



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة العربي بن مهيدي أم البواقي
كلية العلوم و العلوم التطبيقية



PRACTICAL TRAINING ON PHOTOVOLTAICS

Dr. Amel Ferial BOUDJABI

amel.boudjabi@univ-ueb.dz

Du

OUTLINES



1. INTRODUCTION
2. THE PHOTOVOLTAIC EFFECT
3. SOLAR CELLS
4. HOW TO ASSEMBLE A SOLAR PANEL?
5. FACTORS AFFECTING SOLAR CELLS
6. ENERGY STORAGE
7. SIZING OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
8. MAINTENANCE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

INTRODUCTION



Changement climatique

depuis le début de ce siècle , la réalité sur un changement climatique n'est plus à prouver. notre planète souffre du **phénomène de rejet excessif des gaz à effet de serre (GES)** dans l'atmosphère par les activités humaines.

Un effet de serre naturel, c'est vital.

Nous vivons sur Terre comme dans une serre. Notre atmosphère joue le rôle d'une vitre. Les gaz dits « à effet de serre », les GES, captent et retiennent la chaleur. Grâce à eux, la température de notre Terre est en moyenne 15°C. Sans atmosphère, il ferait un froid invivable de -18°C.

Trop d'effet de serre, c'est menaçant.

Depuis 150 ans environ, la concentration des gaz à effet de serre augmente dans notre atmosphère. Ces GES retiennent donc plus la chaleur. Résultat, la température moyenne globale de notre planète s'élève de + 0,74°C depuis 1850.

Les réactions de notre atmosphère sont lentes

la durée de vie du CO₂ dans l'atmosphère est d'environ 100 ans ! Ainsi, il sera d'autant plus difficile de le limiter que les mesures seront prises avec retard.

Pour éviter que notre climat ne s'emballe, la température moyenne ne doit pas augmenter de plus de 2°C d'ici 2100 par rapport à 1850. Cela signifie que la quantité de gaz à effet de serre devrait atteindre un maximum en 2015 ! Au-delà, les bouleversements risquent d'être **irréversibles**.

D'où viennent les gaz à effet de serre ?

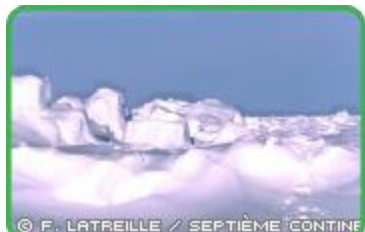
La plupart existe naturellement

présents en petite quantité dans l'atmosphère. Mais, avec l'industrialisation et l'utilisation massive des combustibles fossiles, leur concentration ne cesse de croître.

D'autres sont artificiels Ils sont fabriqués industriellement et s'échappent vers l'atmosphère.

Gaz à effet de serre	Source naturelle	Source humaine
La vapeur d'eau (H ₂ O)	Evaporation de l'eau surtout au-dessus des océans	Centrales électriques - Irrigation
Le dioxyde de carbone (CO ₂)	Respiration des êtres vivants – Feux de forêt - Volcans...	Utilisation massive d'énergies fossiles pour les transports, les bâtiments et l'agriculture Déforestation
Le méthane (CH ₄)	Digestion des herbivores – Décomposition des végétaux- Volcans	Intensification des élevages (bovin) et des cultures (riz) - Décharge d'ordures
Le protoxyde d'azote (N ₂ O)	Marécages	Utilisation d'engrais azotés
Ozone de basse atmosphère (O ₃)	Foudre	Industrie - Circulation automobile
Les gaz fluorés (CFC, HFC, PFC)	N'existent pas dans la nature	Gaz des bombes aérosols et des climatiseurs

Quels sont les principaux risques du réchauffement de la planète?



Conséquence du changement climatique : Fonte d'une banquise dans l'Océan glacial arctique



Pins déracinés, lors de la tempête du 26 décembre 1999. Région Ile de France.



Conséquence du changement climatique. Terre argileuse craquelée par la sécheresse.

une élévation du niveau de la mer, due au réchauffement des océans, car plus l'eau est chaude, plus elle prend de la place + l'eau de la fonte des glaces

une amplification des phénomènes météorologiques extrêmes, avec tempêtes, ouragans, cyclones, inondations, canicules, sécheresses... ;

des bouleversements des conditions de vie, pour les populations chassées de leur pays par la montée des océans, les famines ou les tempêtes. On les appelle des réfugiés climatiques ;

un chamboulement écologique, pour des plantes sauvages, et aussi cultivées, qui ne supporteront pas les nouvelles conditions de température et de sécheresse.

Sans oublier les animaux qui devront migrer ou s'adapter.



Une alternative : les énergies renouvelables

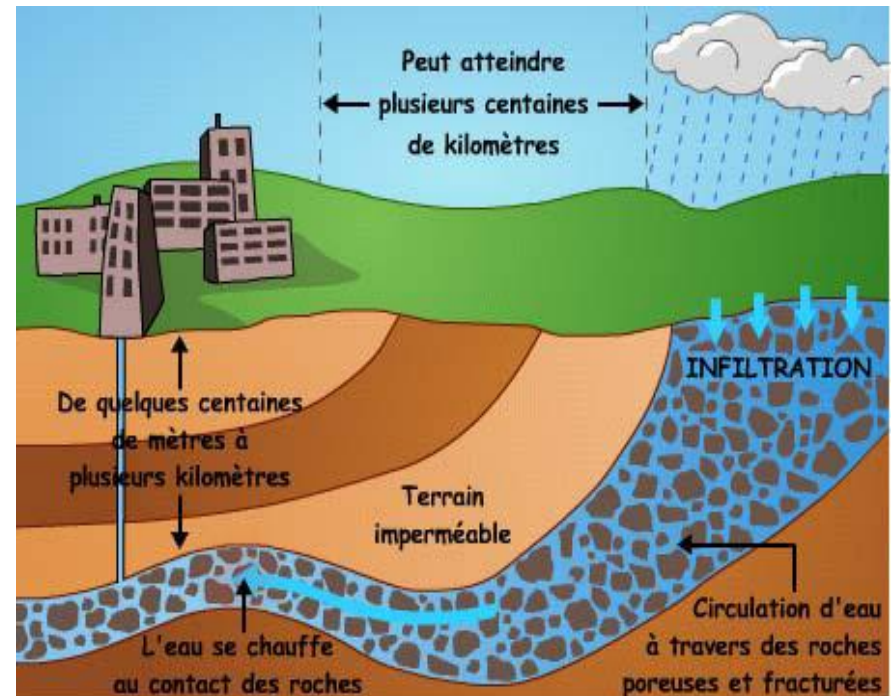
Définition de l'énergie renouvelable

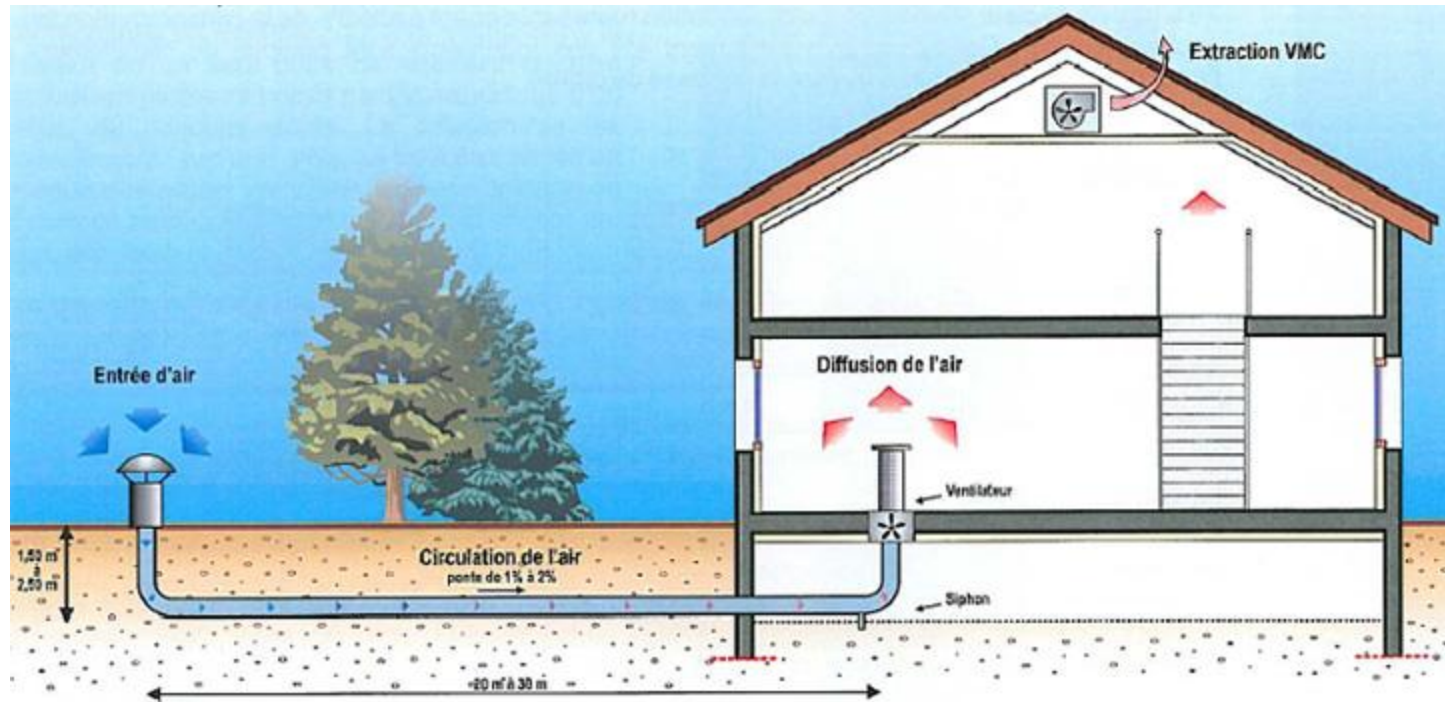
Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme.

La géothermie

La chaleur de la terre est aussi une énergie qu'on peut utiliser. Au centre de celle-ci, la chaleur est tellement importante et la pression est si forte que les roches sont en fusion. On appelle cette matière le magma.

On se sert de la vapeur ou de l'eau capturée entre les roches et chauffée par la chaleur de la terre pour produire de l'électricité (température supérieure à 150°) et du chauffage (basse température inférieure souvent à 90°).





Puits canadien ou climatique

La biomasse

Les centrales biomasse sont le plus souvent installées sur les lieux mêmes de stockage des déchets, qu'ils soient urbains ou agricoles. Ces déchets servent de combustibles pour alimenter une chaudière par exemple.

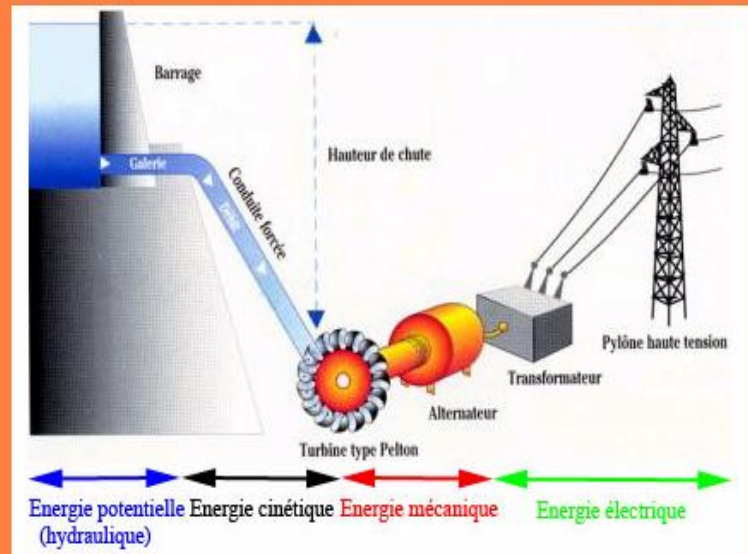
Là, l'eau se transforme en vapeur qui alimente une turbine pour produire de l'électricité.





L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est le plus souvent fournie par les chutes d'eau provoquées par l'ouverture des vannes d'un barrage. L'eau descend jusqu'à l'usine le long de conduites forcées : à sa sortie elle possède une grande énergie, due à sa perte d'altitude, qui fait tourner l'immense roue d'une turbine. Celle-ci entraîne un alternateur, qui produit du courant électrique.

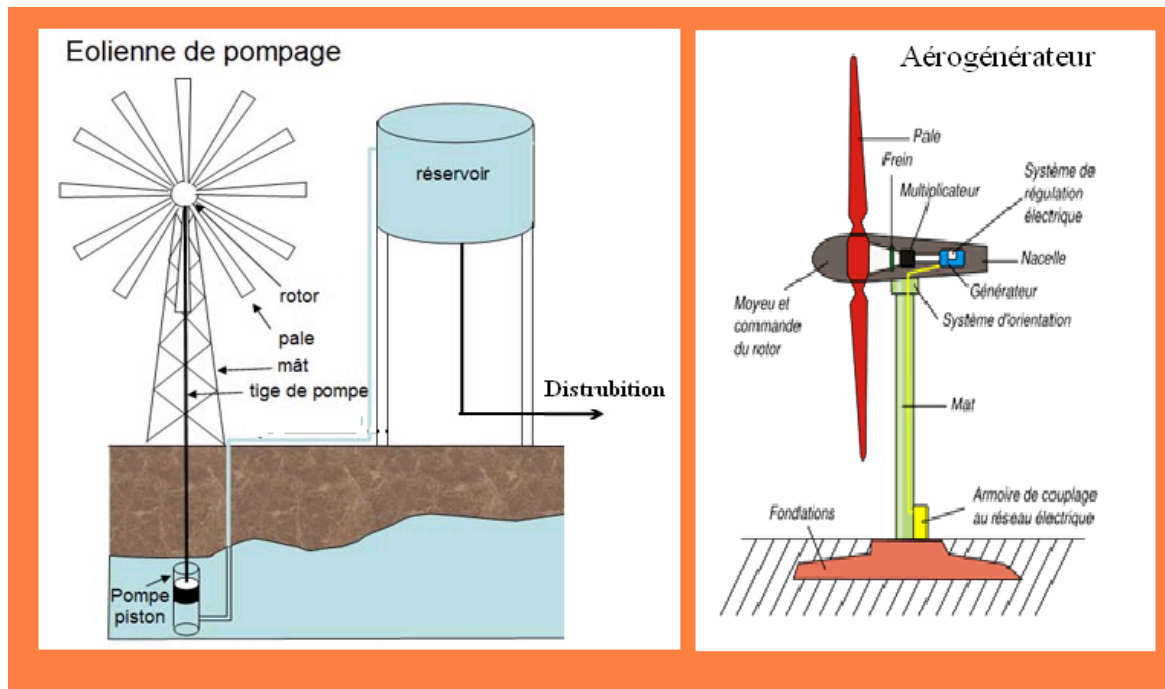


L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est l'énergie obtenue à partir du vent. Elle peut être sous deux formes:

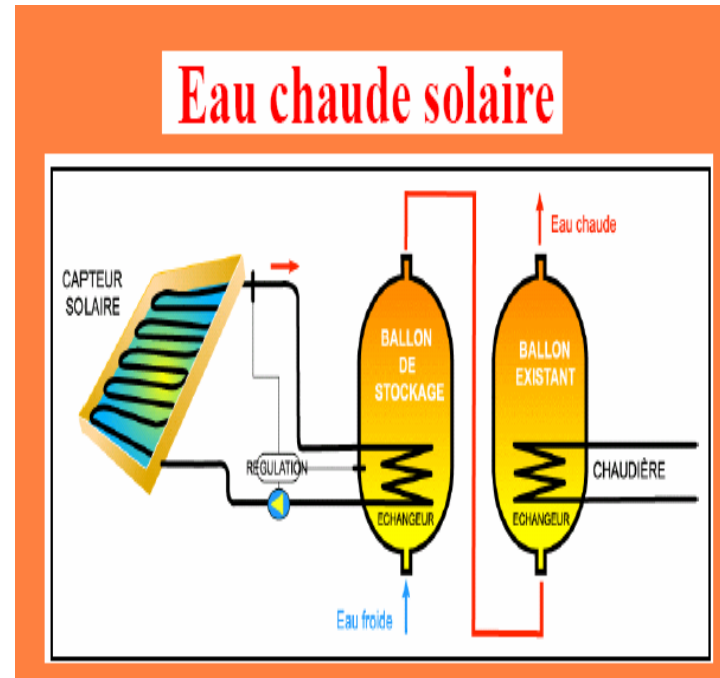
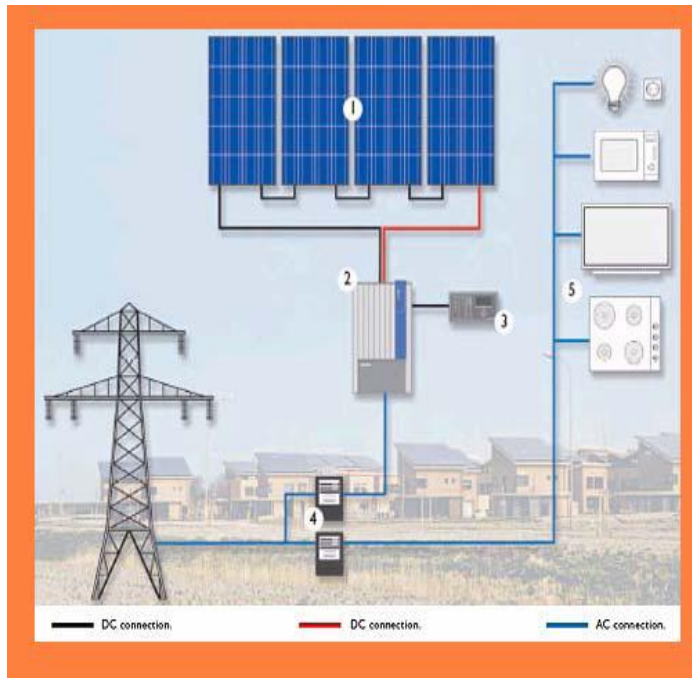
Mécanique pour le pompage de l'eau : navire à voile, pour pomper l'eau, pour faire tourner la meule ...

Électrique : l'éolienne ou aérogénérateur directement relié au réseau ou de manière indépendante



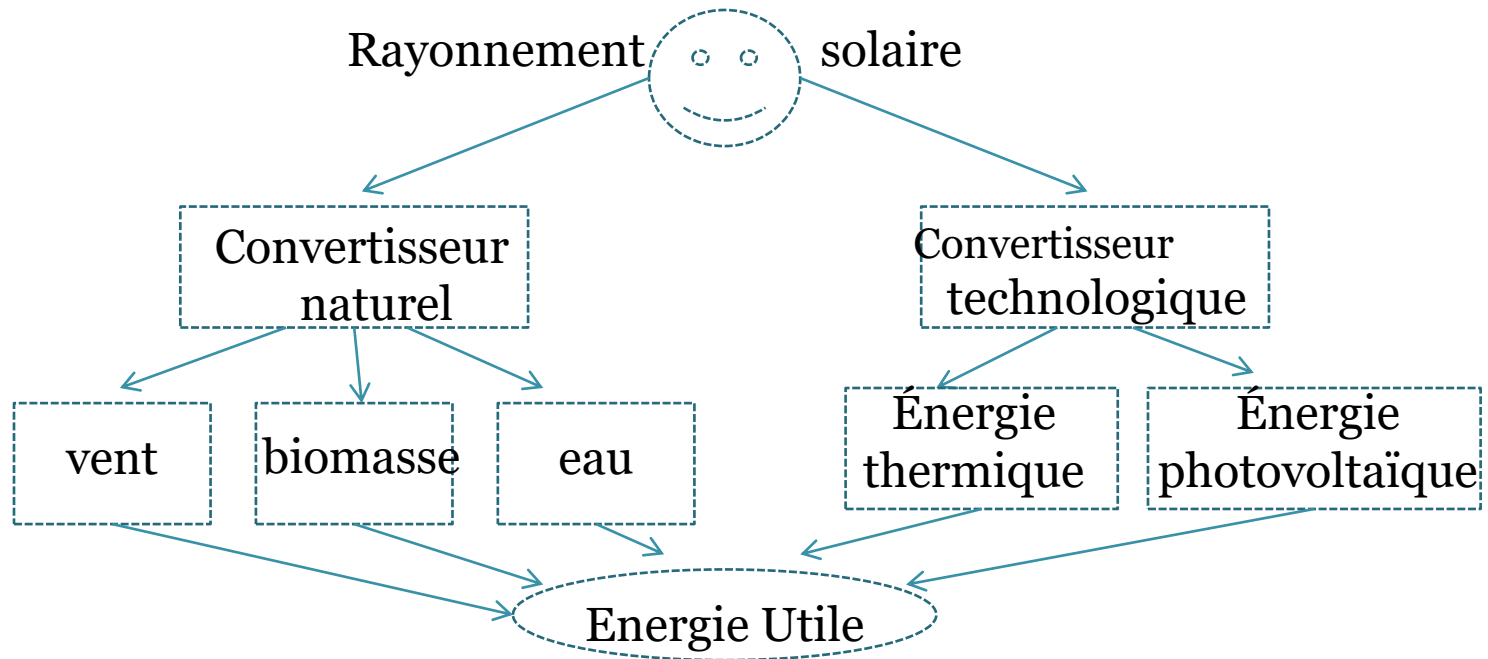
L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Nous distinguons l'énergie solaire photovoltaïque et thermique.



ENERGIE SOLAIRE

- ✓ Le soleil est à l'origine de la vie sur terre grâce à l'énergie incessante qu'il envoie.
- ✓ Cette énergie nous arrive sous forme d'ondes électromagnétiques qu'on appelle le RAYONNEMENT.
- ✓ Le soleil est à l'origine de toutes les autres énergies sur terre !



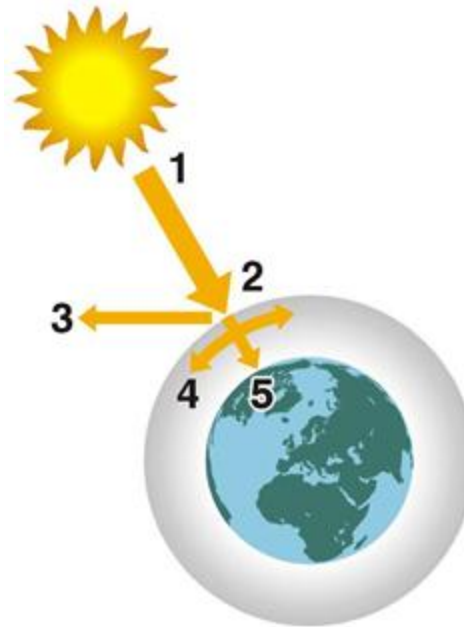
Origine de l'Energie Solaire

L'énergie solaire provient de la fusion de l'Hydrogène en Hélium dans le noyau du soleil:

4 protons (noyaux hydrogène) fusionnent pour donner naissance à un noyau Hélium en émettant deux positrons bêta, deux neutrinos et 26.7 MeV ($1\text{MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$)

Cette énergie est en partie rayonnée vers la terre qui la reçoit à travers son atmosphère

- 1- Puissance émise par le soleil : $63\,500\text{ kW/m}^2$.
- 2- Constante solaire : $1\,370\text{ W/m}^2$.
- 3- Rayonnement réfléchi.
- 4- Rayonnement absorbé et diffusé.
- 5- Rayonnement solaire à la surface de la Terre (max : $1\,000\text{ W/m}^2$).



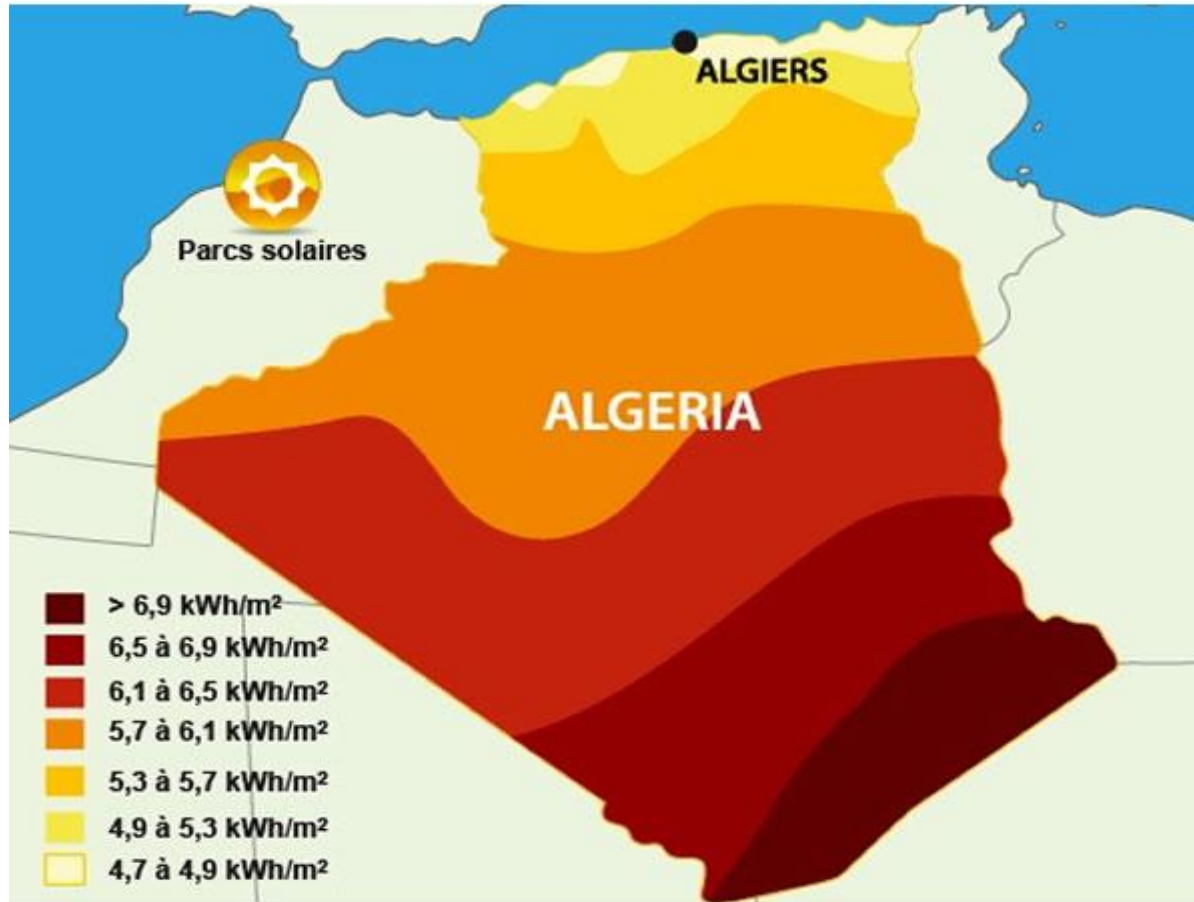
Le solaire en Algérie

L'Algérie fait partie des pays du bas de l'hémisphère nord dotée d'un rayonnement annuel moyen largement supérieur à 1200 kWh/m^2 , ce potentiel énorme doit être exploité.

- Production de l'électricité photovoltaïque ou par centrales solaires thermiques
- Chauffage de l'habitat
- Production d'eau chaude , chauffe eau solaire
- Pompage d'eau
- Agriculture...

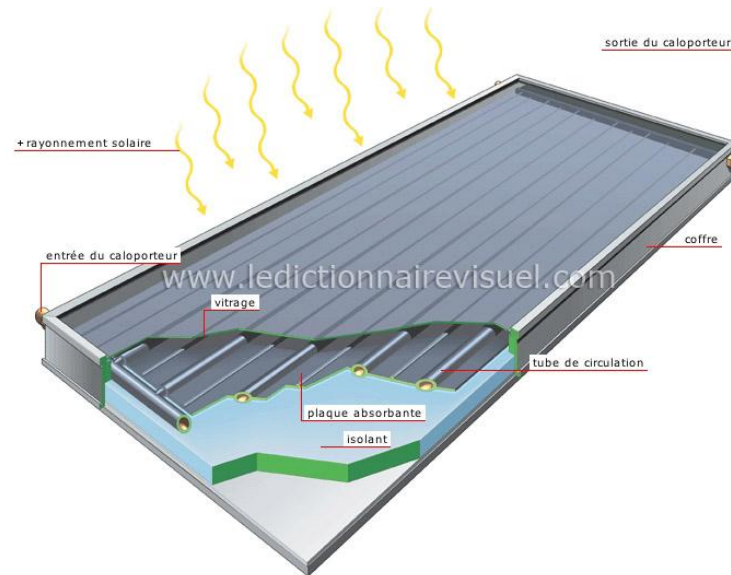
Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel à Hassi R'Mel.

GISEMENT SOLAIRE ALGERIEN



CONVERSION PHOTO THERMIQUE

L'effet photo thermique ou la conversion thermique de l'énergie solaire est la transformation du rayonnement solaire reçu en énergie thermique (chaleur).

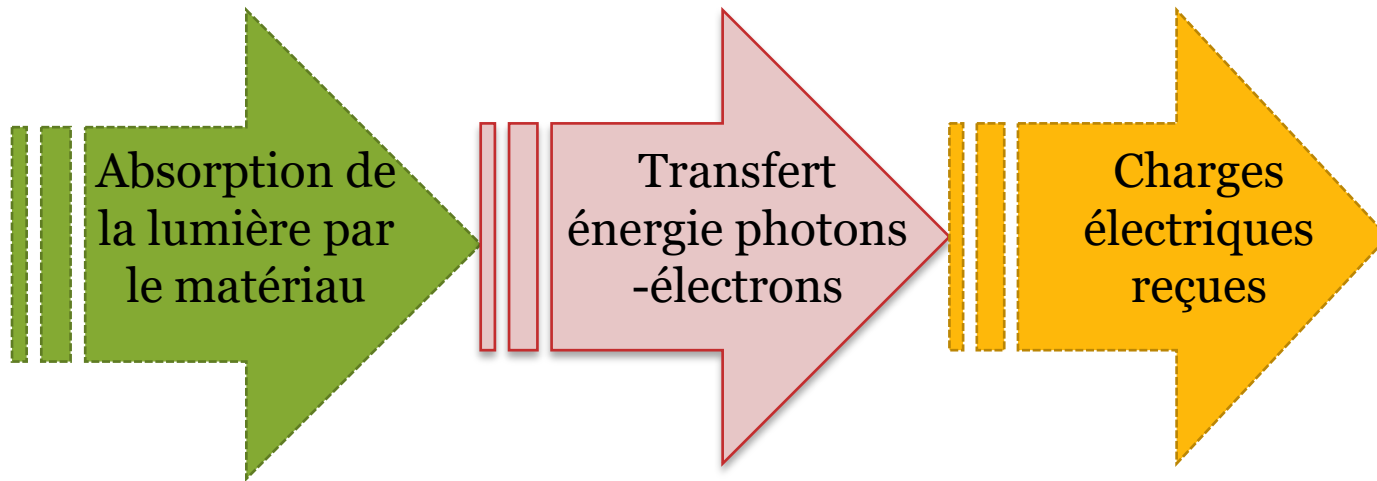


Capteur solaire (solar collector)

EFFET PHOTOVOLTAIQUE

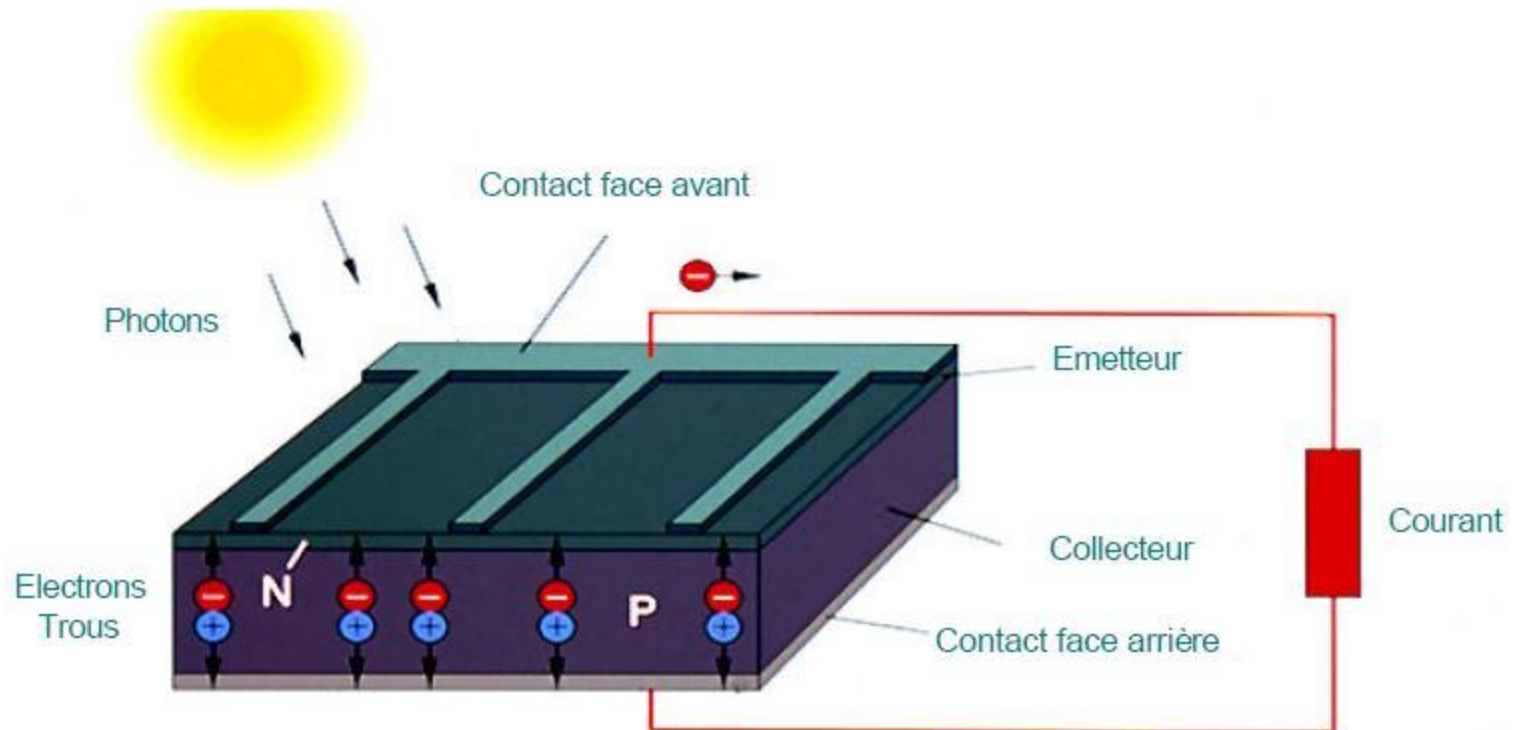


C'est en 1839 que le physicien français Antoine Becquerel découvre que: certains matériaux font des étincelles lorsqu'ils sont exposés à la lumière.



L'effet photovoltaïque consiste à la conversion de la lumière (les photons) en électricité.

Une cellule photovoltaïque est une diode (pile) , formée de deux couches de matériaux de semi-conducteur dopées de sorte que l'une conduise les charges négatives et l'autre, les charges positives. Ce phénomène crée un champ électrique permanent dans la cellule. **Le courant obtenu est un courant continu.**



Une cellule, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, **de 1 à 3 W** avec une tension de moins d'un volt. Pour plus de puissance, les cellules sont assemblées en module . Les connections en série augmentent la tension pour un même courant, et la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Le courant de sortie, et donc la puissance, sera proportionnelle à la surface du module (panneau).

Les types de cellules solaires

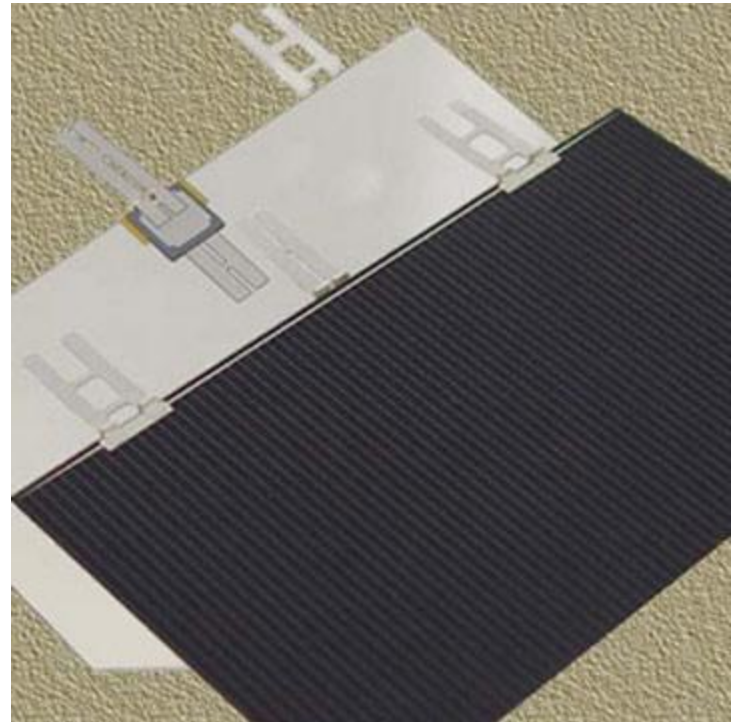


CELLULE MULTIJONCTION

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et d'obtenir les meilleurs rendements de conversion.

Rendement record en laboratoire :
environ 40%

Développé pour les applications
spatiales, ce type de cellule n'est pas
encore commercialisable



CELLULE EN SILICIUM MONOCRISTALLIN

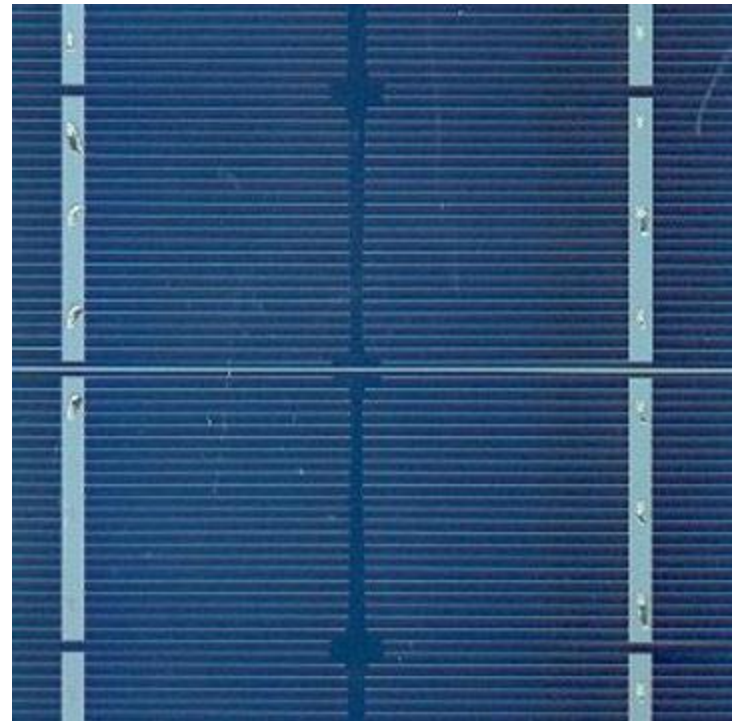
Extrait du sable ou du quartz, le silicium est le deuxième élément de la croûte terrestre, après l'oxygène.

Lors du refroidissement, le silicium forme un seul cristal de grande dimension. On découpe le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Avantages : durée de vie importante
(+/- 30 ans)

Inconvénients : Coût élevé
rendement faible sous un faible
éclairage.

Rendement module commercial : 12 à
22% et Rendement en laboratoire :
plus de 25%



CELLULE EN SILICIUM POLYCRISTALLIN

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce matériau est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

Avantages durée de vie importante (+/- 30 ans), meilleur marché que le monocristallin.
meilleur rapport qualité / prix

Inconvénients : Rendement faible sous un faible éclairement.

Rendement module commercial : 11 à 15%

Rendement record en laboratoire : environ 20%



CELLULE SANS SILICIUM EN COUCHE MINCE CIS

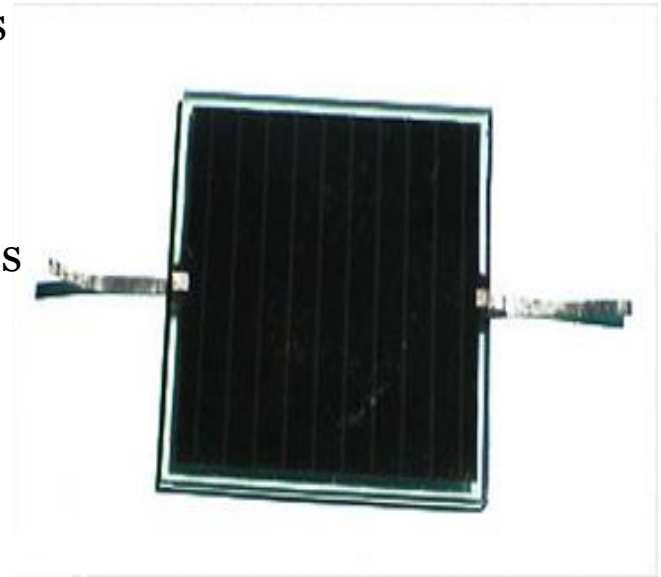
Les cellules CIS représentent la nouvelle génération de cellules solaires sous forme de films minces, de type cuivre-indium-sélénium (CIS). Les matières premières sont plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules classiques. De plus, leur efficacité de conversion énergétique est la plus élevée à ce jour pour des cellules photovoltaïques en couche mince.

Avantages : Les matériaux utilisés ne sont pas toxiques

Inconvénients : Les cellules en couche mince nécessitent une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses.

Rendement module commercial : 9 à 11%

Rendement record en laboratoire : environ 19,3%



CELLULE SILICIUM AMORPHE EN COUCHE MINCE

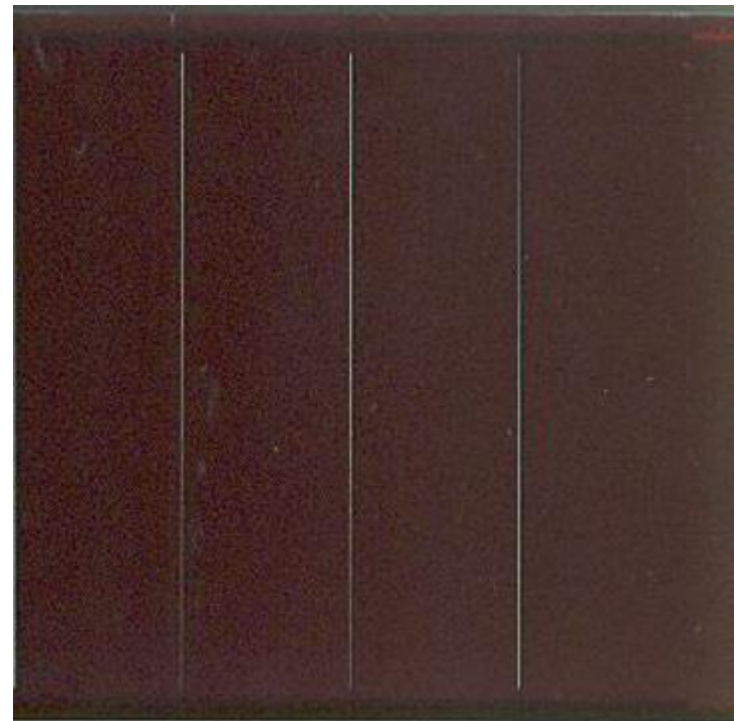
Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

Avantages : Fonctionnent avec un éclairage faible, bon marché

Inconvénients : les cellules en couche mince nécessite une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses, durée de vie courte (+/- 10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps.

Rendement module commercial : 5 à 9%

Rendement record en laboratoire : environ 13,4%

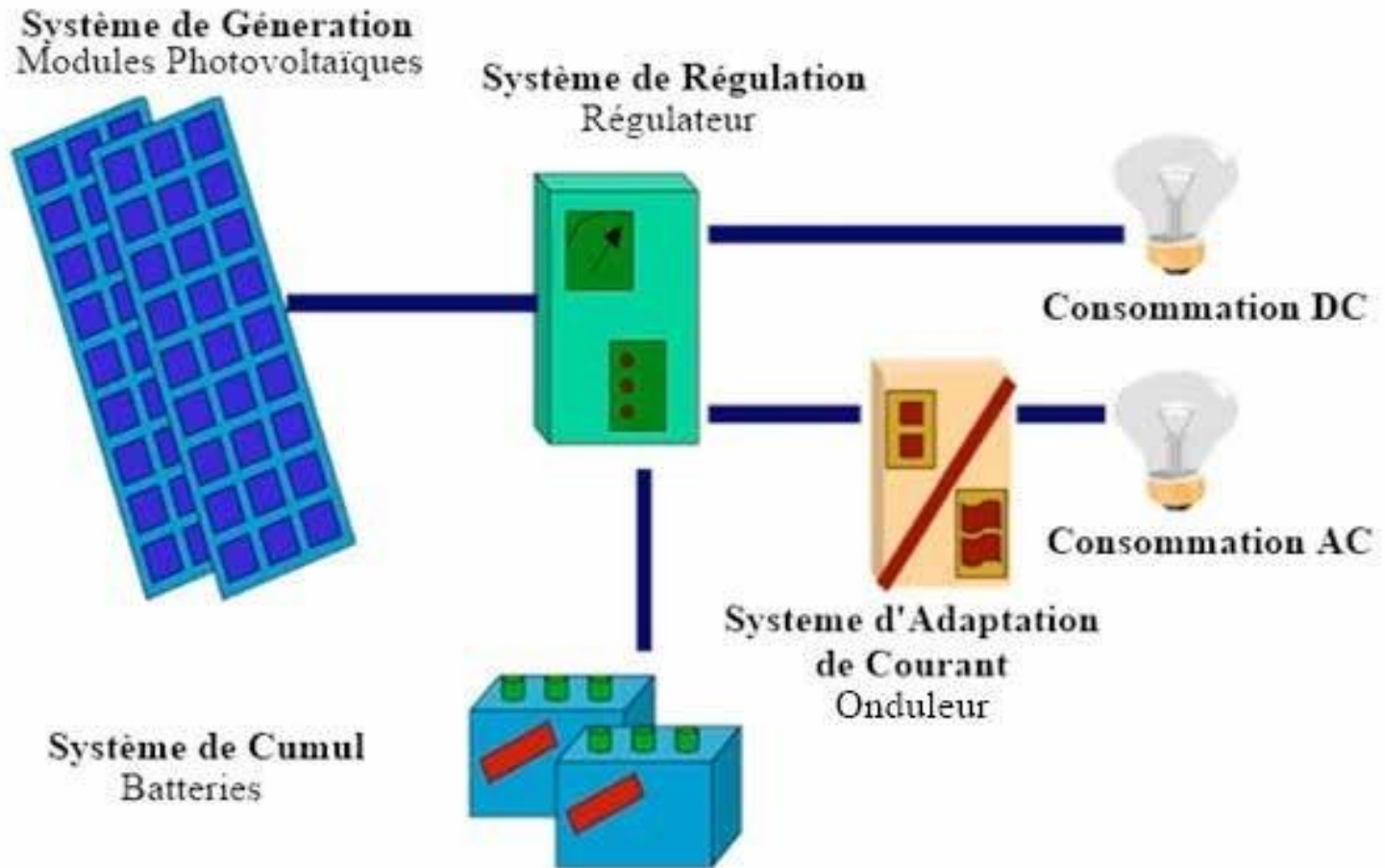


Les installations autonomes

L'installation autonome doit fournir de l'électricité de jour comme de nuit, toute l'année hiver comme été car c'est la seule source en électricité. ce système n'est utilisé que dans les lieux isolés.

Le principe consiste à charger des batteries pour stocker le surplus de la production électrique et la réutiliser en cas de besoin. Le courant est contrôlé par un régulateur solaire .

On peut utiliser un onduleur afin d'alimenter des appareils électriques demandant plus de puissance. Difficile d'utiliser ces installations dans les habitations avec tout ce qui s'en suit en appareils électriques puissants, on peut les utiliser par contre pour l'éclairage public, etc...



Éléments d'un système solaire photovoltaïque autonome

Pour stocker massivement l'électricité solaire, il existe deux moyens:

les piles à combustible et les batteries au plomb.

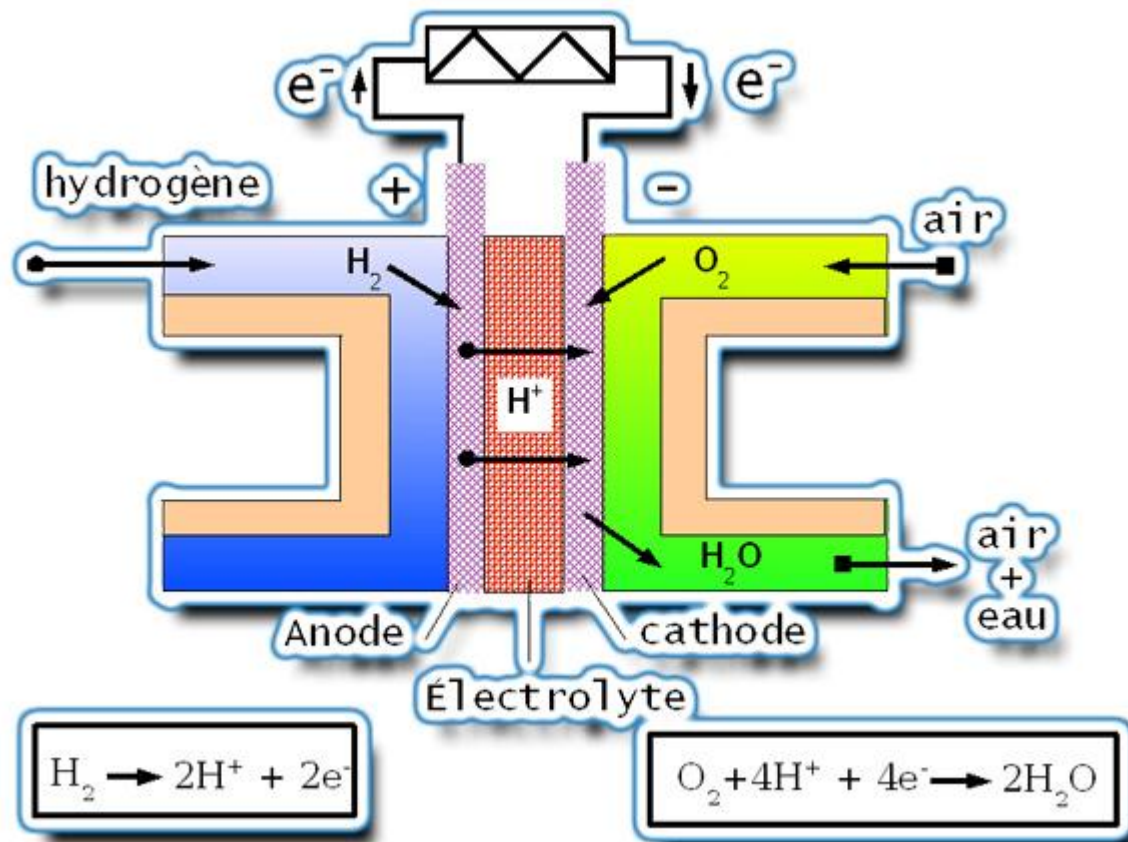
Comment fonctionne une pile à combustible à l'hydrogène ?

Le fonctionnement d'une pile à combustible est très propre puisqu'elle ne consomme que des gaz et ne produit que de l'eau.

La pile à combustible transforme l'énergie chimique en énergie électrique.

Elle possède une cathode et une anode séparées par un électrolyte qui assure le passage du courant par transfert ionique des charges.

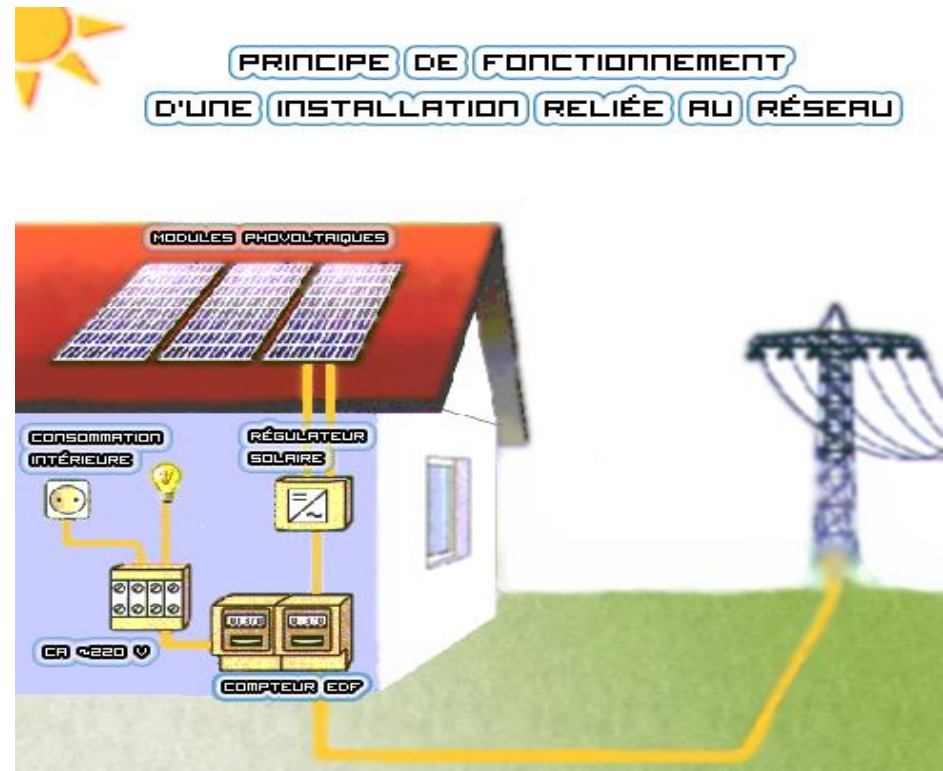
A chaque réaction, les piles à combustible produisent de l'eau et libèrent deux électrons.



Le rendement des piles à combustibles n'est que de 30 %

LE RACCORDEMENT AU RESEAU

Les habitations équipées d'une installation reliée au réseau sont munies de panneaux solaires. Un onduleur va permettre de transformer le courant continu en courant alternatif qui pourra être utilisé directement ou être réinjecté dans le réseau si l'électricité n'est pas consommée. Le Schéma suivant montre une installation type.



RENDEMENT DES PV

Comment exprimer le rendement d'un PV. Le calcul du **Ratio de Performance** permet en effet de rendre compte de la qualité de fonctionnement d'une installation.

La production d'une installation photovoltaïque est donnée par l'équation suivante :

$$E_{elec} = H_i \times S \times \eta$$

avec

E_{elec} [kWh/an] : énergie électrique produite sur un an

H_i [kWh/m².an] : irradiation reçue dans le plan des modules sur 1m² sur un an.

S [m²] : surface du champ des modules photovoltaïques

η : rendement global du système

Le rendement global s'écrit en deux composantes :

$$\eta = \eta_{\text{stc}} \times \eta_{\text{système}}$$

η_{stc} est le rendement des modules en conditions standards, c'est-à-dire sous une luminosité $\text{Ir}_{\text{stc}} = 1000 \text{ W/m}^2$ à 25°C . il est égal à:

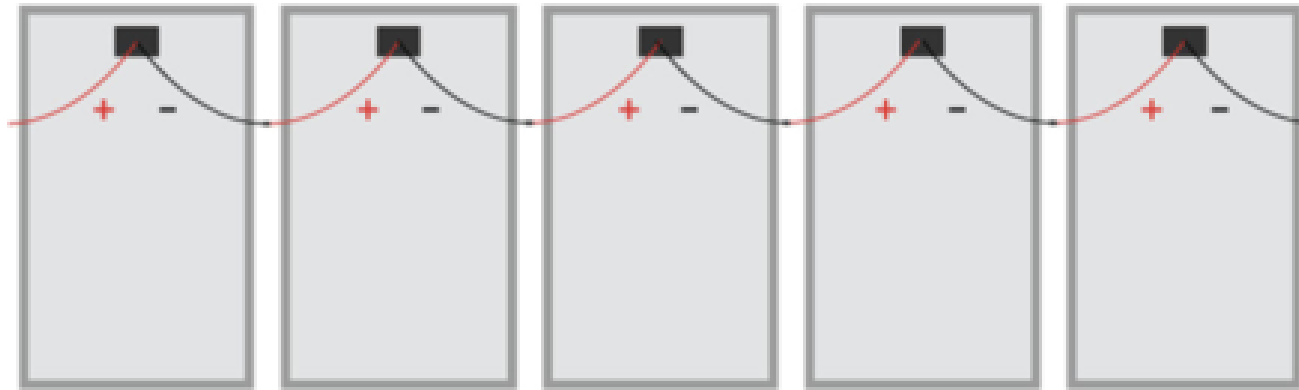
$$\eta_{\text{stc}} = P_c / \text{Ir}_{\text{stc}} \times S, \text{ avec } P_c \text{ est la puissance crête du panneau}$$

$\eta_{\text{système}}$ englobe toutes les pertes sur l'onduleur, dues à la température, à cause des écrans, écart entre puissance crête et puissance réelle etc... il est estimé entre 0.7 et 0.8 pour des installations classiques.

Montage des panneaux

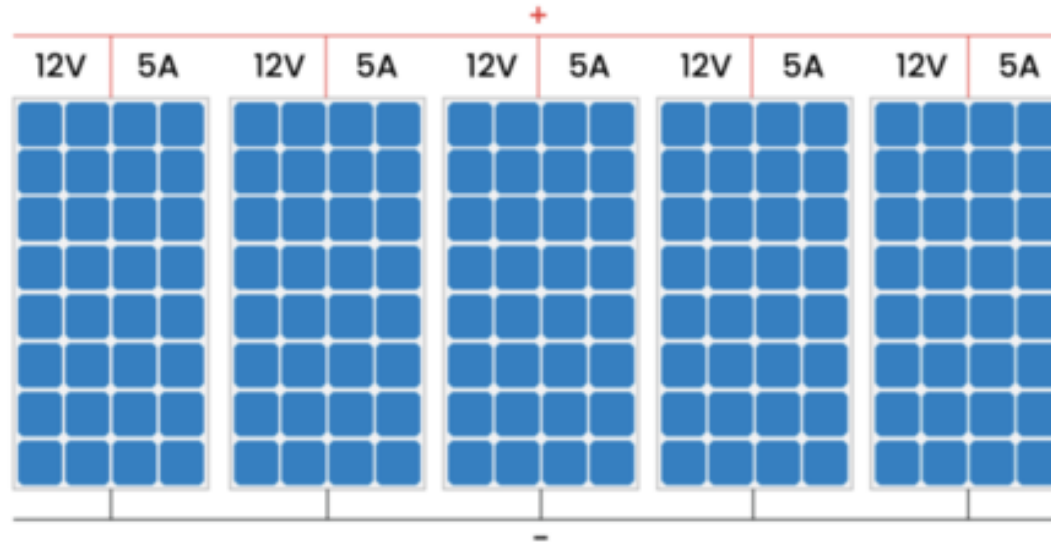


Câblage en série



On additionne la tension des panneaux pour obtenir la tension globale du réseau. L'ampérage du circuit global reste constant et la puissance électrique augmente à cause de V .

Câblage en parallèle



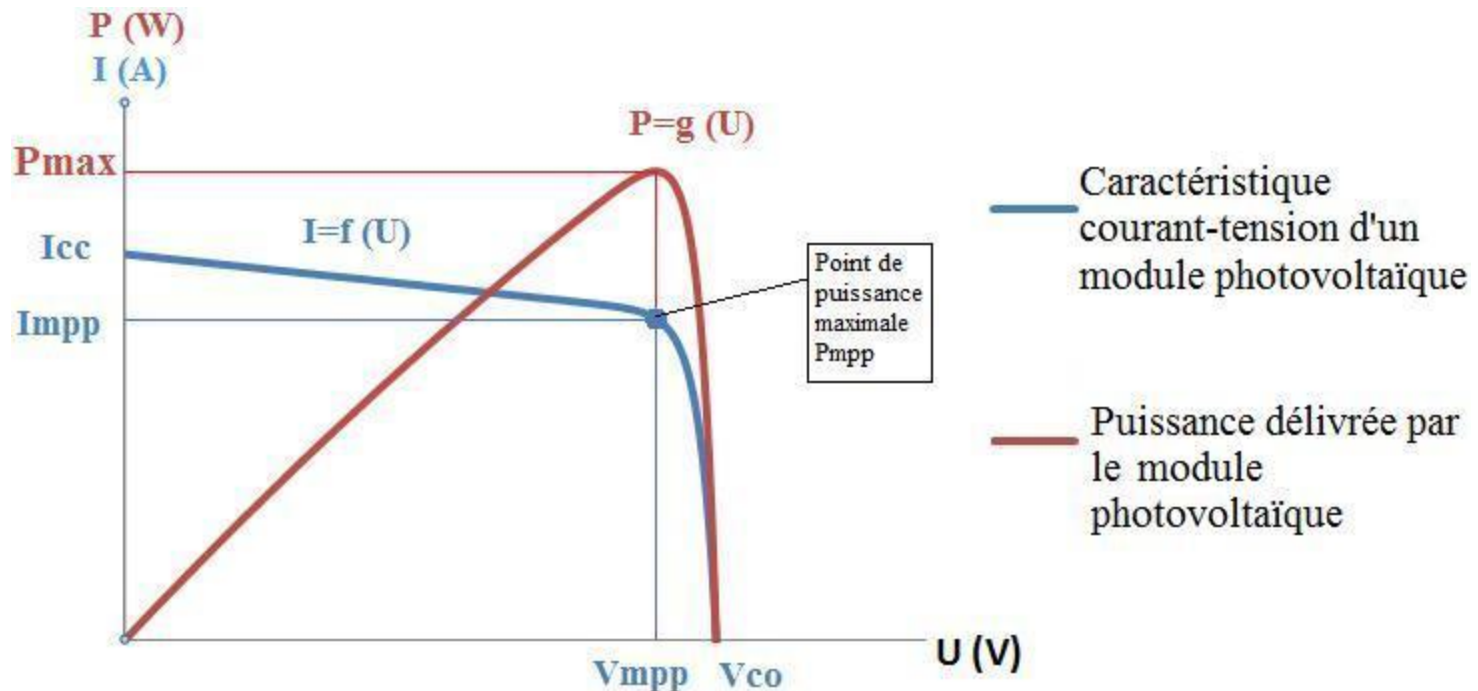
la tension du circuit global reste la même que la tension de chaque panneau, mais l'ampérage du circuit global est la somme de l'ampérage de chaque panneau solaire et la puissance augmente à cause de A.

Facteurs influant le fonctionnement du PV



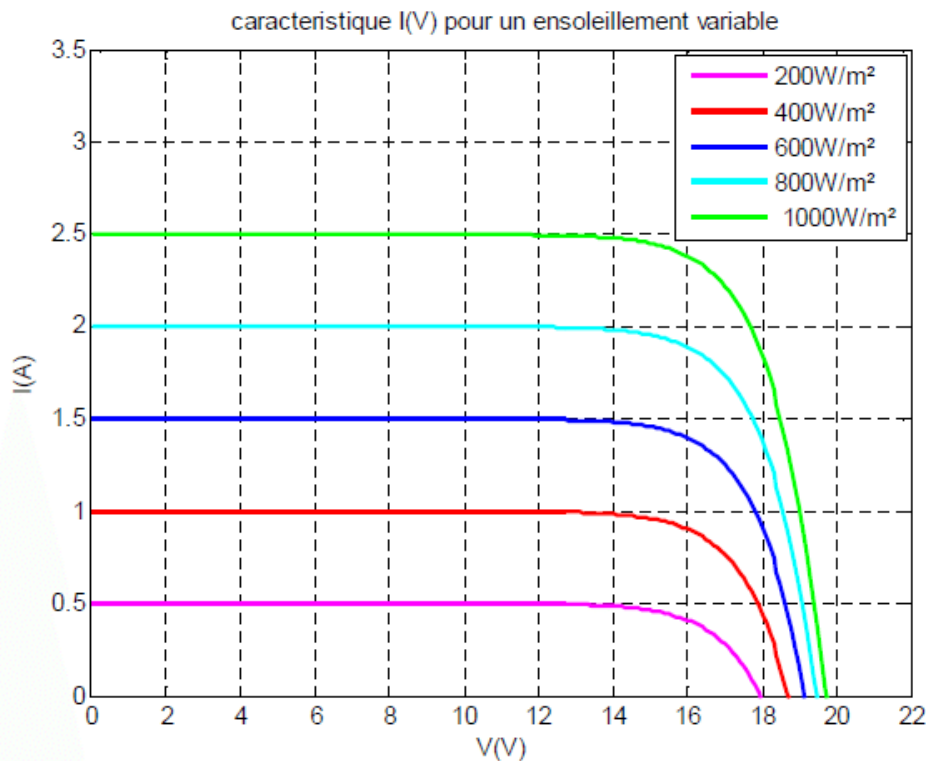
Courbe caractéristique d'un panneau PV

La puissance d'un panneau $P = I.U$, Watts

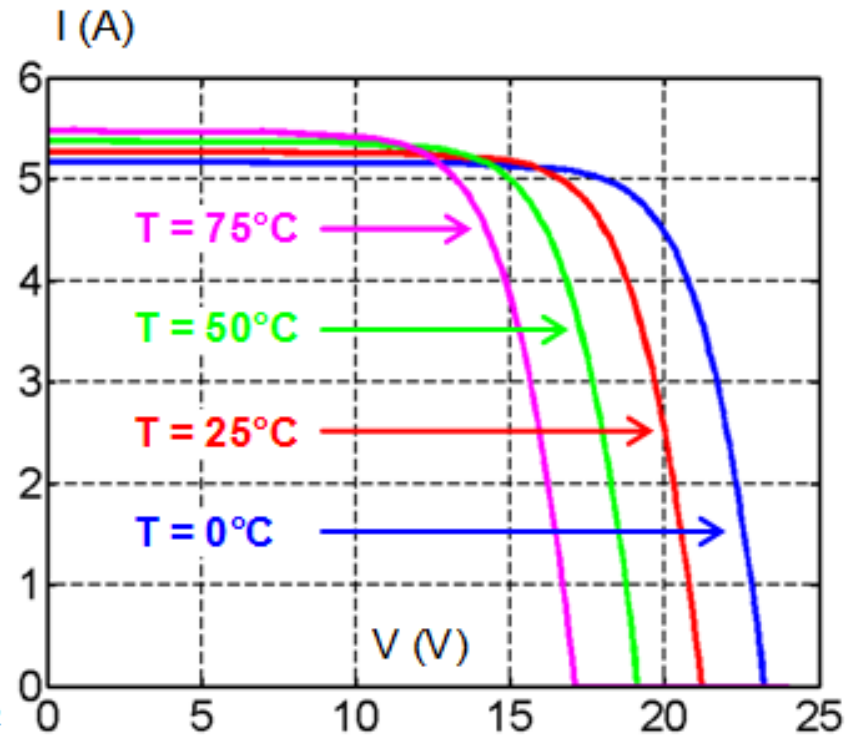


Ce qui peut réduire l'éclairement: l'angle d'incidence des rayons, l'angle d'inclinaison du panneau, la couverture nuageuse, les ombrages, la poussière, ...

Effet de l'éclairement solaire



Effet de la température



Stockage de l'énergie PV en électricité

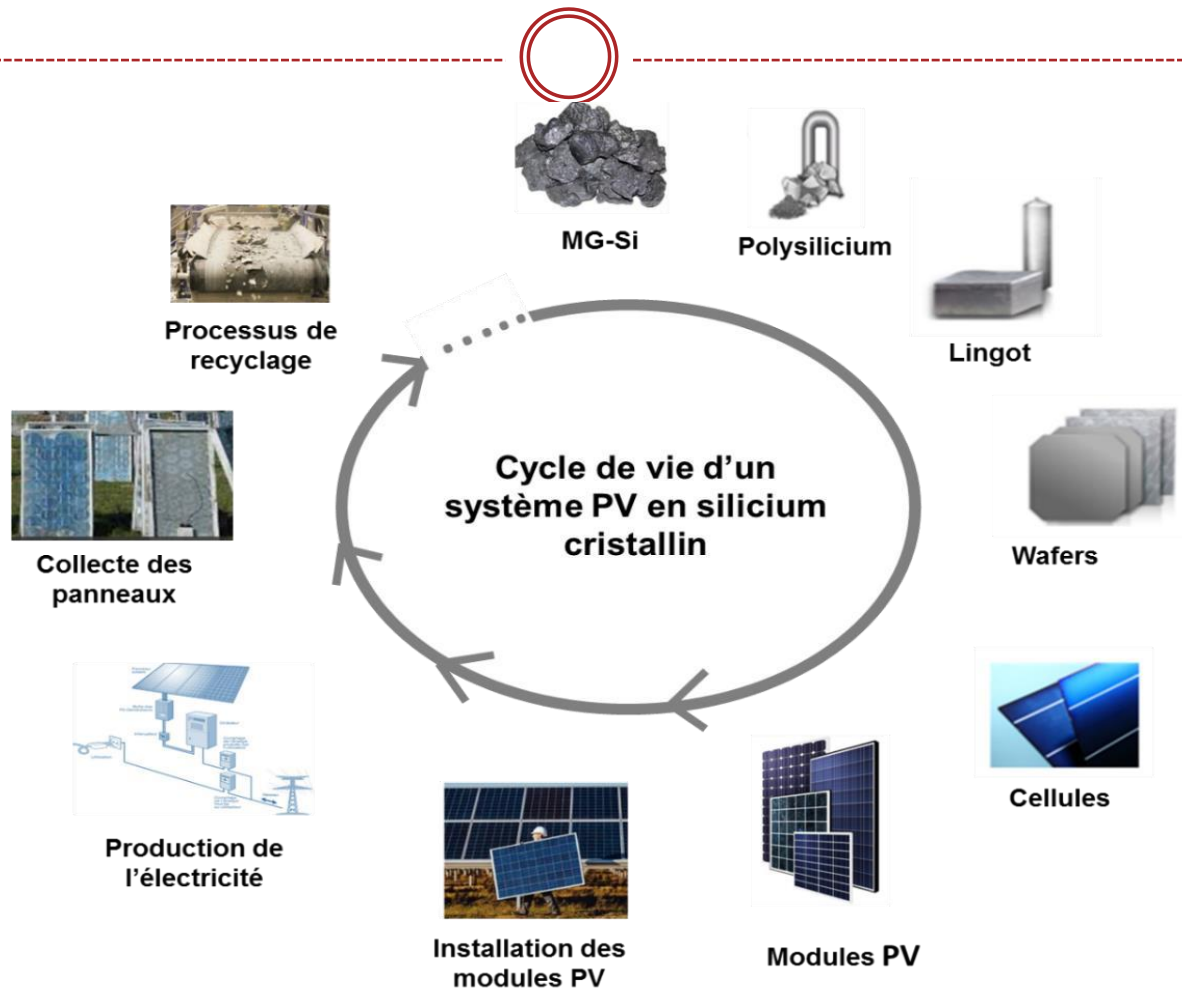


Les batteries au lithium / AGM / Plomb ...

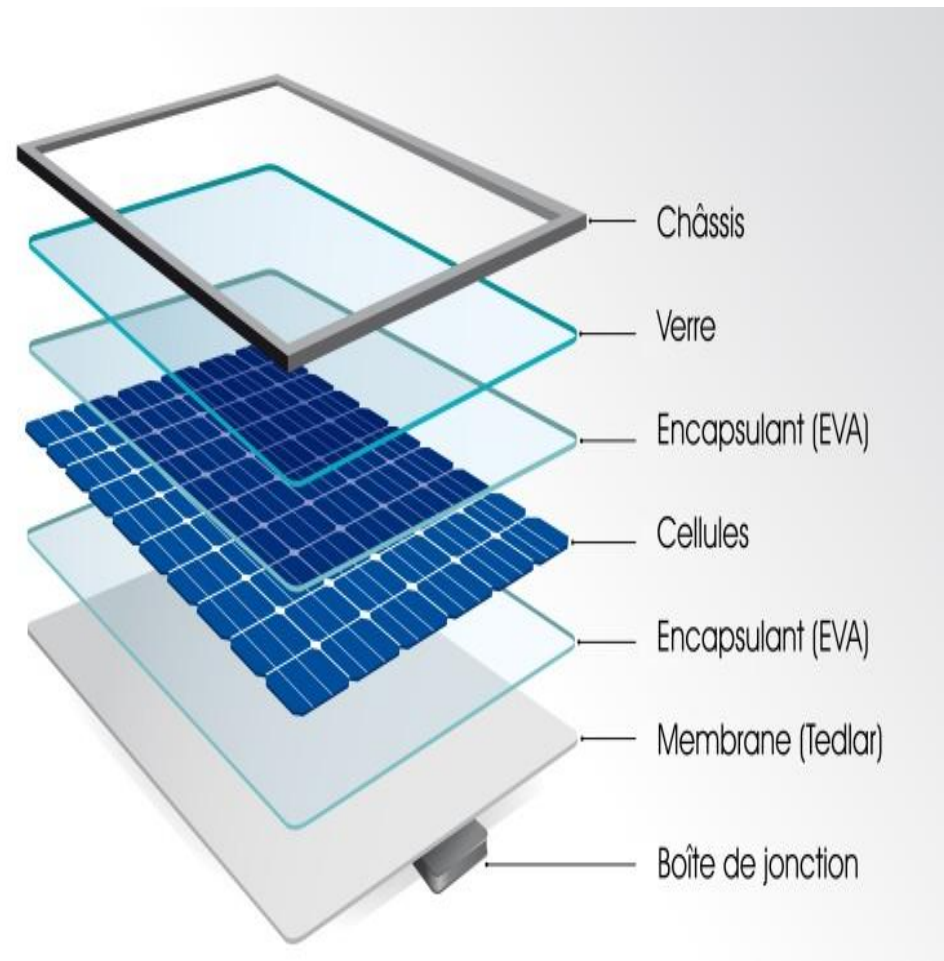
Il existe plusieurs technologies de batterie, principalement au **plomb** (AGM ou Plomb ouvert) et au **lithium-ion**.

	Batterie au plomb	Batterie AGM	Batterie GEL	Batterie au Lithium
Détail	Batterie Low Cost	Batterie à plomb étanche	Batterie + cher	Dernière technologie
Problématiques	Fragile - Non étanche - Sensible au froid	Problèmes de cyclage - Fragile à la décharge	Charge lente	Très polluante
Durée de vie	5-6 ans	5-6 ans	+ 5 ans	Jusqu'à 8-10 ans

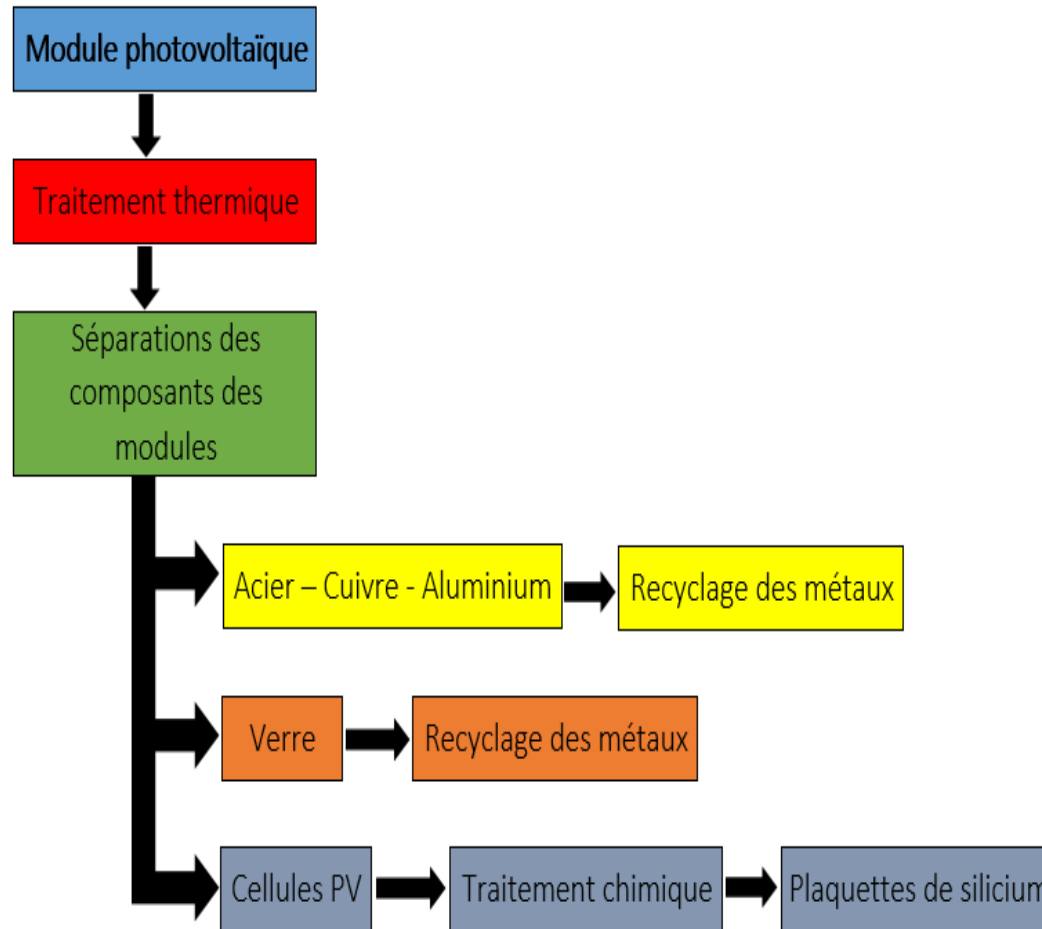
Maintenance



Cycle de vie d'un système PV en silicium cristallin

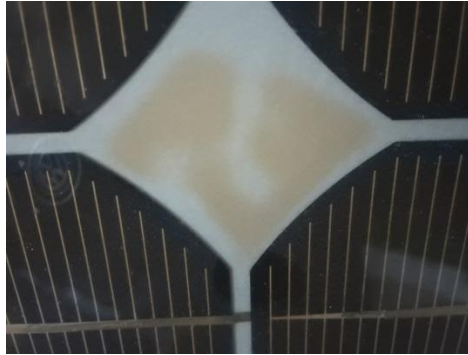


Composition d'un panneau PV

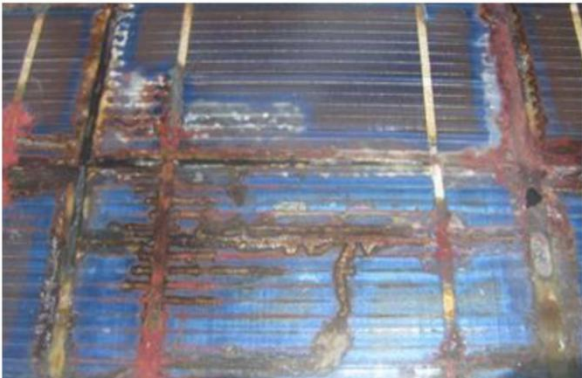


Recyclage des panneaux

Défauts de panneaux PV



Vieillissement du panneau



Corrosion et traces d'escargot

Il existe d'autres défauts:

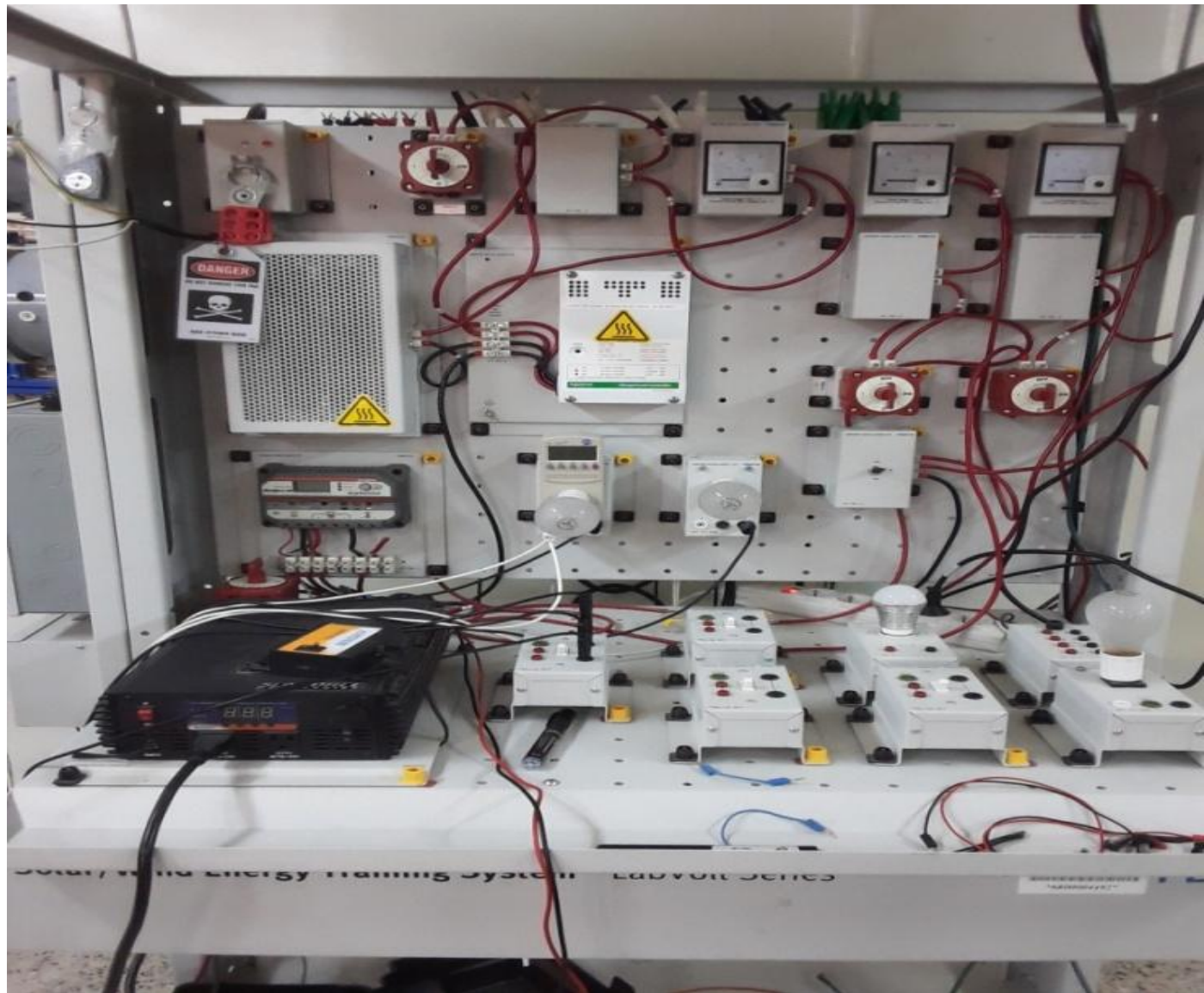
- ***Défauts de fabrication:*** ex soudures , diodes défectueuses , défaut boîte c de jonction,

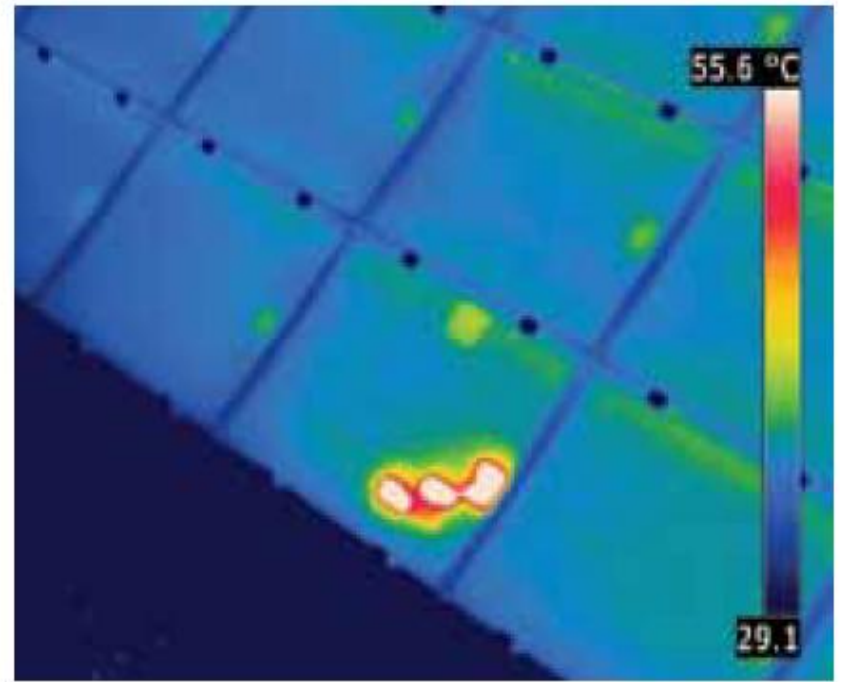
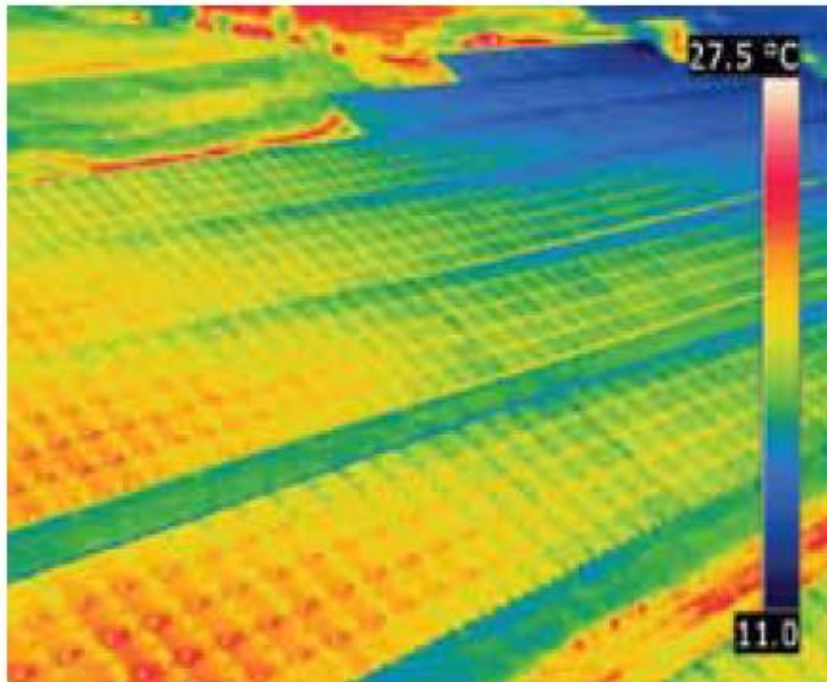
-***Défaut de conception du champ PV :*** puissances différentes , ombrages, sous ventilation des PV en toiture, encrassement....

-***Défauts de connectique et de câblage :*** mauvais dimensionnement, câbles pincés ou dégradés, défauts de connecteurs,....

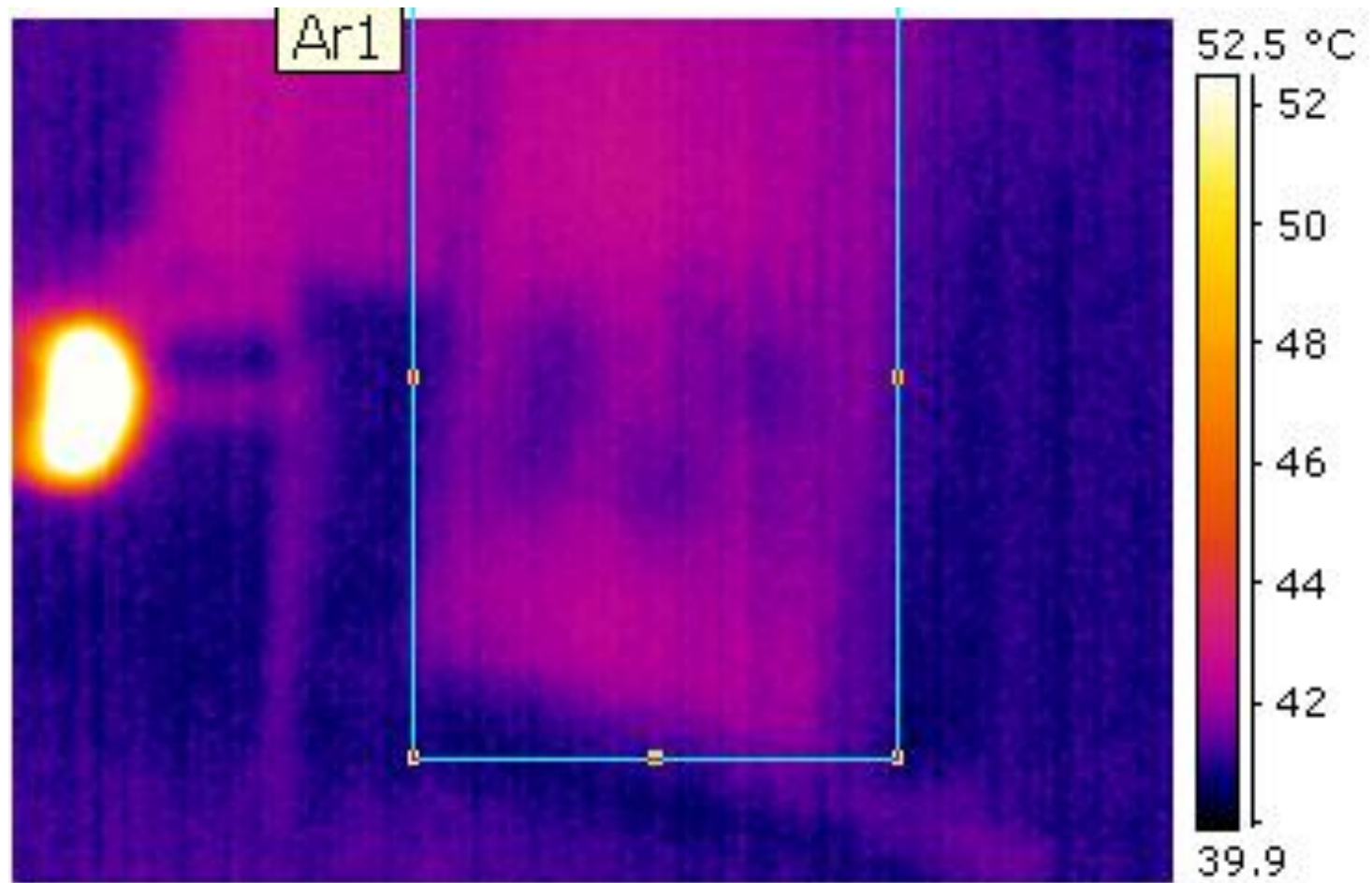
Opérations d'entretien et maintenance

Panneaux	Il faut assurer: - le nettoyage - l'élimination d'ombres - l'inspection visuelle - Vérification des connexions électriques
Batteries	- inspection visuelle - nettoyage - surveiller la corrosion - vérifier l'état des cellules - Mesurer la tension
Régulateurs	- inspection visuelle - Vérifier les tensions - Vérifier les connexions électriques





Thermographie infrarouge (voir les hot spots et défauts du PV)



PV pédagogique (2020) par caméra thermique d'un panneau sous éclairage artificiel.

**THANKS
FOR ATTENTION
ANY
QUESTIONS?
NO? GREAT!**