération de l'onduleur.

5) Inspection des câbles électriques qui relient :

- Les modules au régulateur de charge;
- Les batteries au régulateur de charge;
- Les batteries à l'onduleur;
- L'onduleur aux récepteurs.

MAINTENANCE DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Maintenance annuel

En plus de la maintenance trimestriel, il faut procéder au **contrôle des performances électriques suivantes**:

- 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.

Remarque importante

Il y a une procédure pour contrôler chaque paramètre électrique. Il faut faire attention aux courants importants que débite chaque module et donc chaque panneau et finalement le courant débité par le générateur ou champ photovoltaïque.

Pour plus de détail, se référer au «Manuel du Technicien Photovoltaïque », cité dans la Bibliographie.