

IEPS Colfontaine  
Section Énergies et Environnement  
Année scolaire 2007-2008

PHOTOVOLTAÏQUE  
INSTALLATION CONNECTEE AU RESEAU  
 $\leq 10 \text{ kWc}$

Travail de fin d'étude  
La Rocca Francesco

PROLOGUE.....	4
Bibliographie .....	5
Remerciements .....	6
PARTIE 1 - THEMES.....	7
Historique.....	8
Capacité photovoltaïque dans l'union européenne .....	9
Unités électriques .....	10
La ressource solaire.....	12
Ensoleillement .....	14
Rotation – Inclinaison de la terre.....	16
Ombrage .....	19
Effet photovoltaïque.....	22
Cellule photovoltaïque.....	24
Rendement.....	26
Paramètres de performance.....	30
Branchement des cellules .....	31
Diode By-pass .....	34
Modules.....	35
Principales caractéristiques d'un capteur.....	37
Types d'installations photovoltaïques .....	38
Régulateur.....	40
La batterie.....	42
L'onduleur.....	43
Applications .....	47
Types de poses .....	48
PARTIE 2 - ARMOIRE PHOTOVOLTAIQUE DU LABO.....	52
Les éléments de l'installation photovoltaïque autonome.....	53
Précautions de sécurité.....	58
PARTIE 3 - INTERCONNEXIONS ARMOIRE DU LABO .....	59
Flux électriques .....	60
Schéma interconnexions Ahmètres-modules-batteries-charges .....	60
Interconnexions modules (//, série).....	60
Configurations.....	61
Configuration 1 .....	62
Configuration 2.....	63
Configuration 3.....	64
Configuration 4.....	65
Configuration 5.....	66
Configuration 6.....	67
Configuration 7 .....	68
PARTIE 4 – CALCULS, MESURES ET ENREGISTREMENTS .....	69
Ombrage Labo le Pachy par logiciel GETSOLAR .....	70
Calcul du gisement solaire .....	75
Branchement des AH mètres.....	76
Dataloggers disponibles.....	77
Informations issues du datalogger Velleman DVM345DI .....	78

Informations issues du datalogger PICO.....	79
Informations issues du datalogger Velleman PCS10 .....	80
<b>PARTIE 5 – INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE CONNECTEE AU RESEAU.....</b>	<b>81</b>
Permis d’urbanisme .....	82
Aides et primes .....	83
Règlement Générale Installation Electrique (RGIE).....	85
Connexion au réseau .....	86
Comptage de l’électricité et compteurs.....	88
Vente d’électricité.....	90
Certificats verts (CV) .....	92
Dimensionnement installation connectée au réseau.....	93
Coût d’une installation photovoltaïque.....	97
Exemple de simulation de coût d’installation photovoltaïque.....	100
<b>PARTIE 6 - ANNEXES .....</b>	<b>103</b>
Annexe - Cellules photovoltaïques en nanotubes de carbone.....	104
Annexe - Caractéristiques onduleur armoire photovoltaïque.....	105
Annexe - Caractéristiques régulateur armoire photovoltaïque .....	106
Annexe - Caractéristiques capteur 55Wc armoire photovoltaïque .....	108
Annexe - Répartition longueur d’onde – W/m <sup>2</sup> .....	109
Annexe – Remplacement éléments armoire photovoltaïque .....	110
Annexe - Caractéristiques batteries armoire photovoltaïque .....	111
Annexe - Datalogger Velleman.....	112
Annexe - Datalogger PICO .....	113
Annexe - Datalogger Velleman DVM345DI.....	114
Annexe - Informations issues de la visite du fabricant DROBen.....	115
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>116</b>

## PROLOGUE

Ce travail de fin d'étude découle d'une idée de projet d'installation photovoltaïque connecté au réseau électrique public dans le cadre d'un immeuble à appartements.

Il fallait donc d'une part, appréhender le fonctionnement d'une installation photovoltaïque laquelle nécessite de comprendre au préalable l'effet photovoltaïque qui lui-même nécessite la définition de la ressource solaire, elle-même dépendant de phénomènes tels que la rotation et inclinaison de la terre, etc...

D'autre part, connaître les critères entrant en jeux lors d'une installation photovoltaïque en termes de permis, prime, déduction, réglementation, certificat vert, ...

L'installation photovoltaïque autonome du laboratoire de l'école servirait donc de point de départ pour comprendre et acquérir les notions essentielles à la mise en œuvre du projet.

Ce travail de fin d'étude a été découpé en thèmes, chacun jetant les bases du thème suivant.

Les thèmes se limitant à acquérir la connaissance suffisante pour comprendre le cheminement qui au départ de la lumière arrive en finalité à l'analyse d'un devis concernant la réalisation d'une installation.

Notez toutefois que cette présentation n'a pas la prétention d'être exhaustive, elle n'abordera en fait ni le calcul d'une installation photovoltaïque autonome ni les installations connectés au réseau au-delà de 10 kWc.

L'aspect écologique, bien que très important, ne sera pas non plus abordé.

## Bibliographie

Principales sources d'inspiration :

Le site d'Energie Facteur 4

<http://www.ef4.be/>

Le site ENERGIE+

<http://www-energie.arch.ucl.ac.be/>

Le site Joint Research Center EC (PVGIS) - Calcul gisement solaire

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php?lang=fr>

Le manuel émanant de la formation FOREM

« L'énergie solaire photovoltaïque (5 jours) »

Le manuel édité dans le cadre du projet

« SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES POUR INSTITUT D'ENSEIGNEMENT »

## Remerciements

Les remerciements vont, pour son implication permanente, à monsieur Daniel Jaupart responsable de la section énergies et environnement de l'IEPS Colfontaine.

Remerciements également adressés à monsieur Angelo Barone, formateur, pour le temps consacré.

## PARTIE 1 - THEMES

## Historique

**1839**

Le physicien français Antoine Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

**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 9 % 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.

**2006**

Plus de 3 GWc de panneaux solaires installés dans l'Union Européenne

## Capacité photovoltaïque dans l'union européenne

Puissance photovoltaïque installée dans l'Union Européenne <i>Statistiques : EurObserv'ER</i>				
Pays	Marché 2006 en MWc	Marché 2007 en MWc	Puissances cumulées fin 2007 en MWc	Puissance installée par habitant (Wc/hab.)
Allemagne	833,0	1.103,0	3.846,0	46,5
Espagne	115,1	340,8	515,8	11,7
Italie	12,5	50,2	100,2	1,7
Pays-Bas	1,5	2,3	55,0	3,3
Portugal	0,4	14,3	17,9	1,7
France (métro)	7,6	12,8	46,7 (+ DOM)	0,8
Autriche	1,5	3,0	28,6	3,5
Royaume-Uni	3,4	3,4	17,7	0,3
Grèce	1,2	2,5	9,2	0,8
<b>TOTAL UE</b>	<b>981,4</b>	<b>1.541,2</b>	<b>4.689,5</b>	<b>8,5</b>

Les fabricants principaux de cellules photovoltaïques en 2007		
Fabricant	Production en MWc en 2007	Capacité de production MWc en 2008 (prévue)
Q-Cells (Allemagne)	389	925
Sharp (Japon)	363	710
Suntech Power (Chine)	327	1.000
Kyocera (Japon)	207	300
Motech (Taiwan)	196	400
Sanyo (Japon)	165	350
SunPower (USA/Philippines)	150	414
Boading Yingli (Chine)	143	400
Solarworld (Allemagne)	130	260
Mitsubishi (Japon)	121	150
BP Solar (USA -UK)	102	130
<b>Production mondiale</b>	<b>3.733</b>	<b>10.249</b>

## Unités électriques

Ce premier thème précise les principales unités auxquelles on fera référence dans la suite de la présentation.

### Kilowatt (kW) = Puissance électrique

1 kW : Puissance d'un système énergétique dans lequel est transférée uniformément une énergie de 1k joule pendant 1 seconde.

1 W (puissance) = 1 J (énergie) / 1 s (temps).

1 kW correspond à 1000 W, soit 1000 joules pendant 1 seconde.

### Kilowattheure (kWh) = Energie

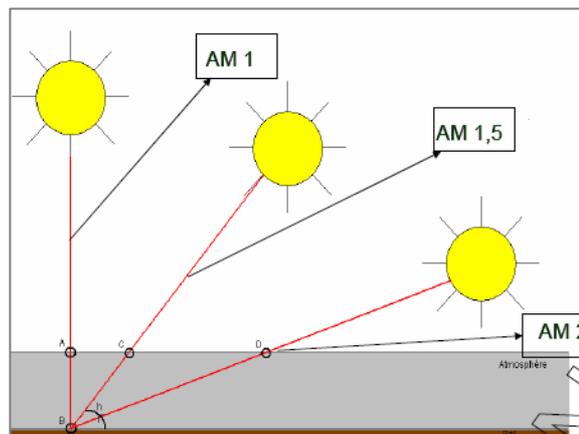
1 kWh correspond à l'énergie consommée par un appareil d'une puissance d'un kilowatt (1 000 watts) qui a fonctionné pendant une heure (1 kilowatt × 1 heure). Le kilowattheure est une unité pratique de mesure d'énergie valant 3,6 mégajoules.

### Kilowatt crête (kWc) = Puissance dans des conditions standards

La puissance crête d'un système photovoltaïque correspond à la puissance électrique délivrée par ce même système dans des conditions standards d'ensoleillement (1000 W/m<sup>2</sup>), de température (25°C) et de standardisation du spectre de la lumière (AM 1,5). Pour la Wallonie, la puissance crête correspond plus ou moins à la notion de puissance maximale.

### Air Mass (AM)

AM correspond au rapport entre la distance parcourue (à travers l'atmosphère) par le rayonnement solaire pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu.



### Kilovoltampère (kVA) = Puissance électrique apparente

Le produit de la tension (U) par le courant (I) s'appelle puissance apparente (S). Elle est exprimée en VA (Volt-Ampère).

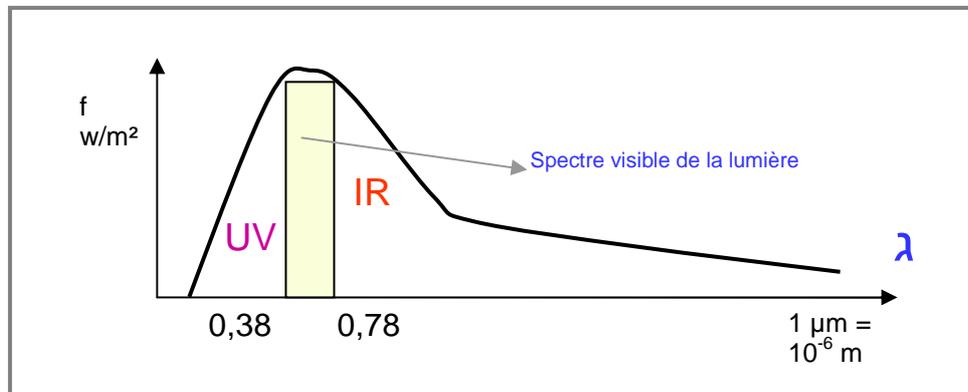
Cette grandeur a peu de signification physique. Elle n'exprime en aucune façon la puissance développée par un circuit alternatif (= puissance active).

La puissance apparente est utilisée pour quantifier la capacité de puissance d'un transformateur. Par exemple, un transformateur qui peut délivrer 1 000 ampères sous 220 volts sera appelé un transfo de 220 kVA (kilo-volt-ampères). Il se peut que ce transfo débite 220 kW, ... si le cos phi de l'installation vaut 1, si l'installation est globalement purement résistive. Mais si l'installation présente un facteur de puissance de 0,8, la puissance développée par le transfo sera de  $220 \times 1\ 000 \times 0,8 = 176$  kW.

Dans le cas d'un système photovoltaïque, la puissance apparente correspond à la puissance maximale à la sortie de l'onduleur (en kVA).

## La ressource solaire

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant grosso modo de 0,22 à 10 microns ( $\mu\text{m}$ ).

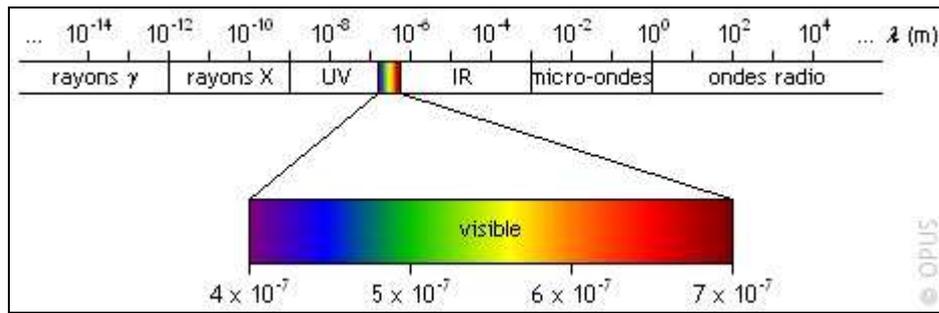


- 9% dans la bande des ultraviolets ( $<0,4 \mu\text{m}$ ),
- 47% dans la bande visible ( $0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$ ),
- 44% dans la bande des infrarouges ( $>0,8 \mu\text{m}$ ).

L'ensoleillement correspond à l'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan à un moment donné. Il s'exprime habituellement en Watt par  $\text{m}^2$ . L'ensoleillement varie de zéro, au lever du Soleil, à sa valeur maximale, typiquement au midi solaire.

L'ensoleillement peut également exprimer la quantité d'énergie solaire captée sur un plan pendant un intervalle déterminé. Il s'exprime habituellement en  $\text{kWh}/\text{m}^2$

Le spectre électromagnétique couvre l'étendue complète des ondes électromagnétiques de toutes longueurs d'onde (ou, de façon équivalente, de toutes fréquences). Ce spectre s'étend donc au-delà de la lumière visible. Des basses fréquences aux hautes fréquences (ou des grandes longueurs d'onde aux petites longueurs d'onde) on retrouve les ondes radio, les micro-ondes, les infrarouges (IR), la lumière visible, les ultraviolets (UV), les rayons X et les rayons gamma. On constate, à l'aide de la figure suivante, que la lumière visible ne couvre qu'une infime partie du spectre électromagnétique.



*Spectre électromagnétique*

La dualité onde-particule de la lumière nous offre une relation, étonnante au premier abord, puisqu'elle relie l'énergie d'un photon (théorie corpusculaire) à la fréquence de l'onde électromagnétique (théorie ondulatoire).

$$E = hf$$

Où  $E$  est l'énergie d'un photon en joules,  $h$  est la constante de Planck ( $h = 6,62 \times 10^{-34}$  J·s) et  $f$  est la fréquence de la lumière en hertz.

Source : <http://www2.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/13c.shtml>

## Ensoleillement

En Belgique, on reçoit annuellement un peu moins de 1000 kW/h/m<sup>2</sup>.an, ce qui correspond à 100 L de fioul par an.

La quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200W/m<sup>2</sup>. La rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent ou diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus.

### **Le rayonnement diffus**

Les rayons du soleil en traversant l'atmosphère rencontrent des obstacles tels que les nuages, les poussières,...

Ces obstacles ont pour effet de rediriger les rayons solaires parallèles en une multitude de faisceaux qui partent dans toutes les directions

### **Le rayonnement direct**

Ce type de rayonnement atteint directement le sol sans subir de modification de trajectoire. Les rayons restent parallèles

### **Le rayonnement réfléchi :**

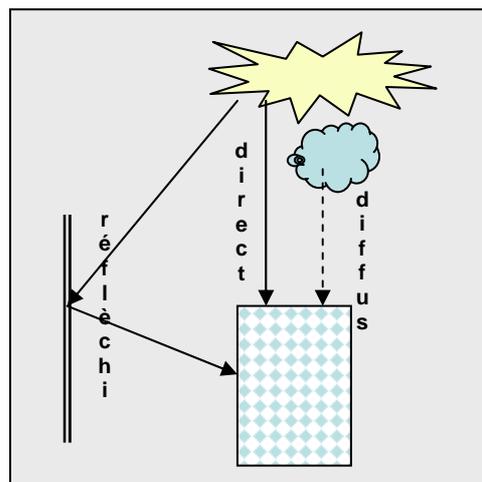
Le rayonnement réfléchi est le résultat de la réflexion des rayons lumineux sur une surface réfléchissante.

Cette réflexion dépend de l'albédo de la surface réfléchissante.

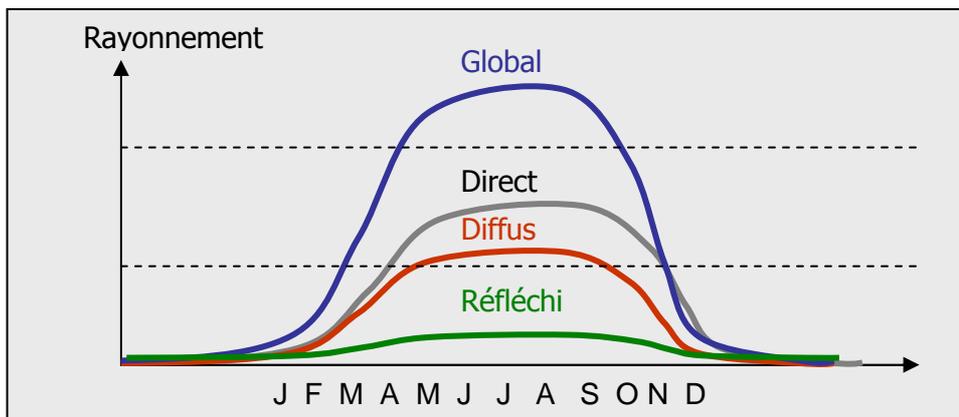
Par exemple la neige a une valeur d'albédo de +/- 0,85 alors que de l'asphalte a une valeur de l'ordre +/- 0,15 ce qui veut dire que la neige réfléchit mieux la lumière que l'asphalte.

### **Absorption :**

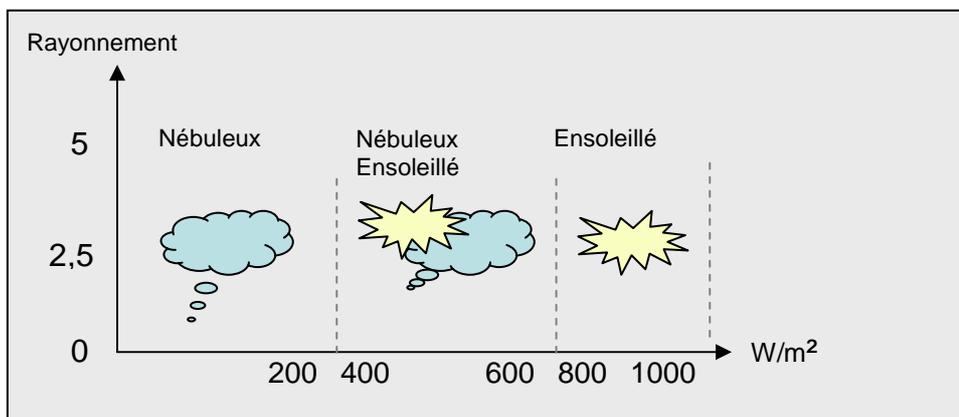
C'est l'énergie des rayons lumineux absorbée lors de la traversée de l'atmosphère



Le **rayonnement global** est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface.



Puissance approximatives en fonction des conditions météo en Belgique



La distribution du rayonnement solaire en Belgique

Wh/m2	MIDDELKERKE	UCCLE	CHIEVRES	KLEINE-BROGEL	FLORENNES	SPA	SAINT-HUBERT
Janvier	23324,1	19934,9	18946	21429,49	20193,282	21701,74	22207,33
Février	38408,6	35366,7	34127,7	37347,43	36886,284	39867,08	42403,39
Mars	82762,2	70736,2	70311,2	73494,77	74980,998	75783,84	77881,23
Avril	120012	106964	104289	110814,4	108247,55	111258,9	112953,5
Mai	155199	142253	133433	142964,2	139408,37	144247,7	147089,5
Juin	161996	148892	139511	149189,7	149189,71	152095,5	154251,2
Juillet	156251	140136	131869	141958,6	144339,32	144247,7	148684,1
Août	133588	120135	113045	122898,7	120976,34	127024,1	124579,4
Sept.	97249,4	89548,8	85518	89726,62	90176,658	93757,5	95727,1
Oct.	60666	54359,9	54087,7	57785,18	58599,132	61316,02	59199,18
Nov.	28288,4	24577	24771,4	27132,73	26249,322	27085,5	25560,38
Déc.	18576,5	15690,1	15940,2	18120,89	16820,79	17654,19	18279,24
ANNEE	1076322	968591	925849	992862,8	986067,77	1016040	1028816

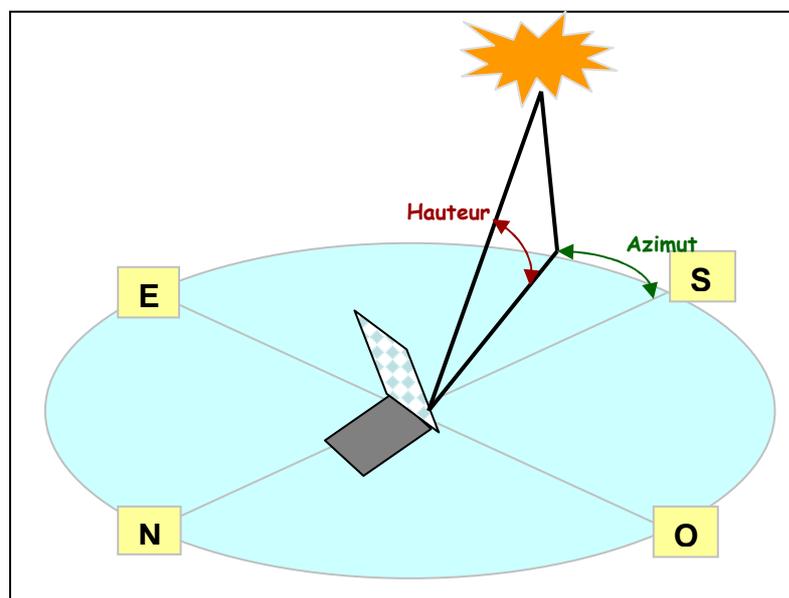
Par localisation, expositions énergétiques moyennes mensuelles et annuelles en Wh/m²

## Rotation – Inclinaison de la terre

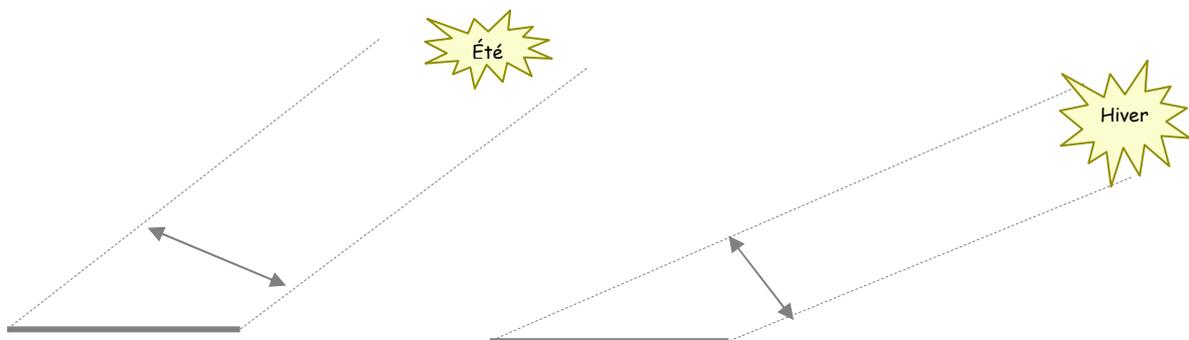
Le schéma suivant nous permet de mieux comprendre l'effet de la rotation et de l'inclinaison de la Terre sur le rayonnement solaire.

L'absorption atmosphérique est plus faible lorsque le Soleil se trouve à son point le plus haut dans le ciel, c'est-à-dire plein sud dans l'hémisphère nord et plein nord dans l'hémisphère sud. En effet, la distance que doit parcourir le rayonnement dans l'atmosphère est plus courte lorsque le Soleil est directement au-dessus de l'endroit visé. C'est le « midi solaire », moment où le rayonnement solaire direct est le plus intense. Comme le Soleil est plus haut et que les journées sont plus longues en été, la quantité totale d'énergie reçue sur un plan horizontal y est plus grande qu'en hiver.

La position du soleil par rapport à la terre est déterminée la hauteur et l'azimut



La quantité d'irradiation solaire, donc d'énergie, est fonction de la position du soleil autrement dit de sa course dans le ciel comme le montre les schémas suivants.



Course du soleil en fonction des saisons.

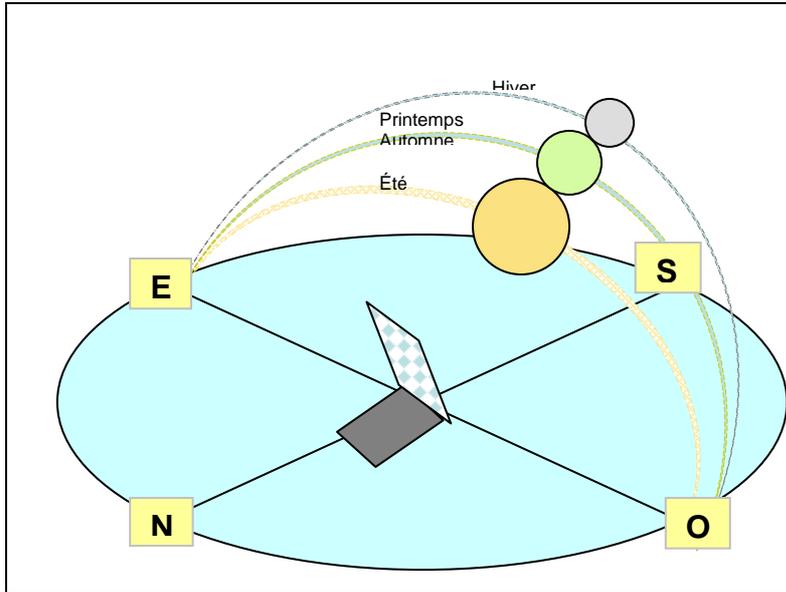
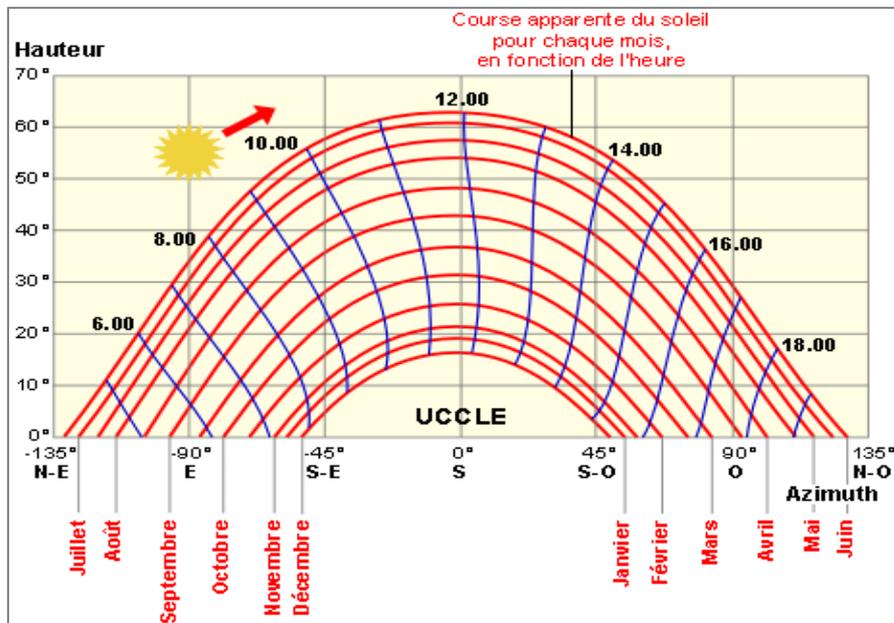


Diagramme permettant d'établir le masque d'ombrages (Voir thème ombrage)



Le tableau ci-dessous permet quant à lui de déterminer l'incidence de l'orientation et inclinaison d'un capteur photovoltaïque.

Exemple.

Un capteur orienté S-E avec une inclinaison de 15° verra sa puissance nominale réduite par le facteur 0,93.

Orientation	Inclinaison						
	0	15	25	35	50	70	90
EST	0,88	0,87	0,85	0,83	0,77	0,65	0,5
SUD-EST	0,88	0,93	0,95	0,95	0,92	0,81	0,64
SUD	0,88	0,96	0,99	1	0,98	0,87	0,68
SUD-OUEST	0,88	0,93	0,95	0,95	0,92	0,81	0,64
OUEST	0,88	0,87	0,85	0,82	0,75	0,65	0,5

Une orientation plein sud et une inclinaison de 35° sont les conditions d'obtention d'un rendement optimal d'une installation en Belgique.

## Ombrage

On distingue deux types d'ombrage, l'ombrage total et l'ombrage partiel.

L'ombrage total empêche tout rayonnement (direct et indirect) d'atteindre une partie de cellule photovoltaïque (par exemple, une déjection d'oiseau, une branche d'arbre sur le panneau, une couverture).

L'ombrage partiel empêche seulement le rayonnement direct d'atteindre une partie de la cellule photovoltaïque (par exemple, une cheminée, un arbre, un nuage).

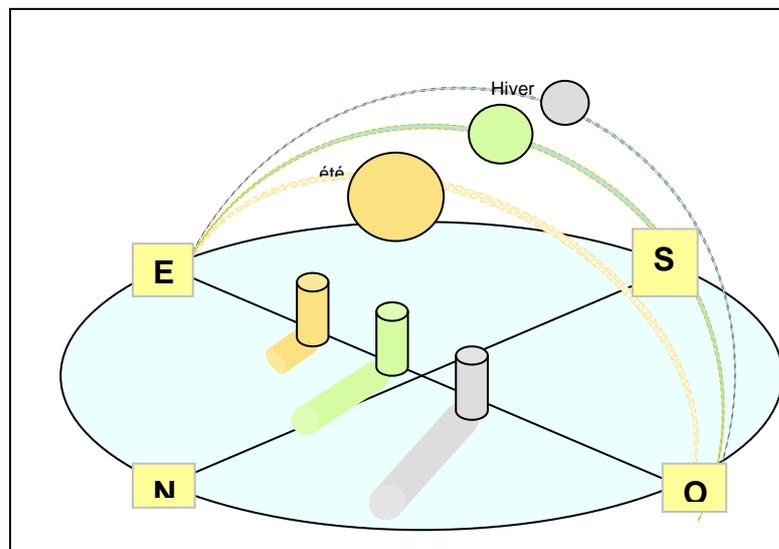
Souvent, les cellules d'un module photovoltaïque sont connectées en série. Ainsi, la cellule la plus faible va déterminer et limiter la puissance des autres cellules. L'ombrage de la moitié d'une cellule ou de la moitié d'une rangée de cellule diminuera la puissance proportionnellement au pourcentage de la surface ombrée d'une cellule, dans ce cas de 50%.  
L'ombrage total d'une rangée de cellules peut réduire à zéro la puissance du module.

Pour ces raisons, il conviendra de choisir un endroit approprié pour l'installation d'un système photovoltaïque où il y a, le moins d'ombrage possible.

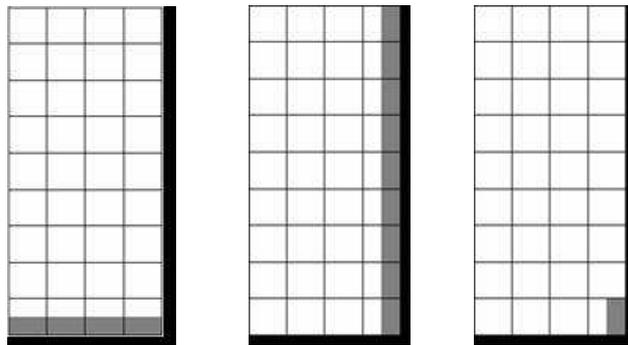
Si des obstacles présents autour d'une installation photovoltaïque ne peuvent être évités, la conception du système devra permettre d'atténuer les conséquences de ces obstacles sur le rendement

L'ombre sur un panneau photovoltaïque fait diminuer la production électrique du panneau. En effet, dès qu'une ombre apparaît sur une cellule photovoltaïque celle-ci ne produit plus d'électricité, étant donné que les cellules sont soudées en série (string) c'est **la cellule la plus faible qui impose son courant au reste du string**. De plus, la cellule cachée devient réceptrice de toutes les autres cellules, ce qui provoque son échauffement et des risques de détérioration. Cet effet est appelé **hot spot**

La portée des ombres dépend de la position du soleil (hauteur azimut)



Ombrage partiel, réduction de 50% la puissance d'un module



Ombrage total, réduction de 100% de la puissance d'un module.

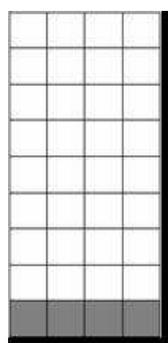
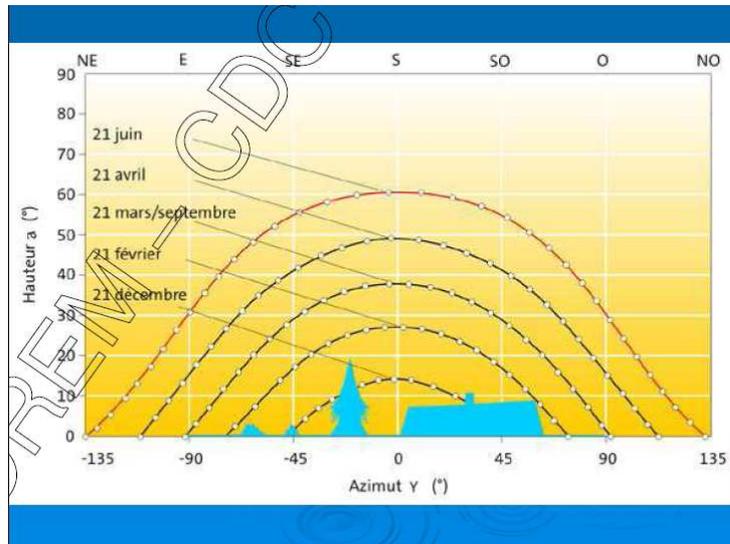
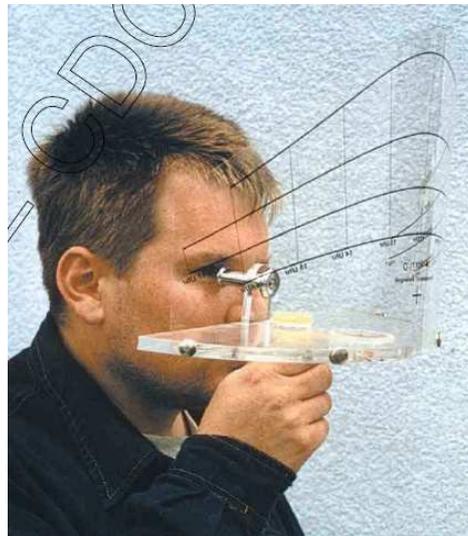


Diagramme permettant d'établir le masque d'ombrage

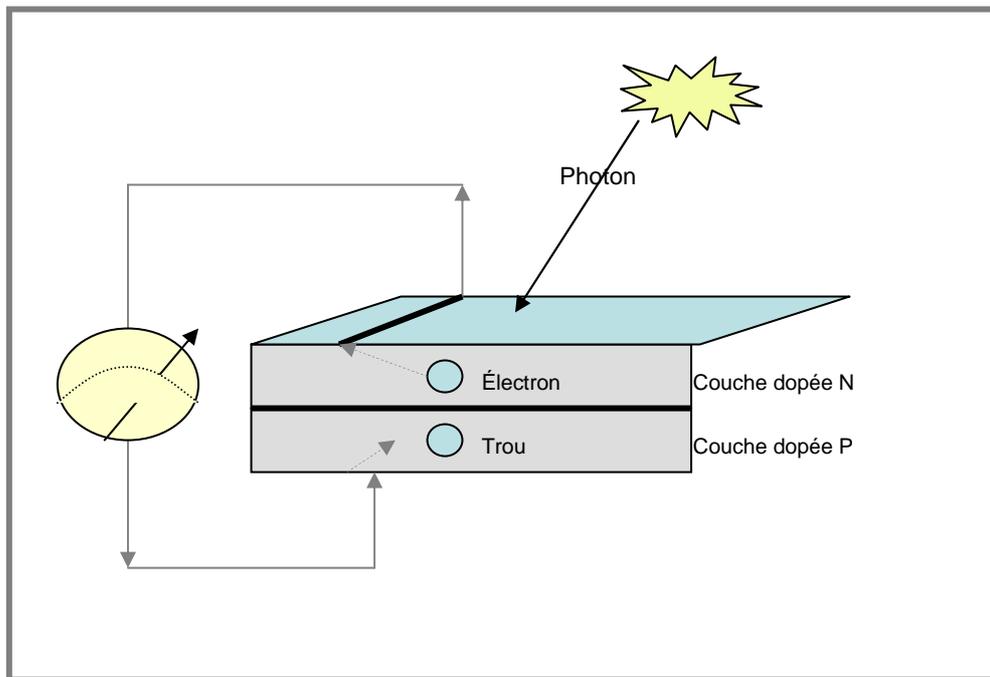


Plusieurs dispositifs et méthodes permettent de déterminer le masque d'ombrage



## Effet photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité.



La lumière du soleil se compose de photons contenant une énergie correspondant aux différentes longueurs d'onde du spectre solaire.

Quand un photon heurte une cellule photovoltaïque, son énergie peut être transférée à un électron dans le matériau semi-conducteur de la cellule.

Avec cette énergie supplémentaire, l'électron peut alors s'échapper de sa position normale dans l'atome créant un « trou », qui deviendra une partie d'un courant dans un circuit électrique. C'est ce qu'on appelle la paire électron trou.

Une cellule photovoltaïque est une diode, 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.

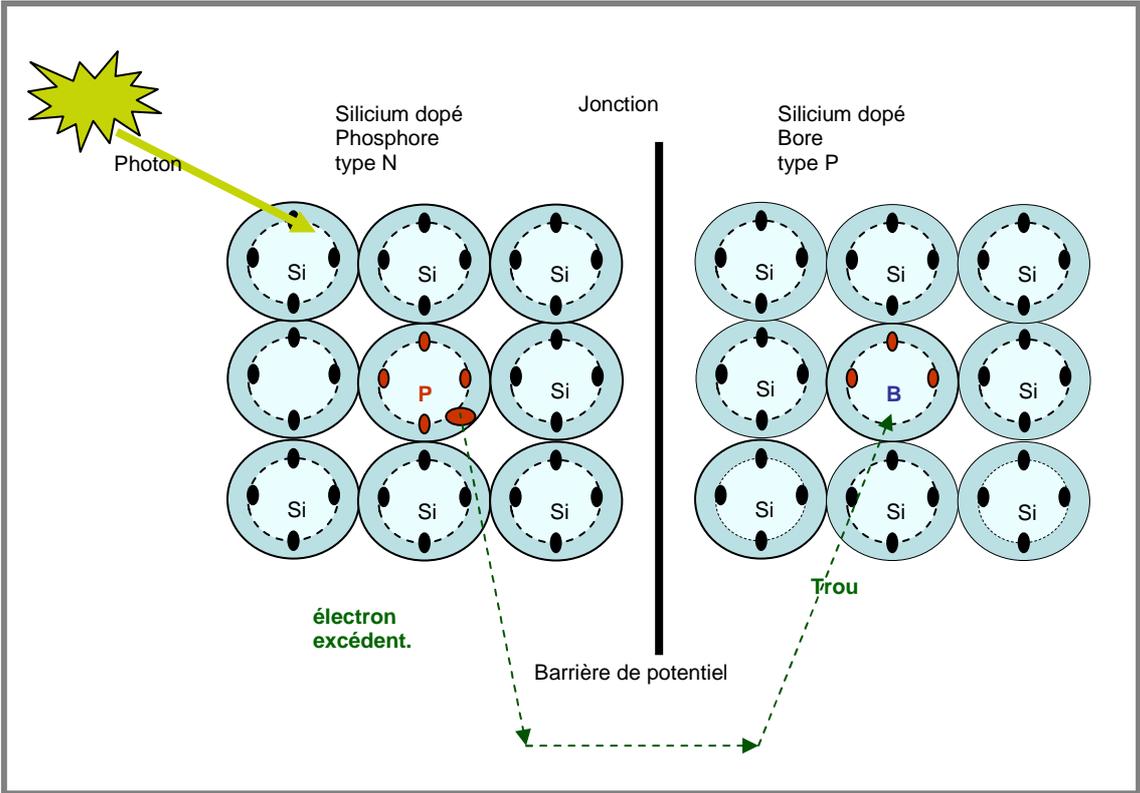
Ce phénomène crée un champ électrique permanent dans la cellule.

Grâce à cet effet diode et lorsque la paire électron trou a été créée, les charges négatives vont être séparées des charges positives.

Il se crée donc une différence de potentiel entre les couches N et P de la cellule. Un courant circule si une résistance (ampoule par exemple) est placée entre ces contacts.

Cette photopile, qu'on appelle aussi cellule solaire ou photovoltaïque, est fabriquée à l'aide de matériaux semi-conducteurs « dopés » afin d'obtenir cet effet.

Pour doper un semi-conducteur, on introduit des impuretés dans la structure du semi-conducteur, qui vont créer un surplus de charges positives (couche P du semi-conducteur) ou négatives (couche N du semi-conducteur). Lorsque l'on effectue deux dopages différents (type N et type P) de part et d'autre de la cellule, il en résulte un champ électrique constant créé par la présence d'ions fixes positifs et négatifs. Le champ électrique permet aux électrons de circuler uniquement dans une seule direction, on parle alors de diode photoélectrique



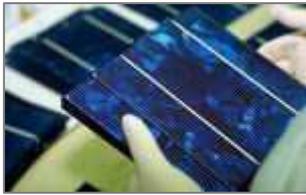
## Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique.

### Types de cellules

Généralement on distingue trois générations de cellules photovoltaïques en fonction des développements technologiques.

#### 1ère génération



Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction P-N et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. La méthode de production basée sur les wafers de silicium est très énergivore et donc très chère.

Elle nécessite par ailleurs un silicium d'une grande pureté. On différencie également les cellules à base de silicium monocristallin et polycristallin.

Ces dernières ont un rendement inférieur par rapport aux premières, mais ont un coût de fabrication moins élevé.

**La technologie la plus utilisée de nos jours, le silicium cristallin, a une part de marché de l'ordre de 93%. Elle permet d'atteindre des rendements de 12 à 18%. Son point faible reste son coût de fabrication (énergie et matière première).**

#### 2e génération



Les couches minces ("thin films") constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque. Dans cette génération, on distingue le silicium amorphe (a-Si), Le disélénium de cuivre indium (CIS), le tellure de cadmium (CdTe), entre autres.

Dans le cas de couches minces, la couche de semi conducteur est directement déposée sur un substrat (par exemple du verre).

La production de ce type de cellules est moins coûteuse que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur et ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en "wafers".

**Le problème des cellules de seconde génération est le rendement moindre de ce type de cellules (6-7% et 14% en labo) et la toxicité de certains éléments (cadmium) pour leur fabrication.** Cependant, cette seconde génération a beaucoup d'avantages pour des marchés de niche comme les applications en modules flexibles, avec de faibles illuminations ou avec des températures élevées.

Le diséléniure de cuivre Indium (CIS) qui est au stade de la production industrielle et offre un rendement de 10 à 12 % pour ses modules commerciaux ne présente pas les problèmes de toxicité du cadmium. Les réductions de coût attendues à moyen terme pour cette technologie sont donc très prometteuses.

Avantage du CIS: moins sensible à l'ombrage et aux variations de température.

### 3e génération



La troisième génération vise à passer la limite maximale de rendement des cellules actuelles, qui est d'environ 30%.

Plusieurs concepts sont envisagés pour atteindre cet objectif :

- superposition de multiples cellules (utilisant des bandes d'énergie différentes)
- cellules à concentration
- utilisation des photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas absorbés par la cellule
- cellules à électrons chauds produisant plus de paires électron/trou pour des énergies supérieures à la bande d'énergie
- conversion des photons pour ajuster le spectre de la lumière solaire aux caractéristiques du semi-conducteur.

La cellule, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique,

**Entre 1 et 3W avec une tension continue de**

**+/- 0,5 V pour du silicium cristallin et**

**+/- 0,8V pour du silicium amorphe.**

Pour arriver à une puissance raisonnable, les cellules sont soudées l'une à l'autre pour former des strings, qui sont soudés l'un à l'autre pour former un module.

## Rendement

### CELLULE

Le rendement d'une cellule est le ratio entre l'énergie lumineuse reçue à la surface de la cellule et l'énergie électrique produite par cette même cellule.

Le rendement d'une cellule photovoltaïque serait d'environ 85% si chaque photon pouvait transférer toute son énergie à un électron.

Cependant, ce n'est pas le cas vu que le transfert d'énergie peut se faire uniquement selon la bande d'énergie propre à chaque semi-conducteur.

Ainsi, les photons avec une énergie inférieure à cette valeur type ne pourront participer à l'effet photovoltaïque et leur énergie sera convertie en chaleur.

De plus, les photons avec plus d'énergie ne peuvent transmettre que l'énergie propre au semi-conducteur et tout excès est dès lors perdu.

Dans les cellules actuelles, ces 2 effets limitent le rendement théorique des cellules à 50%.

### MODULE

Plusieurs façons d'opérer le calcul. Si l'on souhaite obtenir une surface plutôt qu'un nombre de modules, un calcul intéressant est celui du rendement nominal des modules utilisés. Pour cela, il suffit de diviser la puissance nominale par la puissance solaire reçue dans des conditions nominales, c'est-à-dire la valeur nominale du rayonnement multipliée par la surface du module. Le rendement ainsi calculé est, pour de bons modules commerciaux actuels, de l'ordre de 13%.

Ce rendement doit être revu à la baisse pour toute une série de raisons.

- Poussières (facteur 0.94),
- Rayons incidents obliques moins bien absorbés que les rayons normaux à la surface (réflexion sur le verre protecteur et sur les cellules),
- Rendement moins bon à éclairage inférieur à l'éclairage nominal,
- La température interne des cellules est en général supérieure à la température de 25°C (régime nominal, sauf s'il fait - 15°C extérieur), et leur rendement est plus faible dans ces conditions (facteur 0.8). Il faut compter une perte de rendement d'environ 0.4% par degré. Pour une cellule à 50°C, cela fait une chute de 10%, soit une puissance de 0.9W / Wc

Poussières	0.94
Échauffement	0.8
rendement des batteries	0.8
câbles électriques	0.99
non adaptation	0.94
marge de sécurité pour les autres effets	0.8

Le produit de tous ces facteurs vaut  $0.94 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.99 \times 0.94 \times 0.8 = 0.448$   
Le rendement nominal du module (12.7 %), va être corrigé par un produit de facteurs

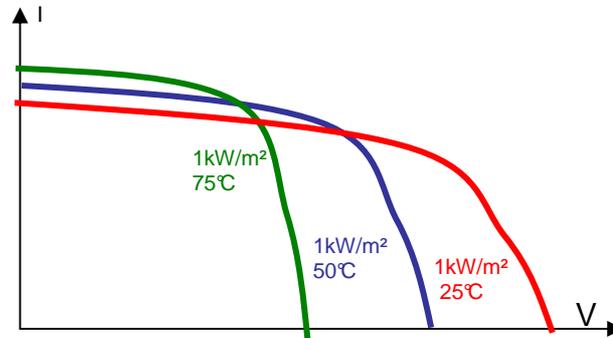
L'ordre de grandeur du rendement sera donc de  $12.7 \times 0.448 = 5.69 \%$

Tableau comparatif des rendements des différents types de cellules

Type	cellule (labo)	Module (labo)	Module (commercial)	Niveau développement
<b>1ère génération</b>				
Silicium monocristallin	24,70%	22,70%	12-20%	Production industrielle
Silicium polycristallin	20,30%	16,20%	11-15%	Production industrielle
<b>2e génération</b>				
Silicium amorphe	13,40%	10,40%	5-9%	Production industrielle
Silicium cristallin en couche mince		9,40%	7%	Production industrielle
CIS	19,30%	13,50%	9-11 %	Production industrielle
CdTe	16,70%		6-9%	Prêt pour la production
<b>3e génération</b>				
Cellule organique	5,70%			Au stade de la recherche
Cellule de Grätzel	11%	8,40%		Au stade de la recherche
Cellules multi-jonctions	39%*	25-30%**		Au stade de la recherche, production exclusivement applications spatiales
* sous concentration de 236 soleils ** module triple jonction GainP/AsGA/G/GE				

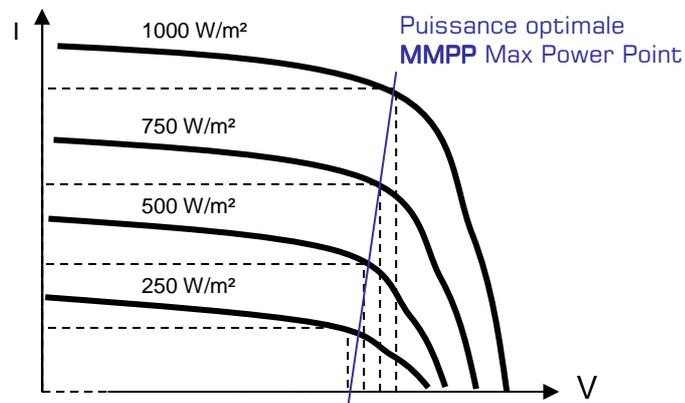
### Influence de la $t^\circ$ sur la courbe I-V, pour une irradiation constante

A irradiation constante la tension diminue avec l'augmentation de la  $t^\circ$   
Cette caractéristique conditionnera le choix de l'onduleur et met en évidence l'importance de la ventilation des capteurs

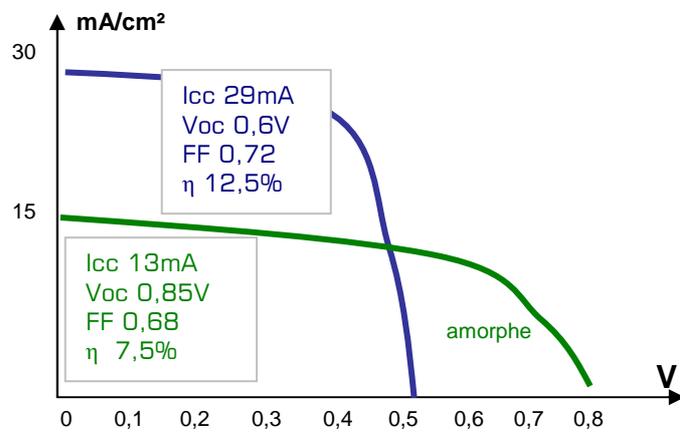


### Influence de la l'irradiation sur la courbe I-V, pour une $t^\circ$ constante

Le courant et la puissance augmentent en fonction de l'irradiation, la tension ne varie que légèrement,  
Cette caractéristique conditionne le fonctionnement de l'onduleur



Comparaison entre une cellule amorphe et cristalline



Surface respective de cellules nécessaires pour produire 1 kWc

Type	Surface
Monocristallin	7-9 $\text{m}^2$
Poly-cristallin	8-9 $\text{m}^2$
CIS	11-13 $\text{m}^2$
Amorphe	16-20 $\text{m}^2$

## Paramètres de performance

On considère en Région wallonne qu'une installation photovoltaïque fixe d'une puissance de **1 kWc** produira environ **850 kWh** par an, dans des conditions optimales.

### La température

La température joue également un rôle important dans la performance des cellules photovoltaïques. Sans entrer dans la physique d'une cellule, on retiendra qu'une augmentation de la température diminue ses performances et qu'une diminution les augmente.

C'est pourquoi il faut prévoir une bonne ventilation des modules par l'arrière pour éviter l'augmentation de la température durant les mois les plus ensoleillés et souvent les plus chauds. L'absence de ventilation pourrait réduire de façon importante la production d'électricité (spécialement toiture intégrée)

Il n'est pas rare d'ailleurs de constater que le record de puissance d'un système photovoltaïque soit atteint durant les mois d'hiver, par une belle journée ensoleillée. L'effet peut être encore plus surprenant avec la réflexion du soleil sur un sol enneigé, ce qui accroît encore la production d'électricité.

### Les autres paramètres

Outre les ressources solaires, limitées par les effets d'ombrage, de nombreux autres paramètres peuvent influencer la productivité d'un système photovoltaïque.

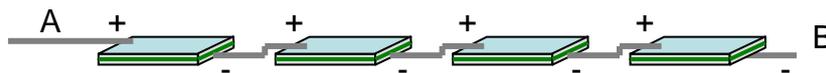
De façon générale, on retiendra que la surface des modules doit être maintenue propre des poussières, déjections d'oiseaux, mousses, etc. Généralement, il n'y a pas besoin de s'en préoccuper car la pluie nettoie suffisamment la surface des modules, (une inclinaison des modules de 15° est suffisante pour obtenir un auto nettoyage efficace du verre), mais une vérification périodique est conseillée

## Branchement des cellules

### Branchement en série

Ce type de branchement permet d'obtenir des tensions plus élevées, l'intensité qui traverse chaque panneau est la même; elle est égale à l'intensité du panneau le "plus faible".

Dans ce type de branchement, la borne positive d'un panneau est reliée à la borne négative du panneau suivant (ou précédent).



Si la tension entre les bornes d'un panneau est de 12V, on disposera, entre A et B d'une tension de  $12 + 12 + 12 + 12 = 48V$ .

Si les quatre panneaux sont identiques et éclairés de la même façon, ils fournissent la même intensité, par exemple 1 A (un ampère). L'intensité fournie par l'ensemble est également de 1A. La puissance disponible (tension x intensité) est de :  $48V \times 1A = 48W$ .

La puissance de l'ensemble est la somme des puissances des quatre capteurs. (Puissance fournie par un capteur :  $12V \times 1A = 12 W$ ).

Supposons maintenant que l'un des panneaux soit dans l'ombre, il fournira une intensité moindre, par exemple 0,2A. Dans ce cas l'intensité fournie par l'ensemble ne sera plus que de 0,2A (le panneau dans l'ombre ne peut pas être traversé par plus de 0,2A).

La puissance fournie par l'ensemble sera de :  $48V \times 0,2A = 9,6 W$ .

Comme vu précédemment, l'ombrage peut entraîner un effondrement de la puissance fournie.

### Branchement en dérivation

Ce type de branchement est aussi appelé "montage en parallèle".

Dans ce cas, les bornes positives des différents capteurs sont reliées entre elles, formant la borne positive de l'ensemble; de même les bornes négatives seront reliées entre elles.

Ce montage n'est possible que si les panneaux ont la même tension (mais ils peuvent fournir des intensités différentes).

La tension entre les bornes de l'ensemble est égale à la tension commune des différents capteurs.

L'intensité fournie par l'ensemble est égale à la somme des intensités fournies par chaque panneau. C'est le montage qui convient quand on a besoin d'une intensité importante.

Entre A et B la tension est de 12V.

L'intensité qui sort de l'ensemble (avec les mêmes hypothèses que pour le montage en série) est :

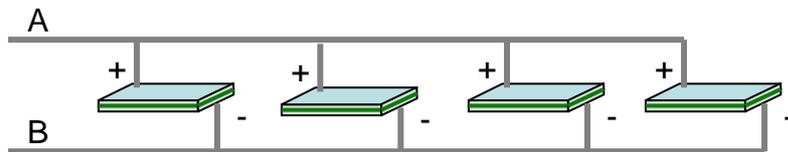
$$1A + 1A + 1A + 1A = 4A.$$

La puissance disponible est donc :  $12V \times 4A = 48W$  soit la même puissance que dans le montage en série.

Comme dans le cas précédent, supposons que l'un des capteurs soit mal éclairé et ne fournisse plus que  $0,2A$ . L'intensité fournie par l'ensemble sera :  $1A + 1A + 1A + 0,2A = 3,2A$ .

La puissance disponible est de :  $12V \times 3,2A = 38,4W$ .

La perte de puissance est moins pénalisante que dans le montage en série (perte de 20% ici contre 80% pour le montage en série).



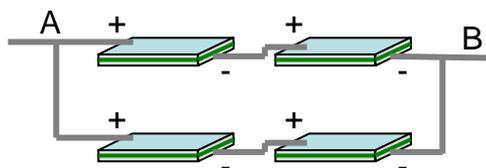
### Montage mixte série - dérivation

Dans ce cas, on monte en dérivation des ensembles de panneaux montés en série (on peut aussi monter en série des ensembles de panneaux montés en dérivation).

Prenons un exemple simple : on dispose d'un onduleur dont la tension de fonctionnement est de  $24V$ . Il faut donc deux capteurs montés en série pour obtenir cette tension ( $2 \times 12V = 24V$ ). Si on dispose de quatre capteurs, on placera en dérivation deux séries de deux capteurs (voir schéma). Si on dispose de six capteurs on montera trois séries de deux capteurs.

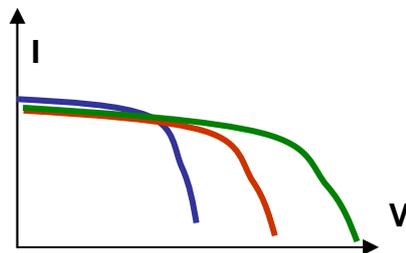
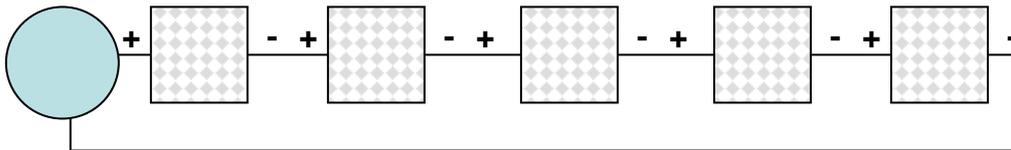
La tension est de  $24V$  entre A et B.

L'intensité fournie par l'ensemble est de  $2A$  (avec les mêmes hypothèses que précédemment).



Comme on peut le constater ci-dessous, dans le cas du branchement série la courant traversant les cellules reste identique et la tension varie.  
 Dans celui parallèle, la tension aux bornes des cellules reste identique tandis que le courant varie.

Branchement en série - 5 cellules 3W



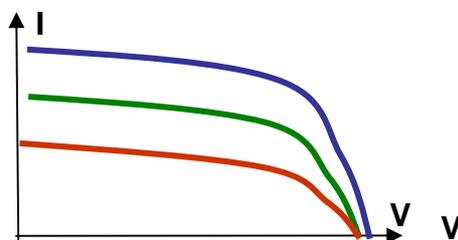
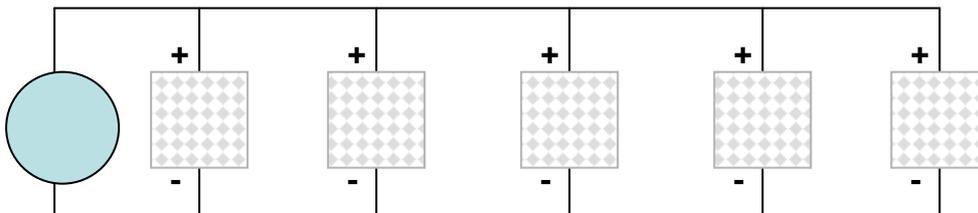
$$P = 15W$$

$$\Sigma 0,5V = 2,5V$$

$$P = U \cdot I$$

$$I = P/U = 15 / 2,5 = 6A$$

Branchement parallèle - 5 cellules 3W



$$P = 15W$$

$$U = 0,5V$$

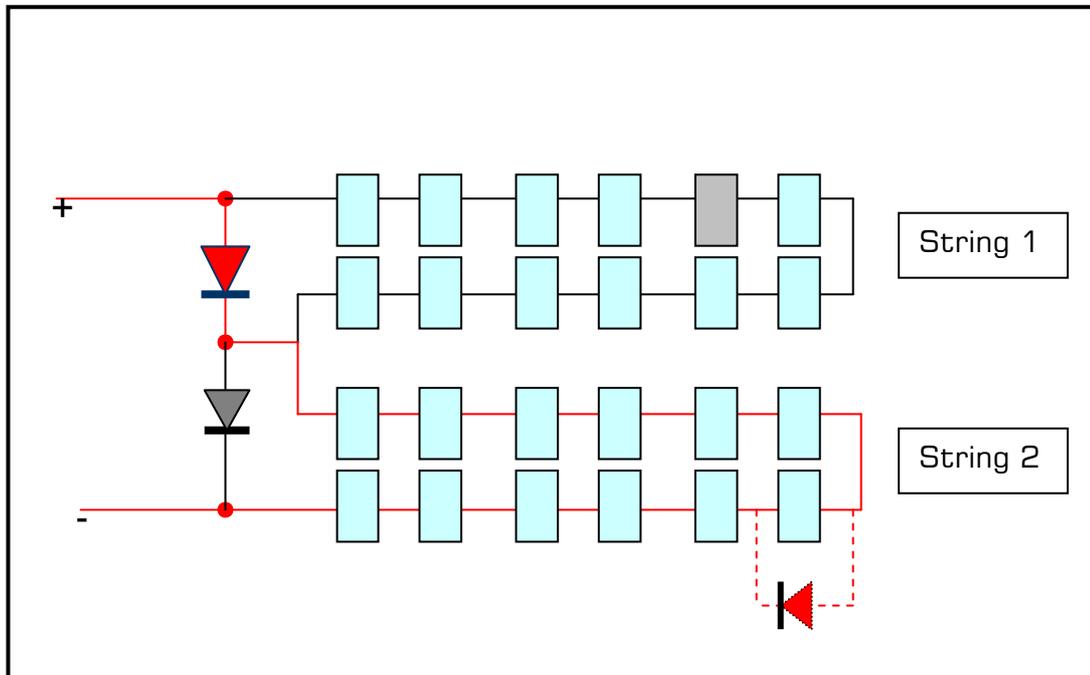
$$P = U \cdot I$$

$$I = P/U = 15 / 0,5 = 30A$$

## Diode By-pass

La diode de by-pass est une des solutions pour protéger les cellules de l'ombrage ou une quelconque détérioration.

Cette diode se place, en général, en parallèle au string.



En cas de bon fonctionnement des cellules, la diode est plus résistive et ne laisse donc pas passer le courant

Dans le cas où un ou plusieurs ou partie de capteurs seraient ombragés au point de laisser passer un courant trop élevé qui mettrait en danger le ou les capteurs, la diode court-circuite le string en question.

On peut également en plus placer une diode en parallèle sur chaque capteur

## Modules

### Assemblage d'un module photovoltaïque

Le but de cette association est triple :

Obtenir une tension suffisante grâce à la connexion en série de nombreuses cellules,  
Protéger les cellules et leurs contacts métalliques contre les conditions ambiantes (humidité,...)

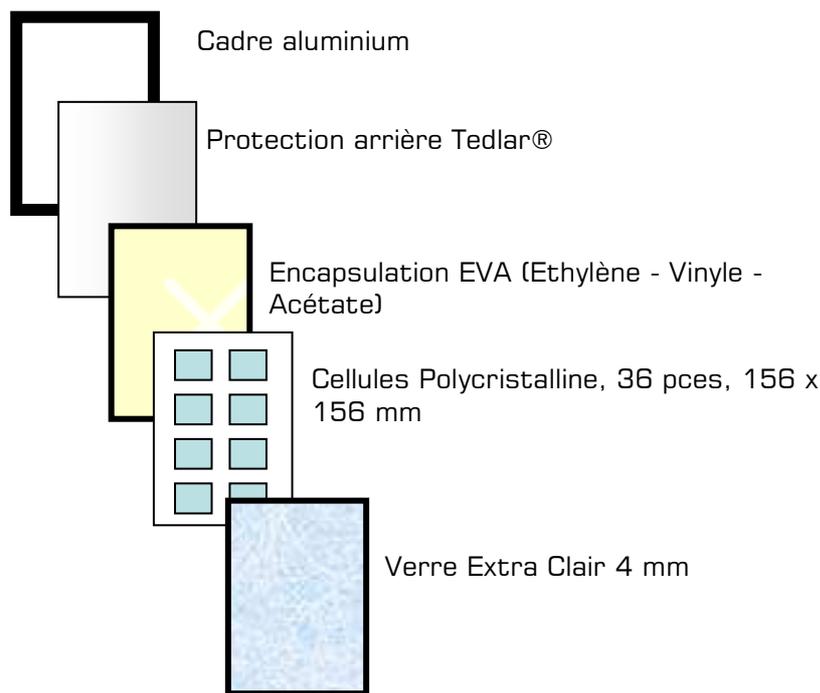
Protéger mécaniquement les cellules, qui sont très fragiles.

Les matériaux utilisés pour l'encapsulation doivent avoir une durée de vie élevée pour résister aux variations de température et à l'exposition aux rayons UV.

Les modules doivent aussi résister aux efforts mécaniques (transport, montage, efforts éoliens) et aux averses de grêle. Enfin, ils doivent pouvoir se fixer facilement sur une structure.

Les cellules sont noyées dans un bain de résine et encapsulées entre de deux vitres en verre trempé ou entre une vitre et une feuille de TEDLAR.

Le tout est généralement inséré dans un cadre aluminium anodisé.



### Rendement d'un module

La puissance crête d'un module correspond à la puissance électrique dans les conditions standard (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1,5).

En connaissant la surface d'un module et sa puissance crête, il est donc aisé de calculer le rendement. Il suffit en fait de calculer la puissance crête par mètre carré et de la comparer à l'ensoleillement des conditions standards : 1000 W/m<sup>2</sup>.

Le rendement d'un module est donc égal à sa puissance crête par m<sup>2</sup> (en W/m<sup>2</sup>) divisé par 1000 W/m<sup>2</sup>.

Exemple: un panneau de 200 Wc a une superficie de 1,6 m<sup>2</sup>. Sa puissance crête par m<sup>2</sup> est donc de 200/1,6 soit 125 Wc/m<sup>2</sup>.

Le rendement de ce panneau est donc de :  $125/1000 = 12,5 \%$

### Les normes de référence

Les normes de références pour les modules sont les suivantes :  
IEC 61215 ou NBN 61215 pour les modules de première génération  
IEC 61646 ou NBN 61646 pour les modules de seconde génération (couches minces)

Ces normes garantissent l'exactitude des informations techniques reprises sur les fiches des fabricants.

Elles garantissent également la réussite d'une série de tests : variations de température, exposition aux rayons UV, résistante aux efforts mécaniques (transport, montage, efforts éoliens, grêle).

### Calcul de la tension de l'installation

La tension max (Voc) donnée dans les fiches techniques des capteurs est la tension dans les conditions standard, c'est-à-dire à 25°C.

Vu que la tension augmente quand la température diminue, on peut imaginer que l'hiver, la tension sera plus élevée que l'été pour une même irradiation.

On peut calculer la tension à différentes températures grâce au coefficient de température que vous pouvez retrouver dans les fiches techniques du constructeur

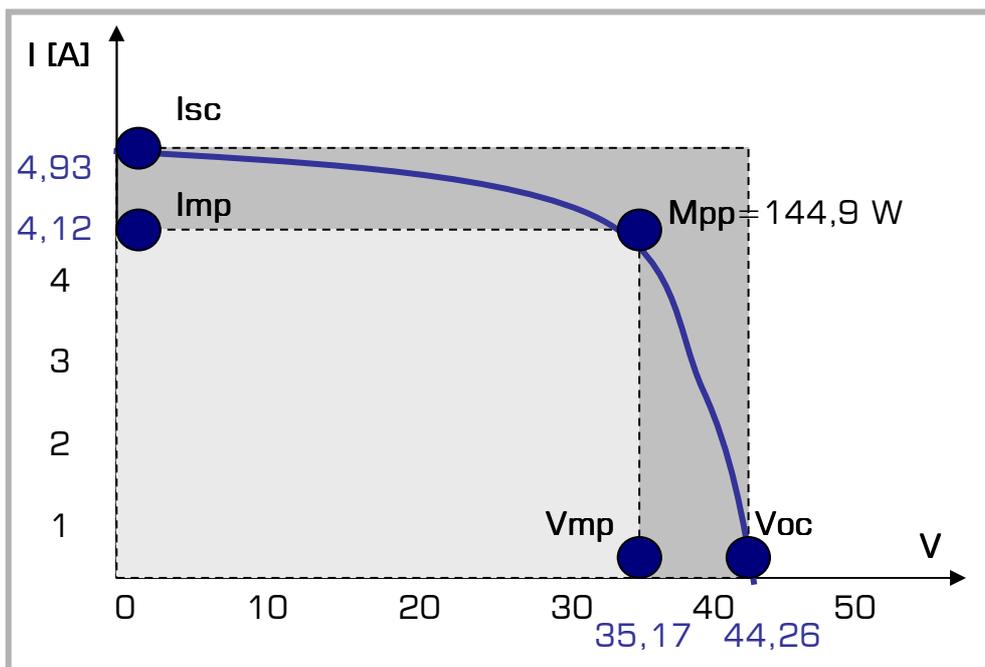
Le rendement est aussi affecté par les pertes dans les auxiliaires

- Les batteries ne restituent qu'une partie de l'énergie reçue (facteur 0.8 affectant uniquement la partie de l'énergie stockée)
- Une partie de l'énergie est perdue dans les câbles de liaison (facteur 0.99)
- Les convertisseurs électroniques associés aux panneaux occasionnent une perte d'énergie (s'en passer conduit à une diminution encore plus importante à cause de l'utilisation du panneau à un régime sous optimal). Il faut donc considérer le rendement moyen de ces convertisseurs. (facteur 0.94).
- Si l'utilisation se fait en courant alternatif (notamment liaison au réseau), il faut tenir compte du rendement moyen de l'onduleur (facteur 0.912).
- Les circuits électroniques qui assurent la surveillance et le contrôle de l'installation peuvent aussi avoir une consommation non négligeable.

On notera que les valeurs numériques indiquées peuvent fluctuer d'un cas à l'autre dès lors, il sera prudent d'incorporer au calcul simplifié exposé ci-dessus un facteur de sécurité d'au plus 0.8 (soit une nouvelle réduction de 20% au moins sur l'estimation de l'énergie fournie par un module).

## Principales caractéristiques d'un capteur

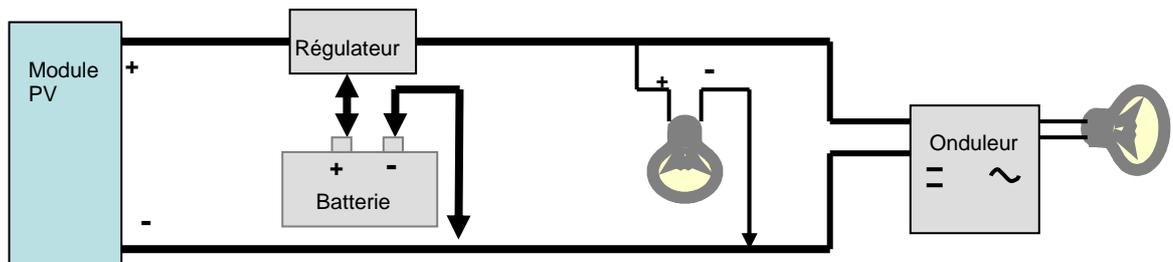
Caractéristiques techniques module CENTIT 150 SERIE (ISSOL S.A.)		
Puissance maximale	$W_p$	145 W
Tension à puissance maximale	$V_{mp}$	37,15
Courant à puissance maximale	$I_{mp}$	4,12
Tension à circuit ouvert	$V_{oc}$	44,26
Courant à circuit fermé	$I_{sc}$	4,93
Tension nominale	V	24
Tension maximum du systeme	V	1000
Coefficient de $t^\circ$ $V_{oc}$	mV/ $^\circ$ C	-148,8
Coefficient de $t^\circ$ $I_{sc}$	mA/ $^\circ$ C	2,2
Coefficient de $t^\circ$ $P_{mpp}$	%/ $^\circ$ C	-0,045
$T^\circ$ fonctionnement	$^\circ$ C	-40, +80
Tolérances mesures	%	+/- 3



## Types d'installations photovoltaïques

Il existe 3 types d'installations photovoltaïques

### Installation autonome

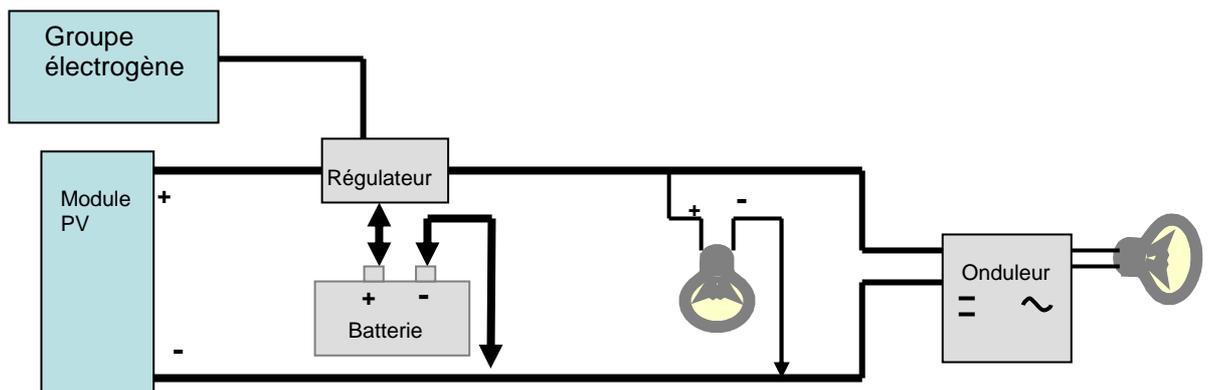


Un système photovoltaïque autonome alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique.

C'est bien souvent le seul moyen de s'électrifier lorsque le courant du réseau n'est pas disponible : les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne...

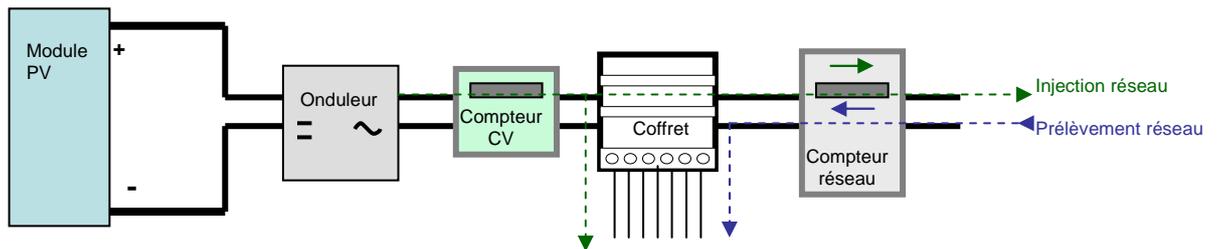
Ce type de système nécessite l'utilisation de batteries pour le stockage de l'électricité et d'un contrôleur de charge (régulateur) pour assurer la durabilité des batteries.

### Installation autonome hybride



Système identique sinon qu'un groupe électrogène produit du courant lorsque les panneaux photovoltaïques n'en produisent plus et que les batteries sont vides.

## Installation connectée au réseau



Système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité

Dans ce cas, il est impératif de convertir le courant continu produit par le système photovoltaïque en un courant alternatif synchronisé avec le réseau. Pour effectuer cette conversion, on utilise un onduleur. Le rendement typique d'un onduleur est d'environ 95%. Il en existe de différentes puissances et les onduleurs sont conçus spécifiquement pour les applications photovoltaïques. L'onduleur possède également une fonction de découplage du réseau qui empêche d'injecter du courant sur le réseau lorsque celui-ci n'est pas en fonctionnement et une fonction de protection contre les surtensions.

### Exemple d'applications

Habitat, refuge, éclairage monuments, pompage, balises, signalisation, routière, horodateur, camping-car, ...

## Régulateur

La plupart des batteries doivent être protégées des surcharges et des décharges excessives qui peuvent causer une perte d'électrolyte et endommager les plaques. C'est le rôle du régulateur qui maintient la tension de sortie entre 2 seuils

Le régulateur est caractérisé par un courant max de charge (panneaux), un courant max de décharge (charge) et par la tension nominale.

### Principe d'un régulateur shunt.

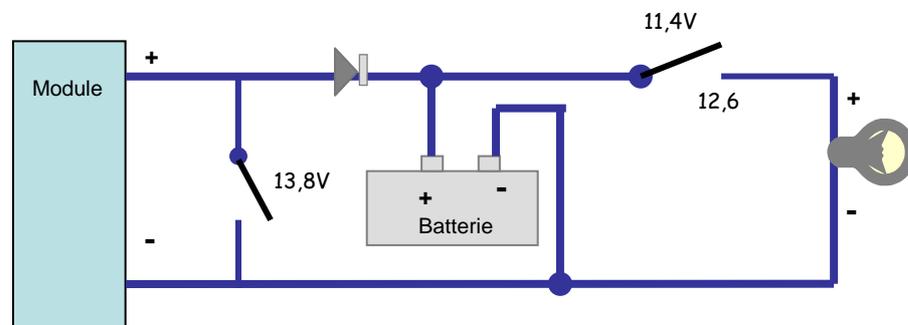
Tout le courant du panneau passe dans la batterie. Lorsque le seuil de coupure est atteint, tout le courant passe dans l'interrupteur.

Il faut ajouter impérativement une diode entre cet interrupteur et la batterie pour ne pas la court-circuiter.

Cette diode joue également le rôle de blocage du courant nocturne pouvant s'écouler de la batterie vers le panneau. Interrupteur utilisé : MOSFET

Inconvénients :

- Aux bornes de l'interrupteur apparaît la tension totale du panneau, il peut donc y avoir des problèmes de protection contre les surtensions.
- Dissipation thermique de l'interrupteur peut être élevée à grand courant



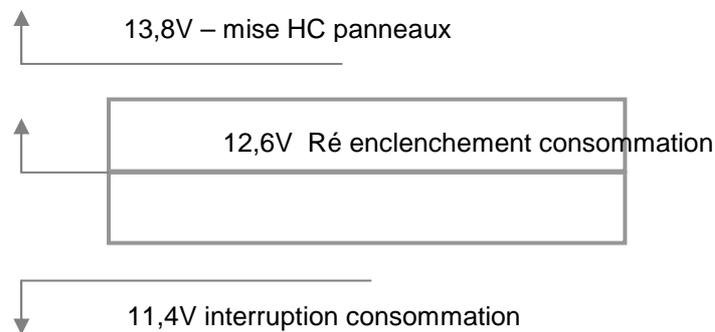
## Fonctionnement

Si la batterie est chargée au max (13,8V pour tension nominale 12V)

Le régulateur met les modules hors circuit (2,3V/élément) afin de ne pas altérer la batterie, lorsque la tension retombe en dessous du seuil, le panneau se remettra automatiquement à charger la batterie.

Si la batterie se décharge trop profondément, le régulateur interrompt la consommation à 11,4V pour éviter une sulfatation des plaques en dessous de 11V (= 1,8V/élément)

La consommation sera réenclenchée lorsque la recharge de la batterie atteint environ 12,6V



## La batterie

**Capacité nominale:** C'est la quantité maximum d'énergie que contient une batterie (25°). Elle s'exprime en Ampère heure (Ah).

**Etat de charge:** C'est le pourcentage de la quantité d'énergie disponible dans la batterie à un instant « t ».

**Profondeur de décharge (PDD):** C'est le pourcentage d'énergie maximum que l'on peut retirer d'une batterie. Elle ne doit pas être déchargée au-delà de cette valeur, afin de prolonger sa durée de vie. En général, on choisit PDD = 25% pour 2 jours d'autonomie ou moins, PDD = 70% pour 4 jours d'autonomie, PDD = 80% pour plus de 8 jours d'autonomie.

**Température:** La variation de température influence le rendement de la batterie. Celle-ci a un fonctionnement idéal à température ambiante de 25°C ; Il faut donc prévoir si possible une régulation thermique pour maintenir sa durée de vie.  
**Tension nominale :** C'est la tension type de la batterie. Elle correspond aussi à la tension de fonctionnement du système autonome. Ex : Tension 12V, 24V, 48V...

**Taux de décharge:** C'est le temps nécessaire pour décharger entièrement la batterie. Supposons une batterie de capacité de 100Ah et de courant de décharge de 5 A : Le taux de décharge sera 100Ah / 5A soit 20 heures ; Il est noté C/20.

**Taux de recharge:** C'est la quantité de courant qu'il faut pour recharger une batterie en un temps donné (temps du taux de décharge). Supposons une batterie de 100Ah et de taux de décharge C/20 : Le taux de recharge sera 100Ah / 20h soit 5 A.

**Cycle et durée de vie:** C'est le nombre de séquences de charge/décharge, que peut subir une batterie à sa profondeur de décharge. Il détermine les performances de la batterie et sa durée de vie.

**Nombres de jours d'autonomie:** C'est la durée pendant laquelle la batterie peut alimenter toute seule l'installation en courant, sans être rechargée ni endommagée.

### Types de batteries

On distingue les batteries Acide-Plomb et les Nickel-Cadmium. Les Nickel-Cadmium sont beaucoup plus chères et ne sont utilisées que dans des cas très particuliers. Par contre les batteries Acides-Plomb de types ouvertes et Acides-Plomb de types fermées sont les plus utilisées dans les systèmes solaires autonomes avec un coût initial bas.

## L'onduleur

### Rôles de l'onduleur

- L'onduleur transforme le courant continu fourni par les panneaux en courant alternatif ayant les mêmes caractéristiques que le réseau.
- L'onduleur se synchronise avec le réseau pour permettre l'injection du courant produit par l'installation.
- L'onduleur recherche en permanence le MPP par rapport à la tension et l'intensité fournies par les panneaux.
- L'onduleur est aussi un système de découplage automatique du réseau en cas de problèmes.

### Quelques types d'onduleurs

Onduleur string :	connexion modules de mêmes caractéristiques
Onduleur muti-strings :	connexion modules avec caractéristiques, orientation et inclinaisons différentes, <u>2 MPP tracker</u>
Onduleur centralisé :	gère seul l'ensemble de l'installation photovoltaïque (Grosse installation)

L'onduleur doit être en parfaite adéquation avec les caractéristiques de l'installation photovoltaïque. Un sous ou surdimensionnement de l'onduleur peut diminuer fortement les performances de l'ensemble du système.

On évitera toute utilisation additionnelle d'énergie pour faire fonctionner le système photovoltaïque (gadgets en tout genre).

### Caractéristiques d'un onduleur

Un onduleur doit travailler dans des plages de courant, tension et puissance bien définies. Le non-respect de ces plages peut provoquer au mieux un mauvais rendement de l'installation et au pire une détérioration de l'appareil.

### Choix de l'onduleur

La puissance de l'onduleur doit correspondre à la puissance maxi des panneaux composant l'installation.

L'onduleur doit avoir une plage de tension couvrant la tension maximale et la tension minimale. L'intensité de l'installation ne doit pas dépasser l'intensité maximale de l'onduleur.

## Exemple de choix d'onduleur pour installation de 6 modules

Calcul de la tension et de la puissance de l'installation (CENIT 150/160)

### **Tension**

$$U_{25^{\circ}} = 6 \times 44,5 = 267 \text{ V}$$

$$U_{-10^{\circ}} = 299 \text{ V}$$

$$U_{70^{\circ}} = 226,15 \text{ v}$$

Plage de travail entre 226 et 299 volts

### **Puissance**

$$P = 6 \times 160 \text{ Wc}$$

$$P = 960 \text{ Wc}$$

Intensité max 5,43 A

Choisir un onduleur qui couvre les plages de tension, courant et puissance.

<b>CENIT 150 SERIE</b>		<b>CENIT 150/145</b>	<b>CENIT 150/150</b>	<b>CENIT 150/155</b>	<b>CENIT 150/160</b>
Puissance maximale	(Wp)	145 W	150 W	155 W	160 W
Tension à puissance maximale	(Vmp)	35.17	32.57	32,69	33.42
Courant à puissance maximale	(Imp)	4.12	4.62	4.75	4.79
Tension en circuit ouvert	(Voc)	44.26	43.78	43.93	44.50
Courant en circuit ouvert	(Isc)	4,93	5.26	5.40	5.43
Tension nominale	(V)	24	24	24	24
Tension maximum du système	(V)	1000	1000	1000	1000
Coefficient de température VOC	(mV/°)	-148.8	-148.8	-148.8	-148.8
Coefficient de température Isc	(mA/°)	2.2	2.2	2.2	2.2
Coefficient de température Pmpp	(%/°C)	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45
Température de fonctionnement	(°C)	-40/+85	-40/+85	-40/+85	-40/+85
Tolérances des mesures	%	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/-3

### **1 ou 2 onduleurs ?**

Pour 2 champs photovoltaïques ayant des configurations différents (orientation, ombrage), il est conseillé d'utiliser des onduleurs séparés qui pourront aller chercher le maximum de puissance électrique de chacun des champs (via MPP tracker).

Dans le cas de l'utilisation d'un seul onduleur, la puissance sera fonction du champ photovoltaïque le plus faible (ombragé ou recevant le moins de soleil).

Mais, il existe maintenant des onduleurs disposant de plusieurs entrées chacune équipée d'un MPP tracker spécifique, onduleurs multi-stringss.

## Exemple d'onduleur multi-strings



- Interrupteur sectionneur DC intégré ESS
- Convient au montage en extérieur et en intérieur
- Fonctionnalités complètes d'affichage
- Connexion AC et DC par connecteurs débrochables
- Plage de température élargie
- Service et assistance téléphonique SMA
- Garantie SMA : 5 ans. Extensions jusqu'à 20 ans

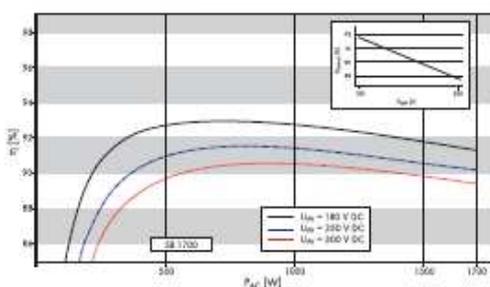
# Caractéristiques techniques SUNNY BOY 1100 / 1700

	SB 1100	SB 1700
<b>Entrée (DC)</b>		
Puissance DC max.	1210 W	1850 W
Tension DC max.	400 V	400 V
Plage de tension PV, MPPT	139 V - 320 V	139 V - 320 V
Courant d'entrée maximal	10 A	12,6 A
Nombre de trackers MPP	1	1
Nombre max. de strings (parallèle)	2	2
<b>Sortie (AC)</b>		
Puissance AC nominale	1000 W	1550 W
Puissance AC max.	1100 W	1700 W
Courant de sortie max.	5,6 A	8,6 A
Tension nominale AC / plage	220 V - 240 V / 180 V - 260 V	220 V - 240 V / 180 V - 260 V
Fréquence du réseau AC (auto-réglable) / plage	50 Hz / 60 Hz / $\pm 4,5$ Hz	50 Hz / 60 Hz / $\pm 4,5$ Hz
Facteur de puissance (cos $\phi$ )	1	1
Raccordement AC	Monophasé	Monophasé
<b>Rendement</b>		
Rendement max.	93,0 %	93,5 %
Euro-eta	91,6 %	91,8 %
<b>Dispositifs de protection</b>		
Protection inversion des pôles DC	●	●
Sectionneur DC ESS intégré	●	●
Résistance aux courts-circuits AC	●	●
Surveillance du contact à la terre	●	●
Surveillance du réseau (SMA grid guard 2)	●	●
Isolation galvanique	●	●
<b>Données générales</b>		
Dimensions (l x h x p) en mm	434 / 295 / 214	434 / 295 / 214
Poids	22 kg	25 kg
Plage de températures de service	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Autoconsommation : service (veille) / nuit	< 4 W / 0,1 W	< 5 W / 0,1 W
Topologie	Transformateur basse fréquence	Transformateur basse fréquence
Système de refroidissement	Convection	Convection
Lieu de montage : intérieur / extérieur (IP65)	● / ●	● / ●
<b>Équipement</b>		
Raccordement DC : MC3 / MC4 / Tyco	● / ○ / ○	● / ○ / ○
Raccordement AC : connecteur à fiche	●	●
Écran LCD	●	●
Couleur du couvercle : rouge / bleu / jaune	● / ○ / ○	● / ○ / ○
Interface : Powerline / RS232 / RS485 / radio	○ / ○ / ○ / ○	○ / ○ / ○ / ○
Garantie : 5 ans / 10 ans	● / ○	● / ○
Certificats et homologations	www.SMA-France.com	www.SMA-France.com

● Équipement de série ○ En option

Données en conditions nominales

## Courbe de rendement



## Accessoires



Applications



## Types de poses

### Toitures inclinées

#### *En surimposition de toiture*



#### Avantages :

- Facilité de pose sur toiture existante
- Permet une bonne ventilation des modules par l'arrière

#### Inconvénients :

- Intégration esthétique limitée

#### *Intégré dans la toiture*



#### Avantages :

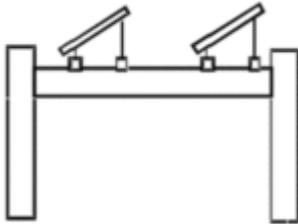
- Intégration architecturale parfaite
- Economies en matériau de toiture (tuiles, ardoises)

#### Inconvénients :

- Pas évident d'assurer la bonne ventilation des modules par l'arrière

Remarques : À privilégier pour les nouvelles constructions ou les rénovations complètes de la toiture

## Toitures plates



### Avantages :

- Facilité de pose
- Coût d'installation très compétitif
- Bonne ventilation des modules par l'arrière

### Inconvénients :

- Prise au vent, nécessité d'une bonne fixation
- Poids. Si utilisation de lestage (blocs en béton ou graviers), vérifier la résistance de la structure portante de la toiture

### Remarques :

- Assurer une bonne fixation sur le toit tout en préservant l'étanchéité (lestage ou fixation sur les parties verticales)
- Ecarter suffisamment les rangées pour éviter les effets d'ombrage



### Avantages :

- Peut se combiner avec la membrane d'étanchéité de la toiture
- Certains systèmes peuvent se coller sur la toiture existante
- le poids très léger (4 kg/m<sup>2</sup>) permet une application sur bâtiment industriel (support bac acier)
- grande flexibilité (s'adapte à toute les formes, ou presque)

### Inconvénients :

Nécessité d'une pente d'au moins 3% pour assurer l'écoulement des eaux de pluie

## Pose verticale

### *Sur mur extérieur*



#### Avantages :

- Bonne visibilité (aspect marketing)
- Il y a généralement beaucoup de surfaces disponibles

#### Inconvénients :

- perte de rendement de 30% par rapport à l'inclinaison optimale

### *Façade intégrée*



#### Avantages :

- Bonne visibilité (aspect marketing)
- Il y a généralement beaucoup de surfaces disponibles
- Bonne ventilation des modules par l'arrière
- Intégration architecturale parfaite

#### Inconvénients :

- perte de rendement de 30% par rapport à l'inclinaison optimale
- coût élevé

#### Remarques :

- Possibilité d'utiliser des modules semi transparents.

## Semi transparent

### *Verrière intégrée*



#### Avantages :

- Intégration architecturale parfaite
- Bonne ventilation des modules par l'arrière

#### Inconvénients :

- Coût élevé

#### Remarques :

- Possibilité d'utiliser des modules semi transparents

### *Brise-soleil*



#### Avantages :

- Double usage : protection solaire et production d'électricité
- Bonne visibilité (aspect marketing)
- Bonne ventilation des modules par l'arrière

## PARTIE 2 - ARMOIRE PHOTOVOLTAIQUE DU LABO

## Les éléments de l'installation photovoltaïque autonome

### Panneaux photovoltaïques



### Les connexions provenant des capteurs et aboutissant à l'armoïre



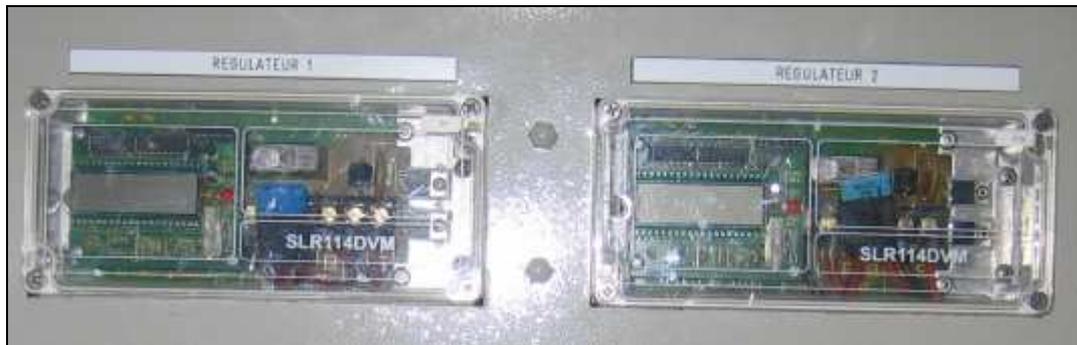
## Intérieur de l'armoire armoire



## Interconnexions modules – régulateurs – charges – batteries - onduleurs



## Régulateurs



## Ah mètres



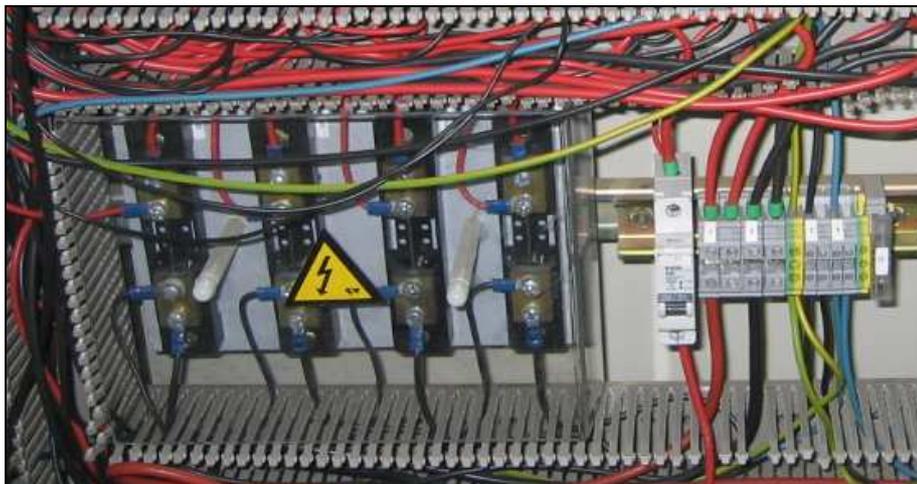
## Onduleur



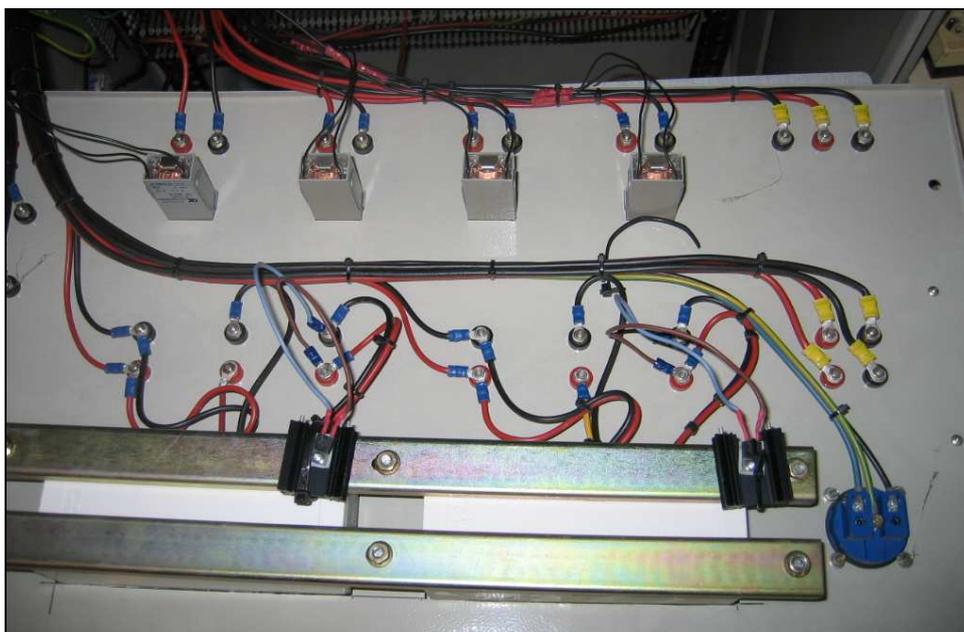
## Batteries



Résistances électroniques Ah mètres - Fusible (16A unipolaire)



Connexions à l'arrière de l'armoire (non accessibles)



## Précautions de sécurité

### ❑ Régulateurs

Contrôler toujours les polarités

Les batteries doivent être connectées au régulateur avant les modules pour éviter ainsi les éventuelles surtensions susceptibles d'endommager le régulateur

### ❑ Onduleur

Prévu uniquement pour une entrée CC 12V

Pas de connexion directe des modules et pas de batteries différentes de 12V

Connexions de sortie aussi dangereuses que le réseau

### ❑ Ah mètre

Intensité maximum 10A

La dérivation doit toujours être connectée au câble négatif

### ❑ Batteries

Il est fortement déconseillé de mettre en // des batteries qui sont déjà connectées

N'activer la sécurité qu'à la fin du montage, après contrôle et juste avant le raccordement des modules

### ❑ Fusible

Fusibles 16A unipolaire monté pour les 2 batteries sur le pôle positif

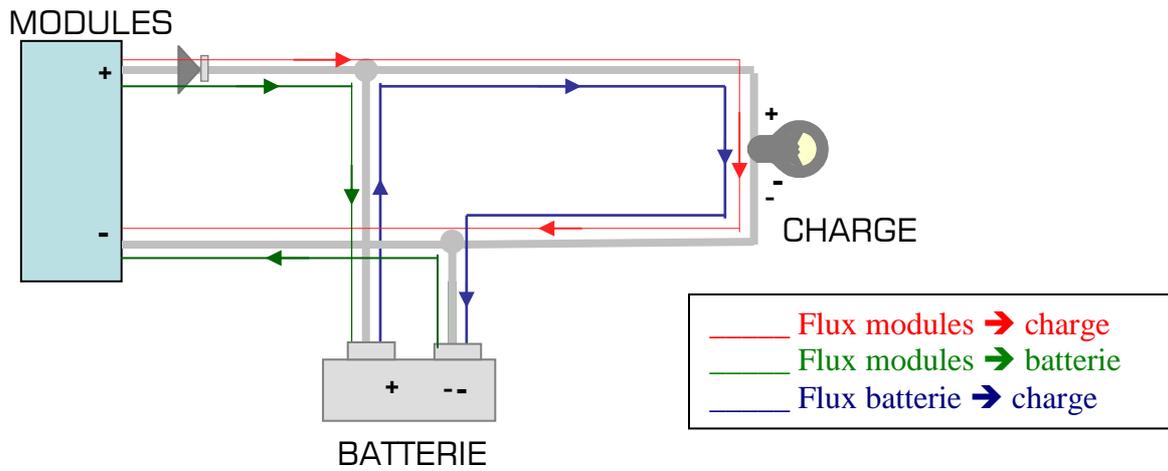
N'activer qu'après avoir contrôlé l'installation

### ❑ Câbles de connexion

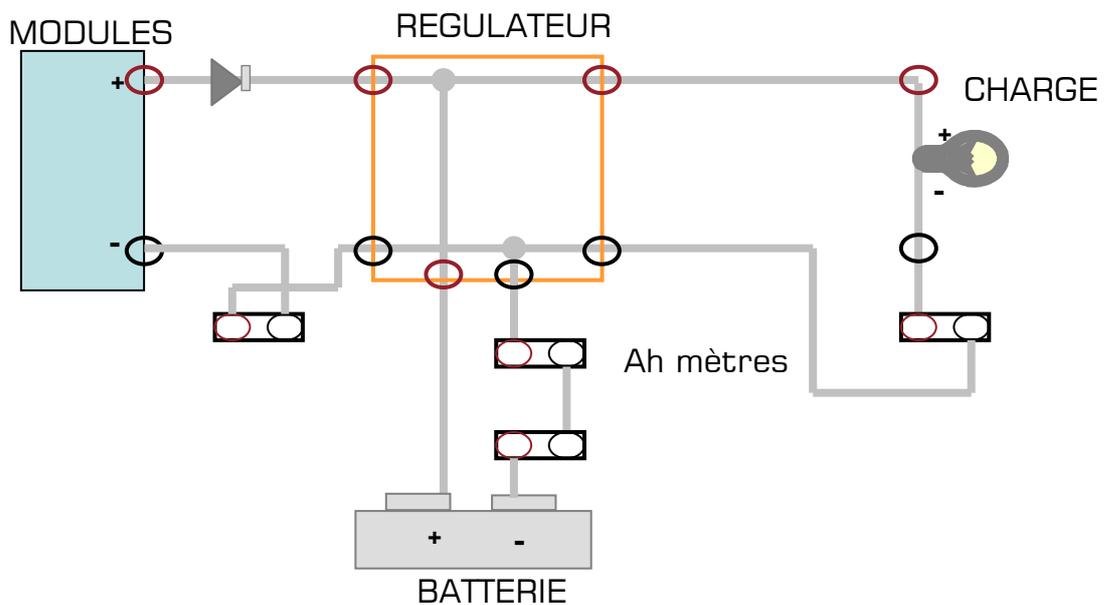
Attention aux manipulations de connexion au tableau, certaines interconnexions aboutissant à une tension dangereuse

## PARTIE 3 - INTERCONNEXIONS ARMOIRE DU LABO

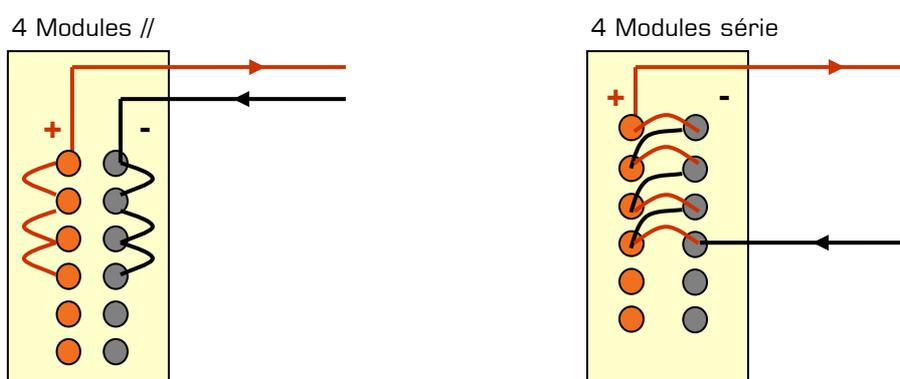
## Flux électriques



## Schéma interconnexions Ahmètres-modules-batteries-charges



## Interconnexions modules (//, série)



## Configurations

Voici quelques configurations d'interconnexions et éléments mis en jeu qui ont permis de réaliser les études de cas telles que :

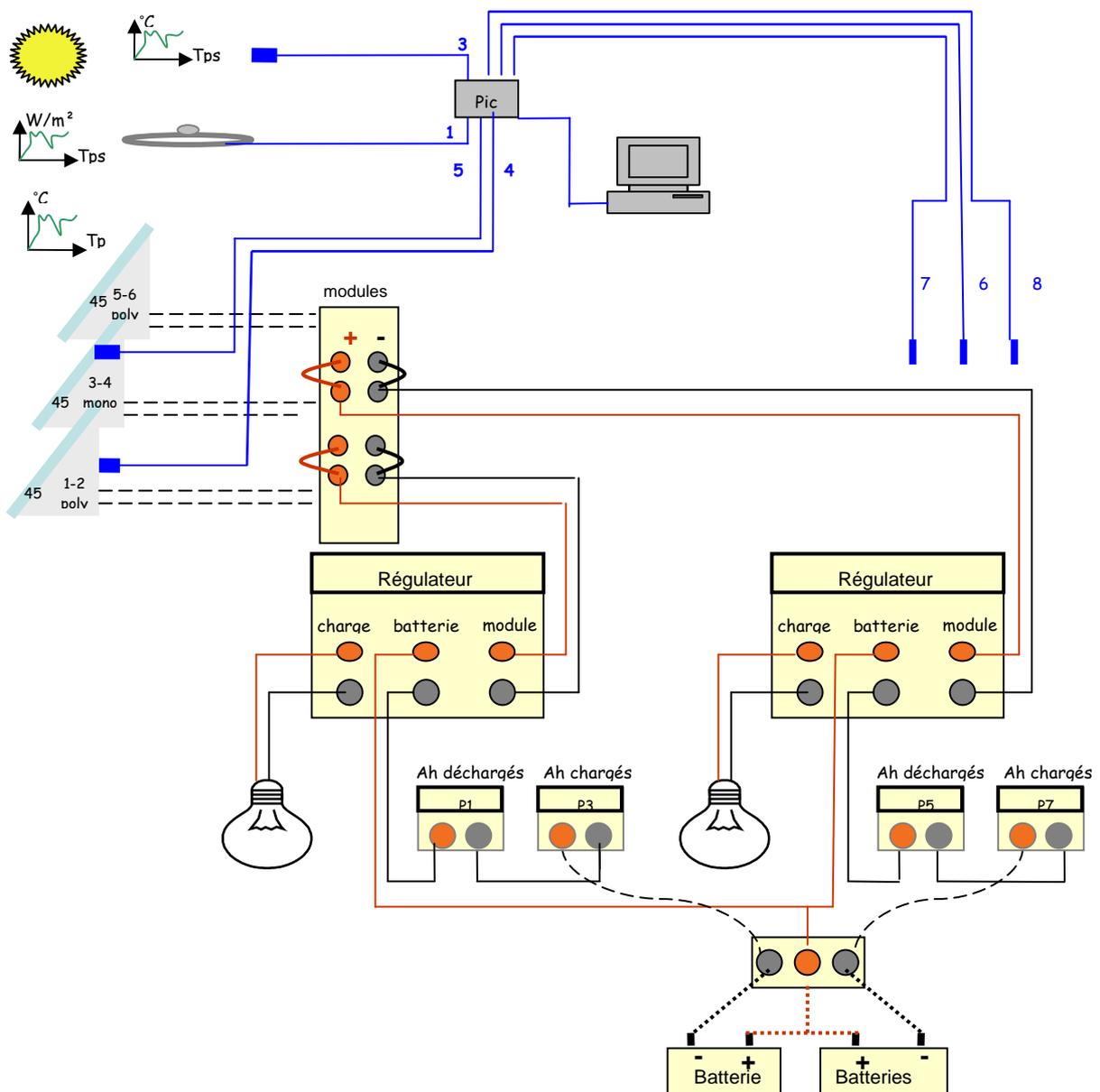
- Configuration 1  
Comparer la charge/décharge de la batterie en fonction de la production électrique produite à partir de capteurs polycristallins par rapport à celle des monocristallins.
- Configuration 2  
Comparer la consommation d'une charge en fonction de la production électrique de capteurs polycristallins par rapport à celle de monocristallins
- Configuration 3  
Estimer la consommation électrique d'une charge et celle de la charge/décharge de la batterie par rapport à la production de combinaisons d'interconnexions de capteurs
- Configuration 4  
Configuration non valide car obligation de brancher la batterie
- Configuration 5  
Idem configuration 3 avec participation de l'onduleur.
- Configuration 6  
Idem configuration 3 avec application frigo 12V + relevés de température
- Configuration 7  
Idem configuration 3 mais les capteurs sont remplacés par une alimentation afin de ne pas dépendre de l'ensoleillement pour réaliser des essais. Cette solution offre également l'avantage de simuler une irradiation constante.

## Configuration 1

Comparer la charge/décharge de la batterie en fonction de la production électrique produite à partir de capteurs polycristallins par rapport à celle des monocristallins.

2 Modules //  
 1 charge  
 1 batterie + 2 Ah mètres  
 1 régulateur

2 Modules //  
 1 charge  
 1 batterie + 2 Ah mètres  
 1 régulateur



## Configuration 2

Comparer la consommation d'une charge en fonction de la production électrique de capteurs polycristallins par rapport à celle de monocristallins

2 Modules // + 1 Ah mètre

1 charge + 1 Ah mètre

1 batterie

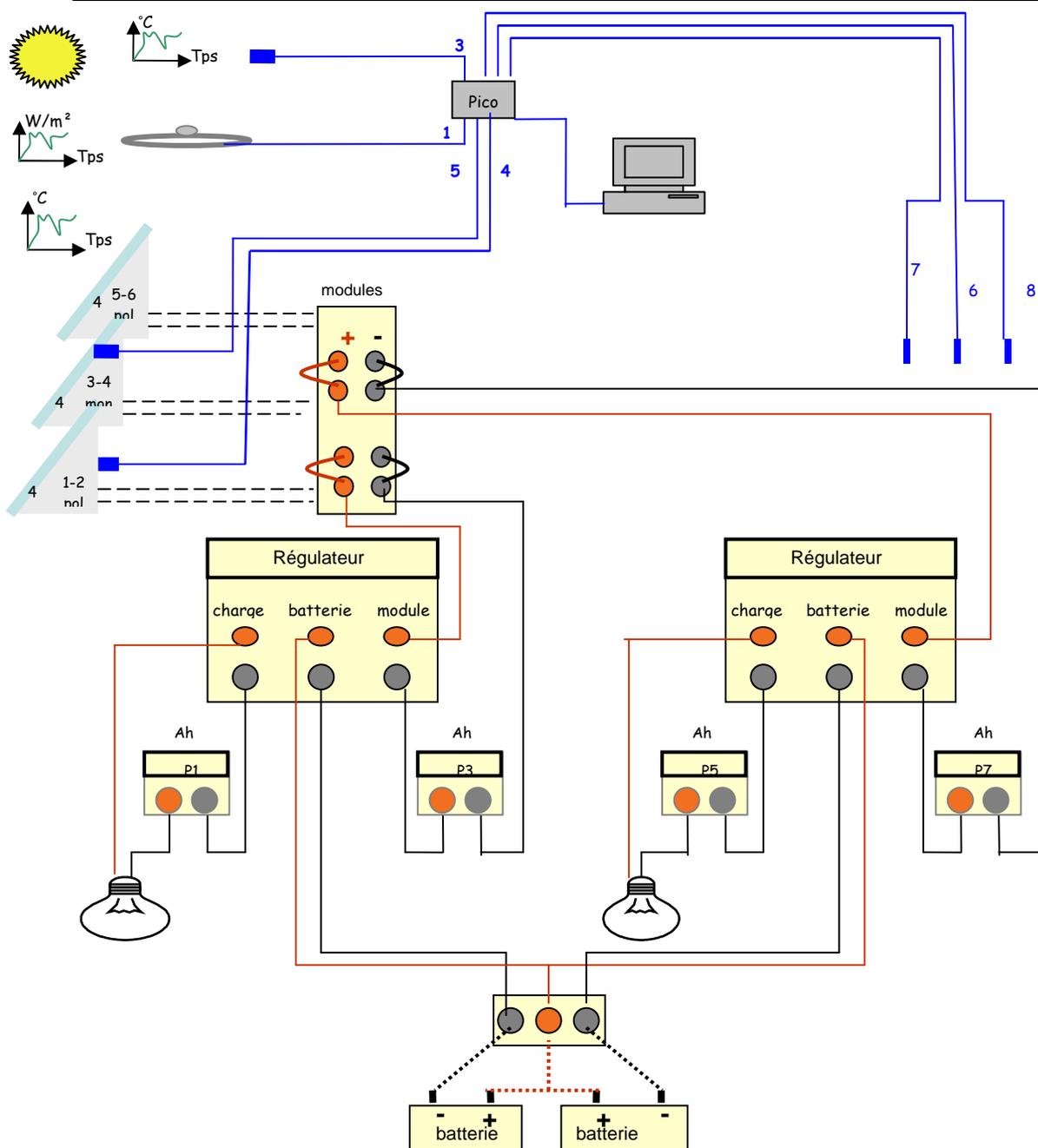
1 régulateur

2 Modules // + 1 Ah mètre

1 charge + 1 Ah mètre

1 batterie

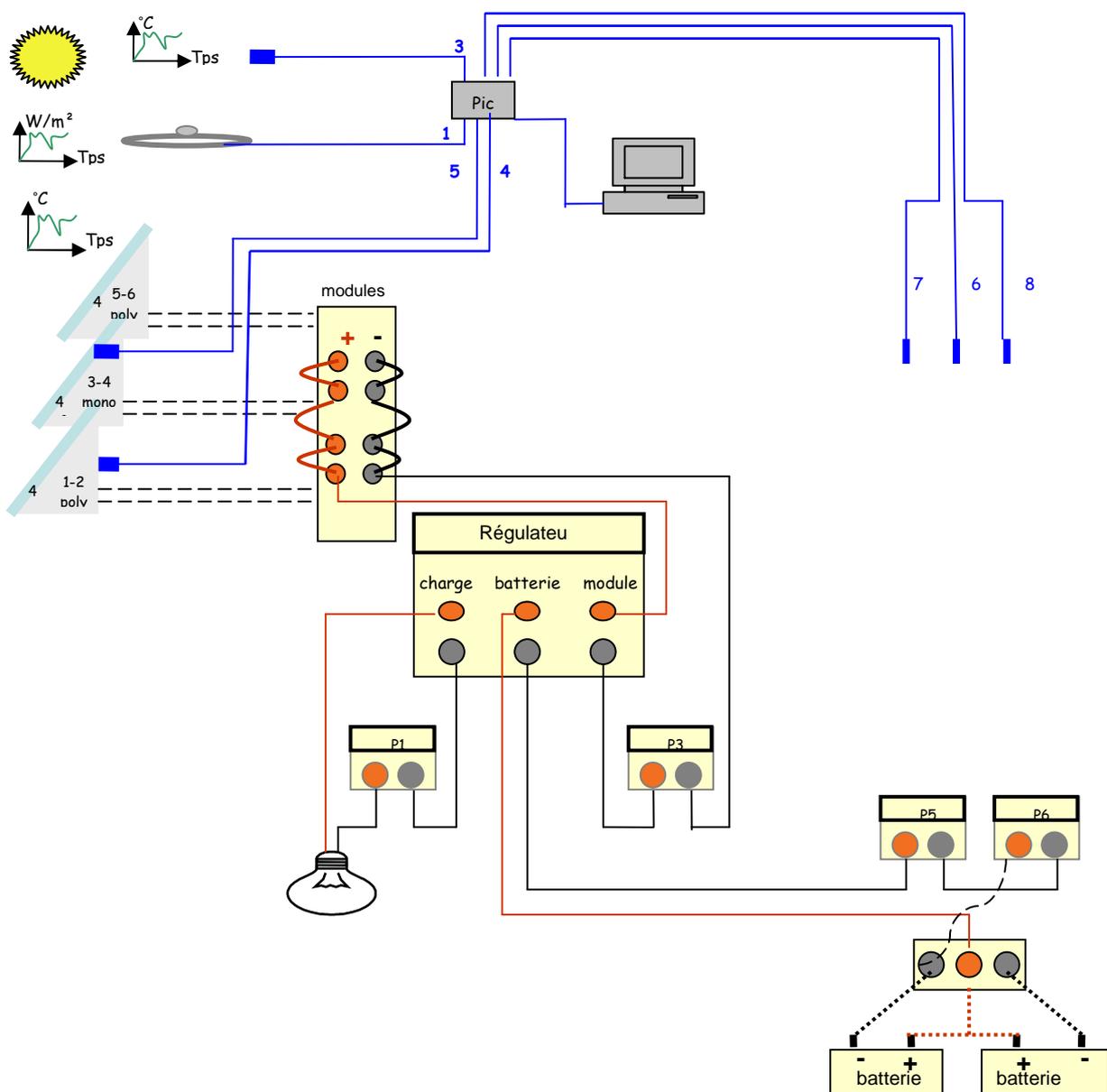
1 régulateur



## Configuration 3

Estimer la consommation électrique d'une charge et celle de la charge/décharge de la batterie par rapport à la production de combinaisons d'interconnexions de capteurs

4 Modules // + 1 Ah mètre  
 1 charge + 1 Ah mètre  
 1 batterie + 2 Ah mètres  
 1 régulateur

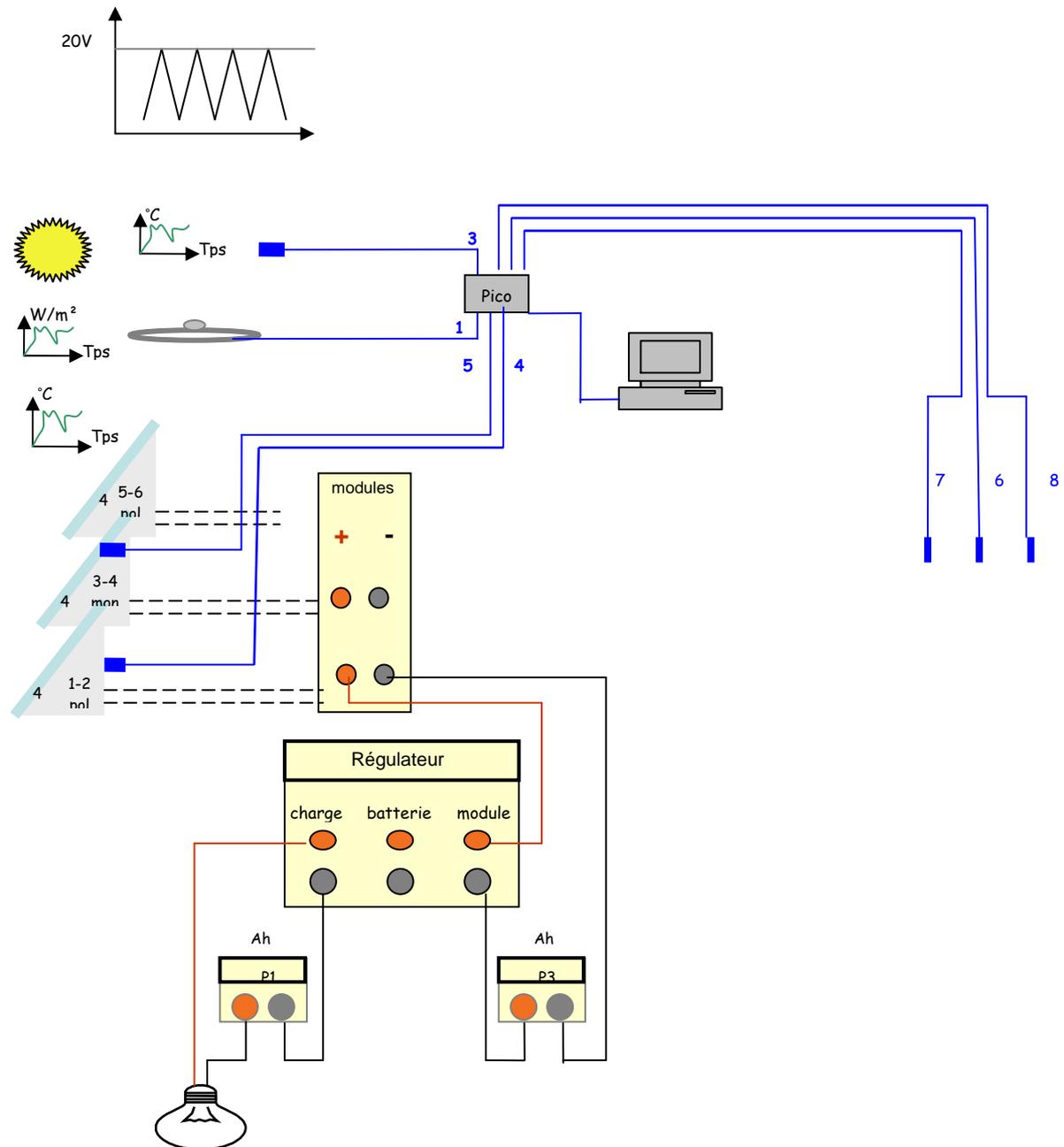


## Configuration 4

Configuration non valide car obligation de brancher la batterie

1 Module + 1 Ah mètre  
 1 charge + 1 Ah mètre  
 1 régulateur

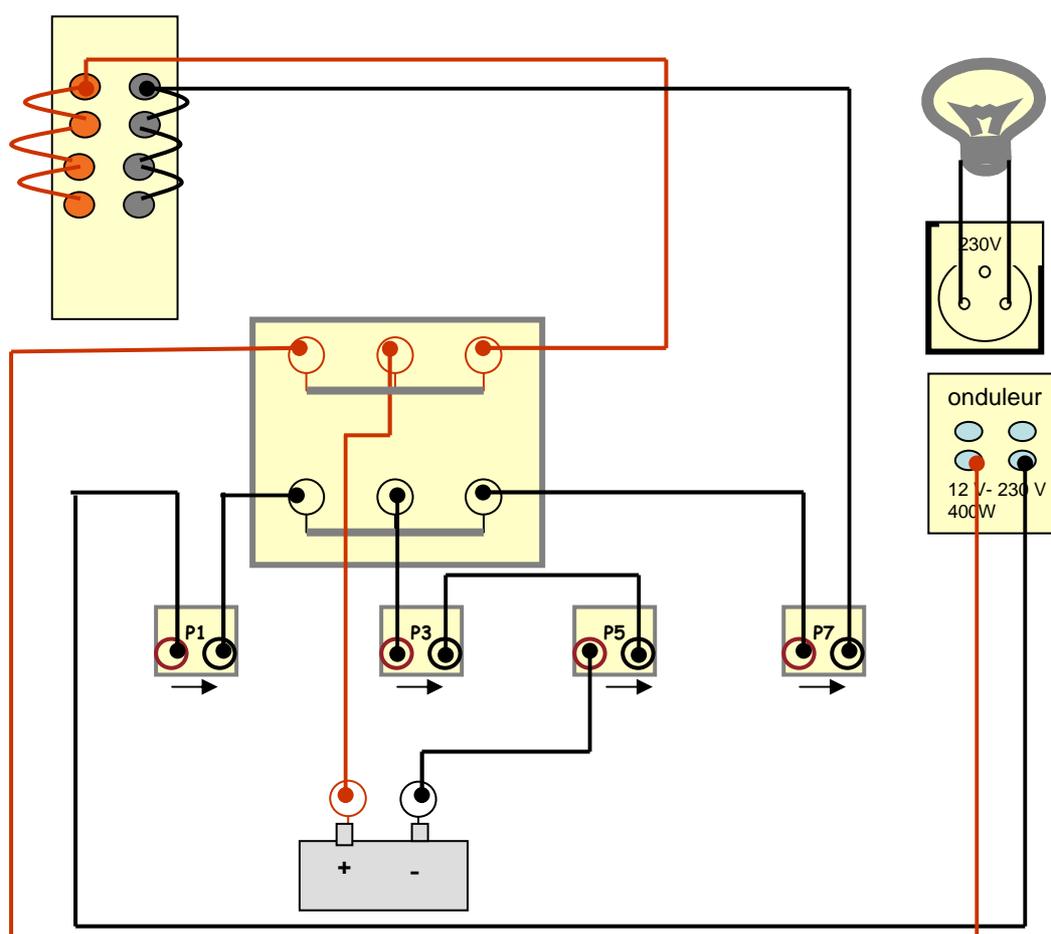
Configuration non significative, lorsque la batterie n'est pas connectée  
 La courbe de tension donne l'allure suivante



## Configuration 5

Idem configuration 3 avec participation de l'onduleur.

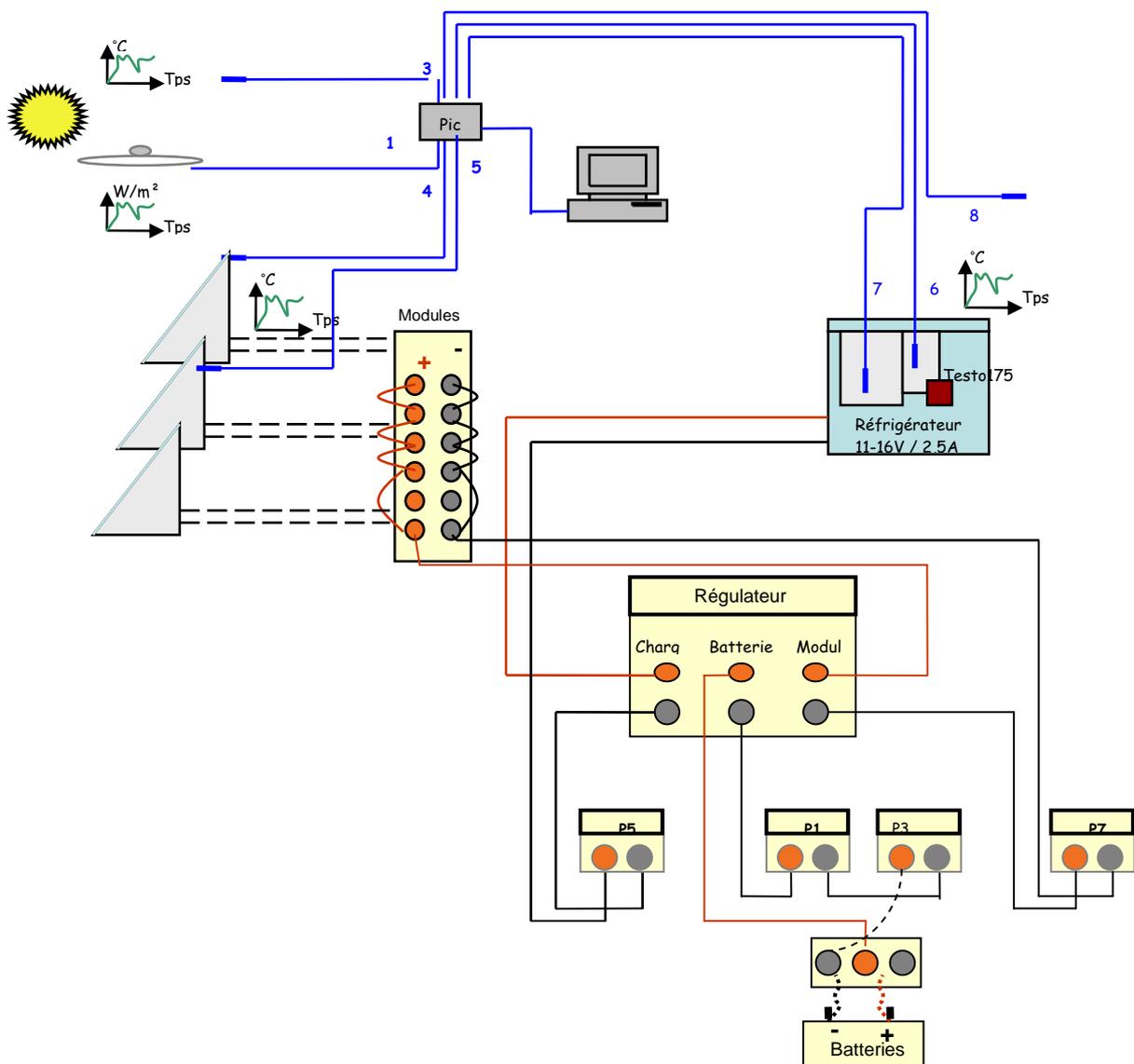
4 Modules // + 1 Ah mètre  
1 charge (230V) + 1 Ah mètre (CC)  
1 batterie + 2 Ah mètres  
1 régulateur



## Configuration 6

Idem configuration 3 avec application frigo 12V + relevés de température

5 Modules // + 1 Ah mètre  
1 charge (frigo 12V) + 1 Ah mètre  
1 batterie + 2 Ah mètres  
1 régulateur

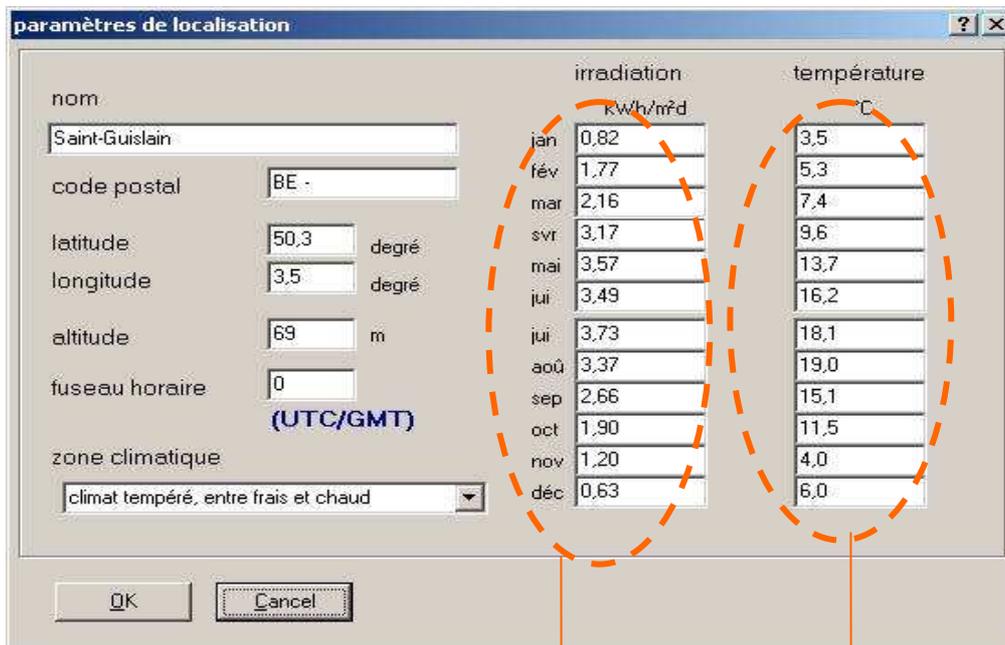
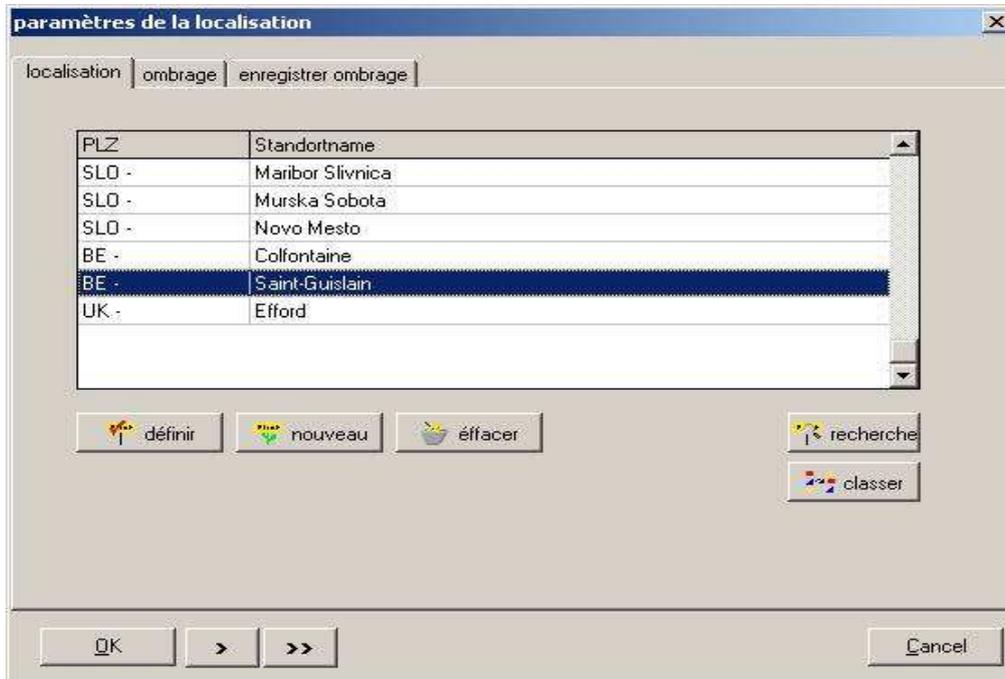




## PARTIE 4 – CALCULS, MESURES ET ENREGISTREMENTS

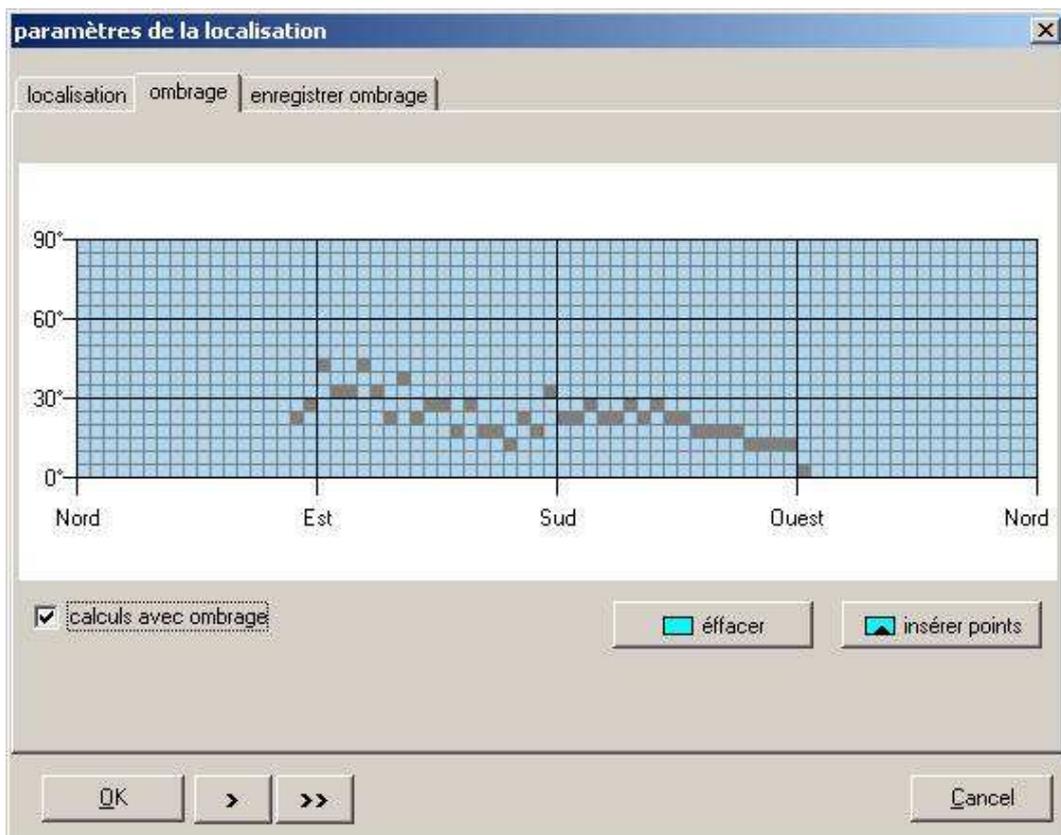
# Ombrage Labo le Pachy par logiciel GETSOLAR

## GETSOLAR - Création localisation Saint Guislain

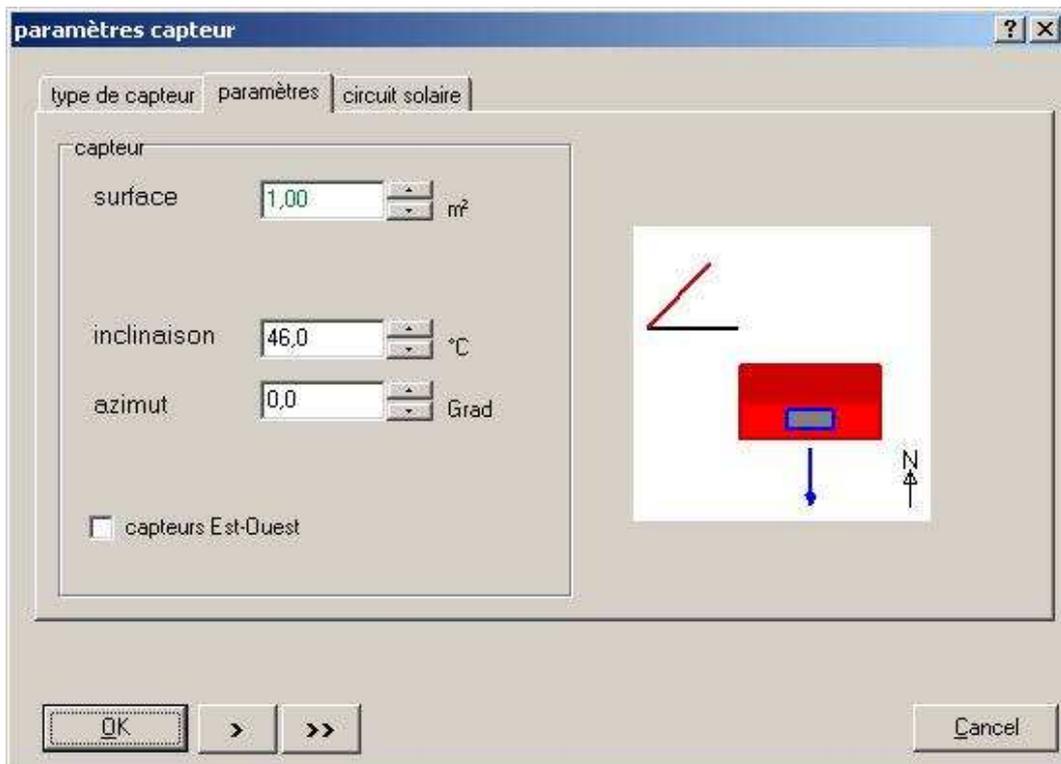


Données extraites de « Joint Research Center EC (PVGIS) »

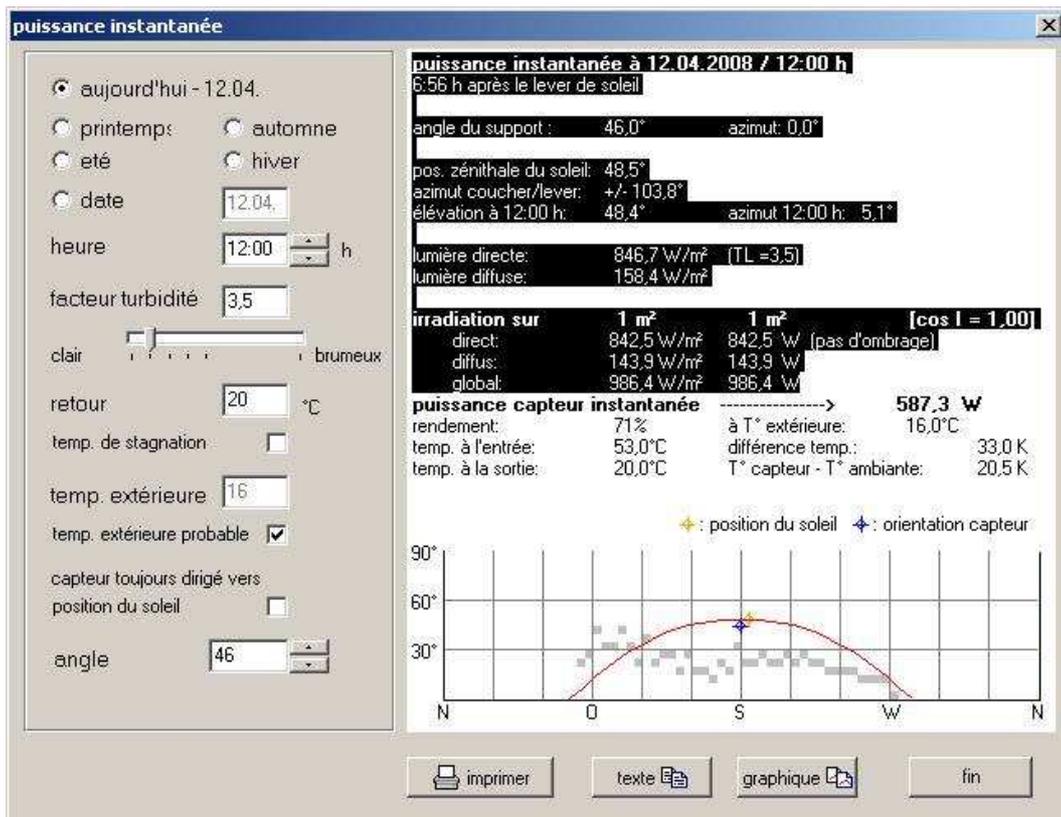
## Ombrage (données récupérées)



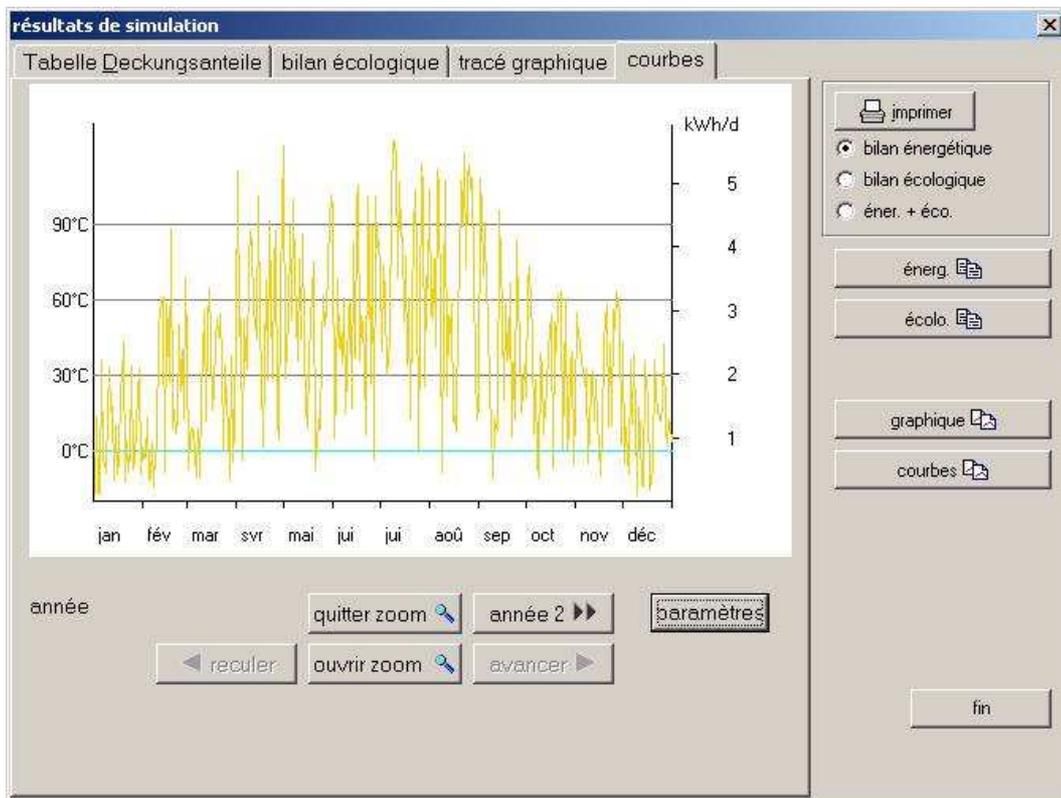
## Définition Surface et Inclinaison/Azimut capteur



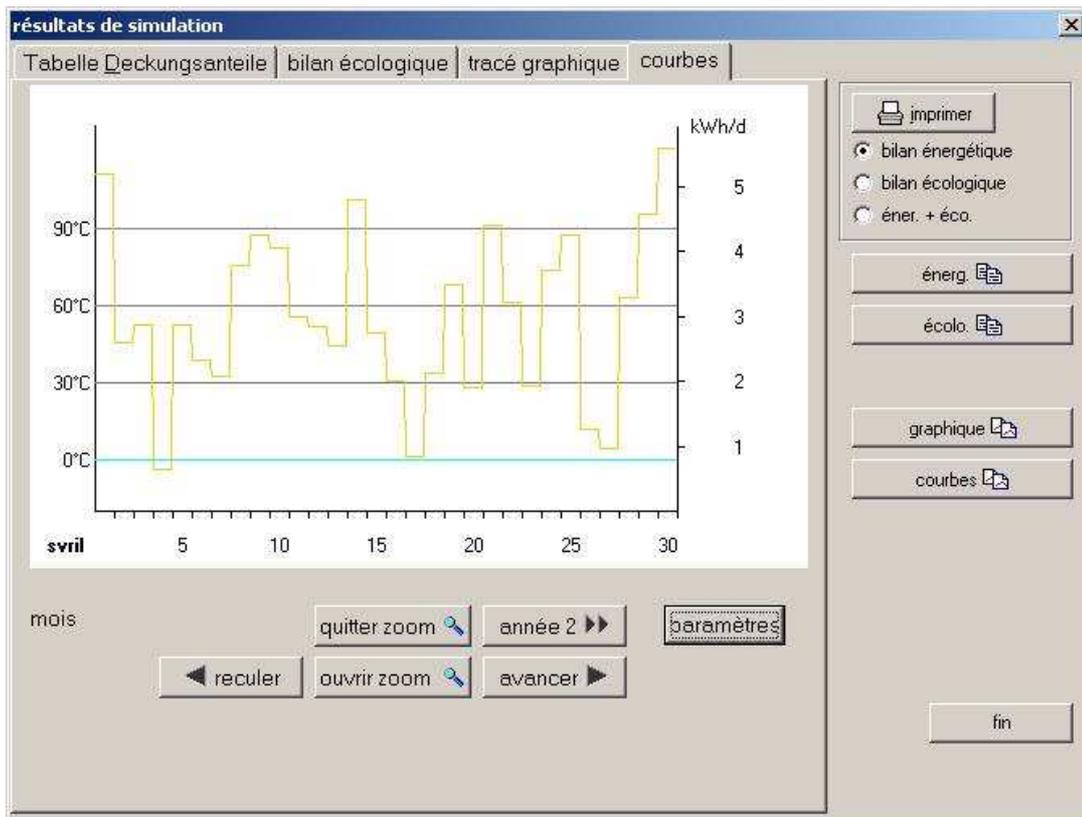
## Puissance instantanée – Position soleil par rapport à l'ombrage



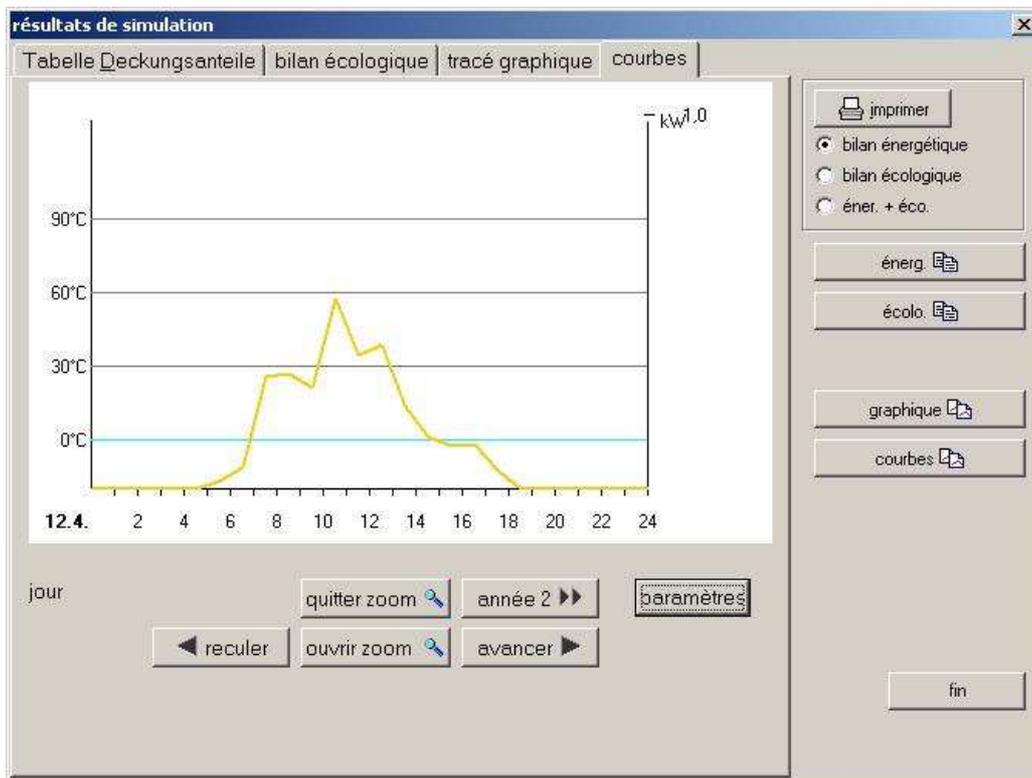
## Courbe irradiation annuelle en kWh/jour pour 1 m<sup>2</sup> (année référence)



Courbe irradiation mensuelle (avril) en kWh/jour pour 1 m<sup>2</sup> (année référence)



Courbe irradiation journalière (12 avril) en kWh/jour pour 1 m<sup>2</sup> (année référence)



## Bilan écologique pour 1 m<sup>2</sup>

**résultats de simulation**

Tablette Deckungsanteile **bilan écologique** | tracé graphique | courbes

**projet:** LaboPachy  
 site : Saint-Guislain latitude: 50,3° - avec ombrage  
 surface aperture: 1,00 m<sup>2</sup> Weishaupt WTS-F1  
 angle du support : 46,0° azimut: 0,0°  
 type de système: réservoir d'eau chaude solaire (ecs)  
 consommation: 6,98 kWh/jour = 150 litres/jour de 10°C à 50°C  
**énergie conv.:** Weishaupt WTU Niedertemperaturkessel (Öl)  
 efficacité du carburant: 92% / 80% / 65% fonction en hiver, printemps, été, automne

mois	apport solaire [kWh]	économie d'énergie [kWh]	[Liter Öl]	CO2-économisé [kg]
janvier:	18	20	2	5
février:	31	38	4	10
mars:	41	52	5	13
avril:	51	64	6	17
mai:	61	77	8	20
juin:	55	85	8	22
juillet:	61	94	9	25
août:	62	96	10	25
septembre:	50	70	7	18
octobre:	40	50	5	13
novembre:	33	39	4	10
décembre:	16	20	2	5
total:	521	705	70	183

bilan énergétique
   
 bilan écologique
   
 éner. + éco.

## Bilan irradiation pour 1 m<sup>2</sup>

**résultats de simulation**

Tablette Deckungsanteile **bilan écologique** | tracé graphique | courbes

**projet:** LaboPachy  
 site : Saint-Guislain latitude: 50,3°  
 capteur: 1,00 m<sup>2</sup> - avec ombrage Weishaupt WTS-F1  
 caractéristique: n0 = 0,797 a1 = 3,500 W/(m<sup>2</sup>K) a2 = 0,0160 W/(m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>)  
 angle du support : 46,0° azimut: 0,0°  
 type de système: réservoir d'eau chaude solaire (ecs)  
 réservoir: 660 litres température: max. 75°C / min. 45°C  
 consommation: 6,98 kWh/jour = 150 litres/jour de 10°C à 50°C

mois	taux de couverture [%]	irradiation capteurs [kWh]	énergie d'appoint [kWh]	rendement [%]
janvier:	8	36	210	51
février:	14	55	184	56
mars:	18	72	189	58
avril:	23	91	171	57
mai:	26	105	170	58
juin:	25	89	167	62
juillet:	27	99	170	62
août:	27	100	167	63
septembre:	23	80	171	62
octobre:	17	64	189	63
novembre:	15	62	187	54
décembre:	7	29	202	55
total:	19	881	2177	59

bilan énergétique
   
 bilan écologique
   
 éner. + éco.

# Calcul du gisement solaire

Joint Research Center EC (PVGIS)



## Photovoltaic Geographical Information System

Europe  
Joint R

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 50°25'12" North, 3°50'23" East, Elevation: 58 m a.s.l.,  
Nearest city: Saint Ghislain, Belgium (6 km away)

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 7.1% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 24.1%

Fixed system: inclination=35 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Gd	Gm
Jan	0.82	25.5	1.01	31.2
Feb	1.77	49.5	2.19	61.2
Mar	2.16	66.9	2.72	84.2
Apr	3.17	95.2	4.06	122
May	3.57	111	4.66	144
Jun	3.49	105	4.61	138
Jul	3.73	116	4.95	154
Aug	3.37	104	4.48	139
Sep	2.66	79.7	3.46	104
Oct	1.90	58.9	2.42	74.9
Nov	1.20	35.9	1.48	44.5
Dec	0.63	19.7	0.78	24.1
Year	2.37	72.2	3.07	93.4

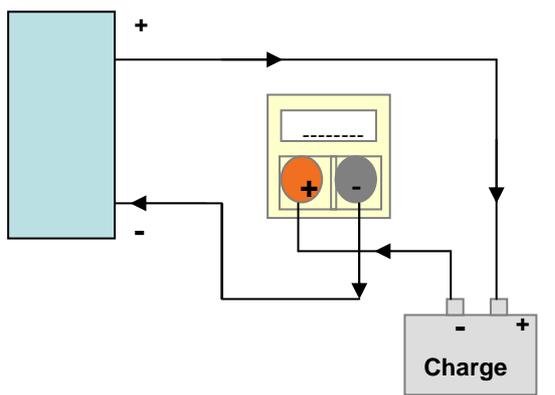
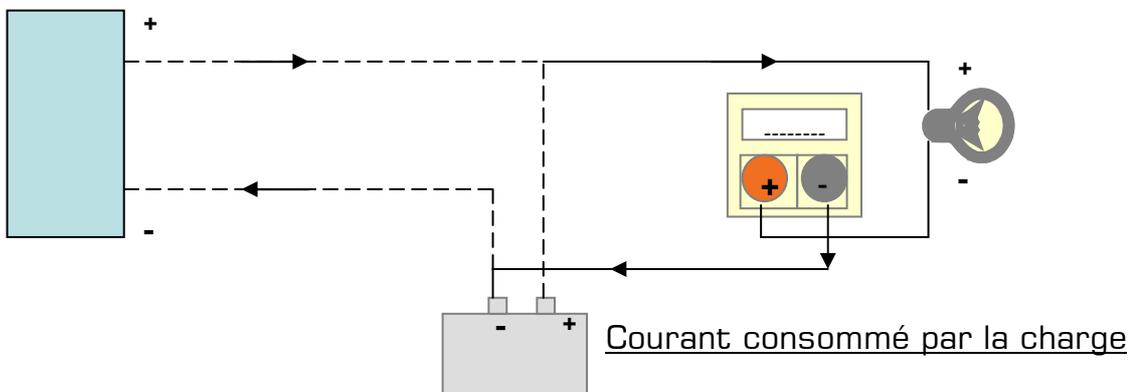
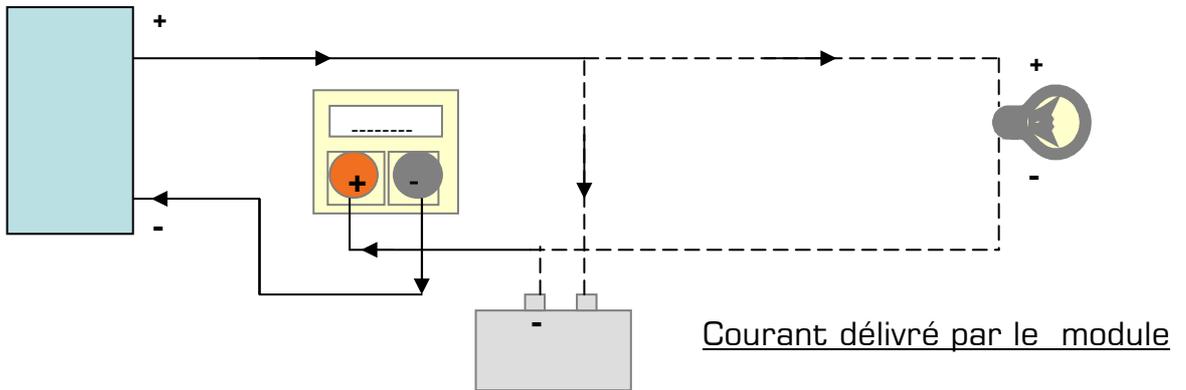
Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

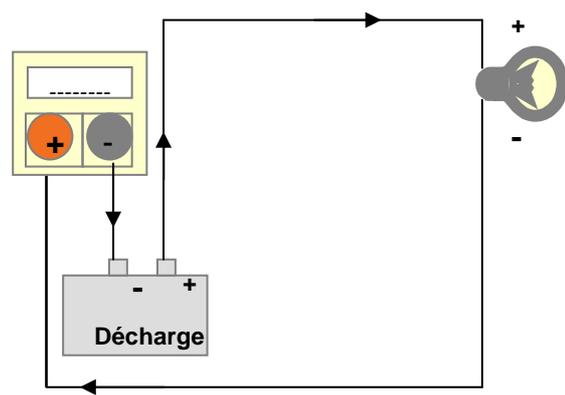
Gd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Gm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

## Branchement des AH mètres

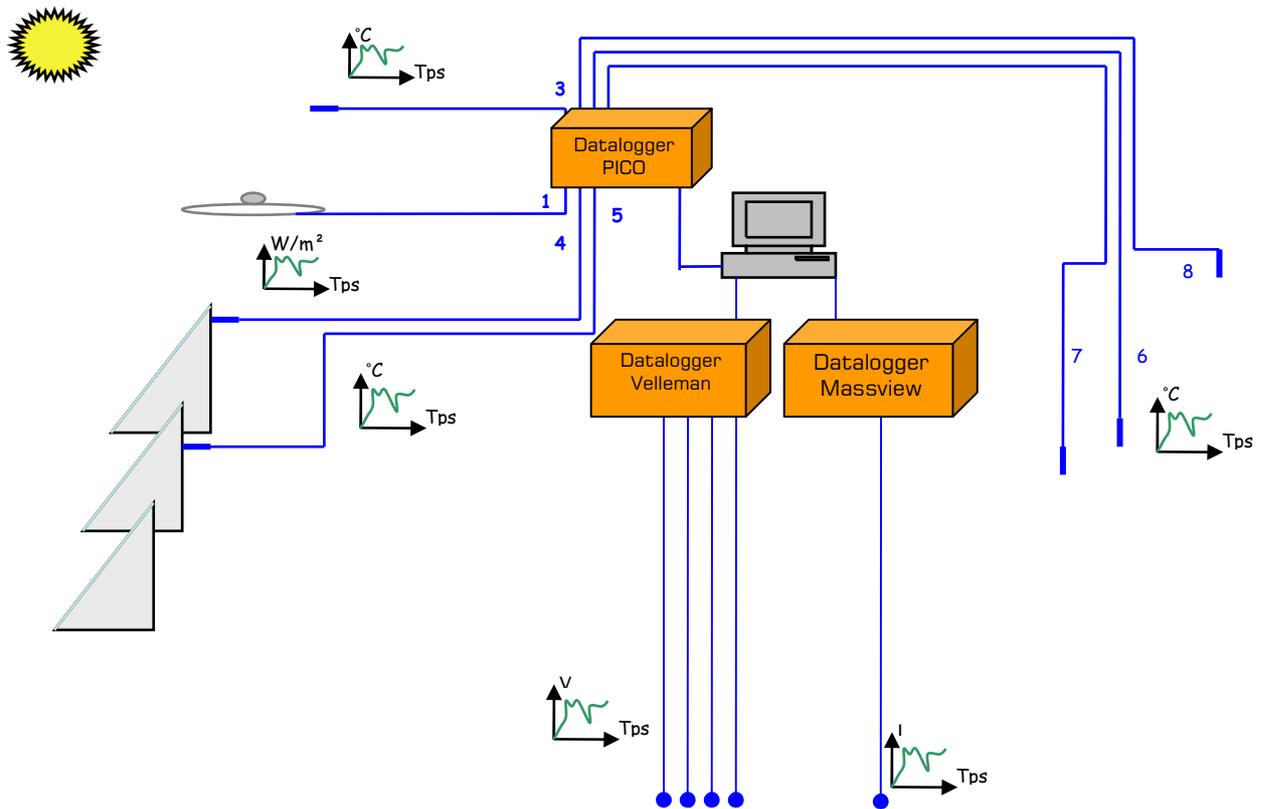


Courant chargé dans la batterie



Courant prélevé de la batterie

## Dataloggers disponibles



### Datalogger PICO

8 canaux d'enregistrement possibles

Sonde 1 - solarimètre

Sonde 3 -  $t^{\circ}$  extérieure

Sonde 4 -  $t^{\circ}$  module polycristallin

Sonde 5 -  $t^{\circ}$  module monocristallin

Sonde 6,7,8 -  $t^{\circ}$  (frigo 12V)

### Datalogger velleman

4 canaux d'enregistrement disponibles

CH1 - modules

CH2 - batterie

CH3 - charge

### Datalogger Massview

1 canal d'enregistrement de l'intensité.

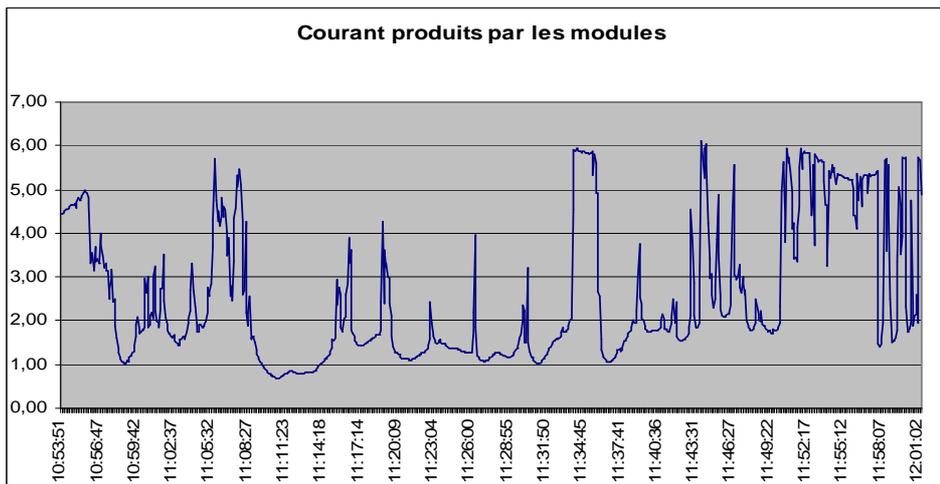
## Informations issues du datalogger Velleman DVM345DI

Echantillon	Heure	Valeur	Wh	Tension
15	10:55:01	4,58	0,076333333	12
16	10:55:06	4,70	0,078333333	12
17	10:55:11	4,80	0,08	12
18	10:55:16	4,76	0,079333333	12
			0	12
19	10:55:21	4,75	0,079166667	12
20	10:55:26	4,81	0,080166667	12
21	10:55:31	4,85	0,080833333	12

:  
:

729	11:54:37	5,13	0,0855	12
730	11:54:42	5,32	0,088666667	12
731	11:54:47	5,35	0,089166667	12
732	11:54:52	5,33	0,088833333	12
733	11:54:57	5,31	0,0885	12

Extrait du fichier



A l'issue de l'extraction, via EXCEL on peut

D'une part représenter par un diagramme l'allure du courant en faisant le rapport du courant mesuré toutes les 5 secondes en fonction du courant maximum observé sur le diagramme.

D'autre part, calculer le courant moyen ainsi que l'énergie moyenne produite

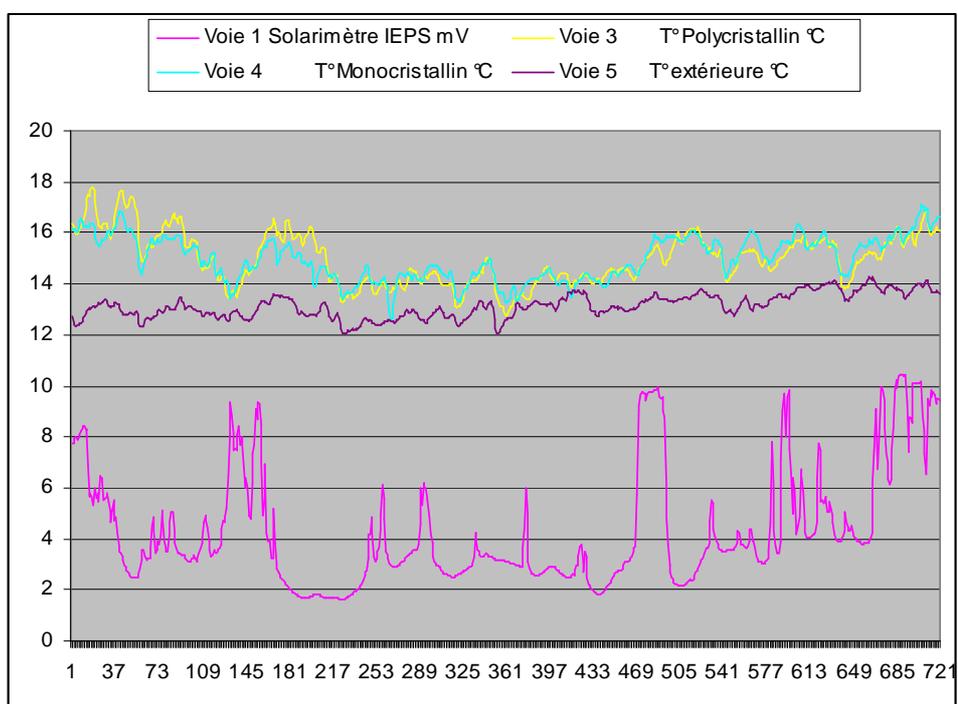
<b>Calcul Energie par méthode intégration</b>	
Σ I MAX pendant 1h	4314,00
Σ I mesuré pendant 1h	1688,25
% moyen essai (I essai / I MAX) [A]	0,39
I moyen essai [A].	2,35
Σ Wh essai (i * 12 * 3600/3600)	28,18
<b>Calcul Energie en sommant les Wh produits toutes les 5" (I * 12 * 5/3600)</b>	
Σ Wh	28,14

## Informations issues du datalogger PICO

Heure	Voie 1 Solarimètre IEPS	Voie 3 T° Polycristallin	Voie 4 T° Monocristallin	Voie 5 T° extérieure	Voie 6 - T°	Voie 7 - T°
Secondes	mV	°C	°C	°C	°C	°C
70605	7,745	16,39	16,17	12,73	19,6	19,57
70610	7,7175	16,21	16,12	12,48	19,57	19,54
70615	7,9325	16,1	16,14	12,37	19,57	19,47
70620	8,0187	15,94	16,04	12,33	19,56	19,56
70625	7,9032	15,98	16,03	12,4	19,6	19,6
70630	7,997	16,1	16,22	12,37	19,5	19,45
70635	8,091	16,18	16,44	12,43	19,47	19,45
70640	8,2218	16,23	16,54	12,44	19,46	19,45

74190	9,4673	16,15	16,58	13,73	21,56	22,22
74195	9,4665	16,08	16,62	13,64	21,62	21,9
74200	9,4253	16,12	16,62	13,62	21,5	21,71

Extrait du fichier

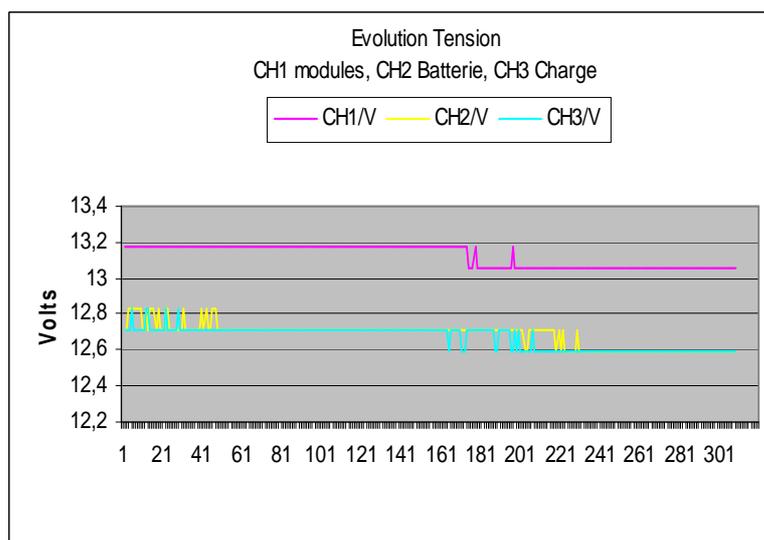


Irradiation max (nbre échantillons x 10)	7200,00
Irradiation test ( $\Sigma$ échantillons)	3128,01
% Irradiation	0,43
Watt/m <sup>2</sup> (1000 Watt/m <sup>2</sup> x % Irradiation)	434,45
surface totale des capteurs	1,68
Watt pour surface totale capteur	731,61

## Informations issues du datalogger Velleman PCS10

N	Time/s	CH1/V	CH2/V	CH3/V
0	0	13,176	12,706	12,706
1	0,01	13,176	12,706	12,706
2	0,02	13,176	12,824	12,706
3	0,03	13,176	12,824	12,706
4	0,04	13,176	12,824	12,824
5	0,05	13,176	12,824	12,706
6	0,06	13,176	12,824	12,706
7	0,07	13,176	12,824	12,706
8	0,08	13,176	12,824	12,706
9	0,09	13,176	12,706	12,706
10	0,1	13,176	12,706	12,706
11	0,11	13,176	12,824	12,824
12	0,12	13,176	12,706	12,824
13	0,13	13,176	12,824	12,706
14	0,14	13,176	12,824	12,706
15	0,15	13,176	12,824	12,706

300	3	13,059	12,588	12,588
301	3,01	13,059	12,588	12,588
302	3,02	13,059	12,588	12,588
303	3,03	13,059	12,588	12,588
304	3,04	13,059	12,588	12,588
305	3,05	13,059	12,588	12,588
306	3,06	13,059	12,588	12,588
307	3,07	13,059	12,588	12,588



## **PARTIE 5 – INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE CONNECTEE AU RESEAU**

## Permis d'urbanisme

En vertu du Code wallon de l'Aménagement du territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine (CWATUP) l'installation de panneaux solaires photovoltaïques, n'est pas soumise à permis d'urbanisme.

Ceci quelle que soit leur forme, leur superficie ou leur épaisseur.

Deux conditions sont toutefois requises :

- L'ensemble des panneaux doit être fixé sur – ou incorporé dans - la toiture.
- L'ensemble des panneaux ne doit présenter aucun débordement par rapport au bâtiment sur lequel ils seront placés.
- Ce débordement ne concerne pas le plan de la toiture.  
(Le placement de capteurs à 60° sur un toit plat ne fait donc pas l'objet d'un permis d'urbanisme.)

Lorsque l'aménagement ne répond pas à ces conditions, la délivrance du permis d'urbanisme ne nécessite ni avis conforme du fonctionnaire délégué, ni intervention d'un architecte si les capteurs sont placés sur le bâtiment;

Nécessite l'avis conforme du fonctionnaire délégué et l'intervention d'un architecte dans les autres cas (placement des capteurs au sol).

Exceptions :

- n'implique aucune dérogation à d'autres dispositions existantes
- ne porte pas sur un bien protégé
- ne nécessite pas d'actes et travaux préparatoires soumis au permis d'urbanisme.

## Aides et primes

### Validité prime Région wallonne

Au moins, du 1er janvier 2008 au 31 décembre 2009

### Répartition de l'investissement

Possibilité de répartir l'investissement sur 2 années fiscales pour bénéficier 2 fois de la réduction d'impôt.

Le paiement d'un acompte en 2008 donne droit à la réduction d'impôts pour 2008.

Le paiement du solde donnera droit à la réduction d'impôts pour 2009.

Il n'y a donc pas besoin de faire l'installation du système photovoltaïque en deux étapes pour pouvoir bénéficier de la réduction d'impôts sur 2 années fiscales.

### Réduction d'impôt

40% du montant des travaux TVAC.

Travaux effectivement réalisés pendant la période imposable (indépendamment du moment de la réalisation des travaux).

Le montant total de la réduction d'impôt ne peut excéder, pour l'exercice d'imposition 2009, 3440 euros par habitation (neuf ou rénovation).

Possibilité de réduction d'impôt communal (3440 € + taxe communale (exemple: 8,5%), soit 3632 €.

#### Conditions

- Modules "cristallins", norme IEC 61215, rendement minimal de 12%;
- Modules « couches minces », norme IEC 61646, rendement minimal de 7%;
- Rendement minimal pour les transformateurs, > 88% pour les systèmes autonomes, > 91% pour les systèmes reliés à un réseau
- Inclinaison capteurs fixes entre 0 et 70° par rapport à l'horizontal

## Prime

### Conditions

- Facture finale de l'installation photovoltaïque postérieure au 31/12/2007.
- L'installation photovoltaïque doit être reconnue par la CWaPE comme site de production d'électricité verte (certificat de garantie d'origine)
- Modules « cristallin » normes IEC 61215
- Modules « couches minces » norme IEC 61646.
- Demande de la prime faite auprès du gestionnaire de réseau de distribution, dans les 4 mois à partir de la notification d'acceptation par la CWaPE de la demande préalable d'octroi de certificats verts.

L'installation doit être réalisée par un entrepreneur enregistré disposant

- soit de l'accès réglementé pour les activités électrotechniques
- soit de l'accès réglementé les activités de la toiture et de l'étanchéité
- le raccordement électrique DOIT être réalisé par un entrepreneur enregistré disposant de l'accès réglementé pour activités électrotechniques

### Bénéficiaires

Les personnes physiques (y compris en qualité de commerçant ou profession indépendante), les micros entreprises, les syndicats d'immeuble).

La prime s'élève à 20% du montant de l'investissement avec un plafond à 3500 € par point d'accès (compteur du GRD).

Cette prime est également plafonnée par Wc de la façon suivante :

	Plafonds investissement	Prime maximale			Prime maximale
		HTVA	TVA 6%	TVA 21%	
	HTVA	HTVA	TVA 6%	TVA 21%	par point accès
<b>Système fixe classique</b>	7 €/Wc	1400 €/kWc	1484 €/kWc	1694 €/kWc	3.500 €
<b>Système fixe intégré</b>	8 €/Wc	1600 €/kWc	1696 €/kWc	1936 €/kWc	
<b>Suiveur solaire</b>	9 €/Wc	1800 €/kWc	1908 €/kWc	2178 €/kWc	

## Règlement Générale Installation Electrique (RGIE)

Le raccordement d'un système photovoltaïque sur le réseau électrique d'un bâtiment étant considéré comme une modification importante de celui-ci. L'installateur est tenu de faire réceptionner son installation photovoltaïque par un organisme de contrôle agréé. Celui-ci va vérifier la conformité de l'installation avec le Règlement Général sur les Installations Electriques.

Les éléments principaux qui seront contrôlés sont les suivants:

- Présence d'un différentiel 300 mA en tête d'installation électrique;
- Mise à la terre conforme de l'installation électrique;
- Présence d'un disjoncteur après l'onduleur (coté courant alternatif) qui permet de déconnecter manuellement l'installation photovoltaïque du réseau électrique du bâtiment;
- Conformité du système automatique de découplage de l'onduleur.

Même s'il ne fait pas l'objet d'un contrôle, il est aussi vivement conseillé de placer un sectionneur (spécifique pour le courant continu), avant l'onduleur pour garantir la sécurité des personnes qui seraient amenées à travailler sur le système photovoltaïque ou tout simplement sur le toit.

## Connexion au réseau

A partir du moment où un système photovoltaïque est raccordé au réseau électrique d'un immeuble et que cet immeuble est raccordé au réseau public de distribution d'électricité, le système photovoltaïque est considéré comme connecté au réseau public de distribution d'électricité.

Il faut garantir la sécurité du réseau public de distribution d'électricité, il existe donc des procédures à respecter avant de raccorder son système photovoltaïque sur le réseau.

Les systèmes photovoltaïques eux-mêmes doivent comporter des mécanismes de protection pour garantir la sécurité des personnes qui seraient amenées à travailler sur le réseau électrique (à la suite d'une panne par exemple).

### Des dispositifs obligatoires de sécurité (dans l'onduleur)

Tous les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau sont équipés d'un onduleur qui transforme le courant continu produit par les modules photovoltaïques en courant alternatif synchronisé avec le réseau.

Ces onduleurs doivent être équipés d'un dispositif automatique de découplage du réseau. C'est-à-dire que si la tension du réseau électrique chute (généralement lors d'une panne), l'onduleur doit se déconnecter instantanément pour éviter toute injection de courant à ce moment. Par ailleurs, les onduleurs doivent être équipés d'un mécanisme de protection contre l'injection de courant continu sur le réseau. Heureusement, la plupart des onduleurs photovoltaïques européens sont équipés en série, de ces dispositifs de sécurité. Mais il est quand même important de le vérifier, ces éléments seront vérifiés avant le raccordement du système photovoltaïque au réseau.

### La demande de raccordement à son GRD

Avant la libéralisation du marché de l'électricité, il n'y avait qu'un seul organisme qui s'occupait de votre électricité : production, distribution, vente. Depuis la libéralisation totale du marché de l'électricité en Wallonie (1er janvier 2007), les différentes activités ont été séparées : certaines entreprises se sont spécialisées dans la production, les Intercommunales ont gardé la gestion technique des différents réseaux de distribution et de nouvelles entreprises ont fait leur apparition en tant que fournisseurs d'électricité.

Avant de raccorder son installation photovoltaïque sur le réseau, il est obligatoire d'obtenir l'accord écrit du gestionnaire de réseau de distribution (GRD).

## Qui contacter ?

Pour faire une demande de raccordement au réseau public d'électricité, il faut s'adresser à son Gestionnaire de Réseau de Distribution.

## La procédure

La personne responsable des raccordements va normalement vous transmettre par la poste un formulaire à compléter avec les données de votre système photovoltaïque, et à lui renvoyer.

Ces formulaires sont d'ailleurs généralement disponibles sur les sites Internet des GRD.

Pour les systèmes photovoltaïques de moins de 10 kVAc, la procédure est entièrement gratuite et simplifiée). Si vous envisagez un comptage bidirectionnel, d'éventuels frais de changement de compteur pourraient vous être facturés.

Pour les installations plus importantes (puissance supérieure à 10 kVA), le GRD vous impose le placement d'un compteur bidirectionnel (permettant de compter séparément dans les 2 sens). Le GRD peut éventuellement réaliser une étude technique pour vérifier les conditions techniques d'injection de courant sur son réseau au point d'injection.

Pour le raccordement des systèmes de grandes puissances (supérieures à 56 kVA), l'étude est obligatoire et payante, puisque le GRD doit étudier en détails la faisabilité technique de l'injection de courant en ce point précis du réseau. L'étude débouche sur une proposition de raccordement comprenant tous les coûts associés à la modification du réseau de distribution pour permettre techniquement l'injection de courant photovoltaïque pour la puissance demandée.

Sachez que tous les tarifs des GRD sont contrôlés et approuvés périodiquement par la Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz (CREG en abrégé, niveau fédéral).

## Comptage de l'électricité et compteurs

### Installations concernées

Il est désormais possible pour les installations de moins de 10 kWc de faire tourner son compteur à l'envers.

Ces types d'installations doivent être certifiées et enregistrées comme installation de production d'électricité verte auprès de la CWaPE

Cette possibilité est garantie dans le règlement technique.

### A quel moment mon compteur tourne-t-il à l'envers ?

- Pas de production  
Lorsqu'il y a uniquement consommation d'électricité, le compteur tourne à l'endroit (vers la droite) et votre facture augmente.
- Production < consommation  
Le compteur tourne à l'endroit, mais plus lentement que dans le 1er cas.
- Consommation = Production  
Le compteur est à l'arrêt, vous produisez exactement ce que vous consommez.
- Production > consommation  
Le compteur tourne à l'envers, votre facture diminue.

### Types de compteurs

- La plupart des compteurs « électromagnétiques » (disque) peuvent tourner à l'envers
- Les compteurs « à cliquet » (2% des compteurs en Belgique) ne le peuvent pas, dans ce cas le GRD doit le remplacer gratuitement
- Les compteurs « électroniques » peuvent être reprogrammés pour comptabiliser dans les deux sens. Dans ce cas, il n'y a généralement pas besoin de changer son compteur électrique. Cependant, si sur base annuelle, la quantité d'électricité injectée dépasse la quantité d'électricité prélevée, le surplus est alors injecté gratuitement.
- Les compteurs « triphasés » tournent également à l'envers même si l'injection est déséquilibrée entre les phases.  
La réinjection sur une phase ou l'équilibrage des 3 phases est à voir avec le GRD car n'est indiqué à ce sujet dans le règlement technique. Dans la pratique, les installations photovoltaïques de moins de 5 kWc devraient pouvoir être raccordées sur une seule phase. Au delà, il faudra certainement prévoir une réinjection triphasée via un onduleur triphasé (rare) ou 3 onduleurs monophasés de plus petite puissance.

### Utilisation d'un compteur bidirectionnel.

Dans ce cas, le comptage se fait dans les 2 sens et on additionne les 2 mesures. Si la quantité d'électricité injectée dépasse la quantité d'électricité prélevée, le surplus peut alors être valorisé, soit auprès d'un fournisseur d'électricité qui pourra racheter cette électricité, soit auprès du gestionnaire de réseau de distribution qui a l'obligation de racheter l'électricité injectée sur son réseau au prix du marché.

Le changement de compteur à charge de l'utilisateur (250€ à 1250€ fonction du compteur et du GRD)

### Compteurs bi horaires

Les compteurs bi horaires tournent à l'envers en fonction de leur plage horaire spécifique.

Le tarif de nuit ayant été étendu au week-end, ce sera donc le compteur de nuit qui tournera à l'envers le samedi, le dimanche et tous les jours de la semaine entre 22h (ou 23h) et 7h (ou 8h)

### Retour à un mono horaire

En fonction de votre profil de consommation, il peut s'avérer avantageux de revenir à un compteur mono horaire. Cela implique un changement de compteur à charge de l'utilisateur

### Compteur des certificats verts

Le compteur de CV doit être de classe 2 avec certificat d'étalonnage

## Vente d'électricité

Dans certains cas, le producteur d'électricité d'origine photovoltaïque doit s'inquiéter de la vente de son électricité. Il doit alors négocier un contrat de revente de son électricité avec un fournisseur disposant d'une licence de fourniture d'électricité. Le prix est donc négocié entre le producteur et le fournisseur.

### Prix de d'électricité

Le prix de l'électricité varie en fonction de l'acheteur, du vendeur, du type de production d'électricité (verte, grise), de la puissance disponible, du profil de production/consommation (régulier, irrégulier), ...

Prix d'achat de l'électricité (payé au producteur)

- + Coût de transport (GRT)
- + Coût de distribution (GRD)
- + Autres frais (gestion, certificats verts, déséquilibre, ...)
- + Marge du fournisseur

---

= Prix final (hors TVA)

Le prix final payé par un client résidentiel est en moyenne de 0,18 € / kWh (TVAC). Il faut savoir que le prix réellement payé au producteur est généralement compris entre 0,02 et 0,05 €/kWh.

Par ailleurs, les fournisseurs d'électricité doivent équilibrer en permanence, sur base quart horaire, l'entière des ventes d'électricité à leurs clients avec l'entière de leurs achats aux producteurs. Ils sont ainsi tenus de planifier tous ces éléments à l'avance. Ils sont ensuite pénalisés financièrement pour tout déséquilibre entre la production et la consommation sur base quart horaire. Il faut également mentionner que la gestion de ces consommations/productions se base sur des profils de consommation établis.

La collecte de données (comptage) est donc un élément essentiel au système de tarification du marché de l'électricité.

Dans ce contexte, il ne faut pas s'étonner du désintérêt d'un fournisseur d'électricité pour racheter de l'électricité provenant du système photovoltaïque d'un particulier. Les quantités d'énergie sont tellement faibles (quelques centaines de kWh/an/ kWc), que les frais administratifs (comptage, gestion de dossier) seraient trop importants.

De plus, l'aspect intermittent de l'énergie solaire photovoltaïque et sa faible durée de fonctionnement (environ 850 heures/an à puissance maximale) font que l'électricité photovoltaïque n'est actuellement pas encore très convoitée par les fournisseurs.

### Obligation d'achat de la production excédentaire

Il existe une obligation d'achat de la production excédentaire au prix du marché. On entend par « production excédentaire », la production d'électricité pour laquelle le producteur d'électricité verte n'a conclu aucun contrat de fourniture avec un gestionnaire de réseau, fournisseur ou intermédiaire ou la production d'électricité qui n'a pas été autoconsommée par le producteur.

Aux fins de rencontrer sa consommation propre (hors compensation des pertes en réseau) ou, le cas échéant, de fournir les clients protégés ou les clients captifs qui sont connectés à son réseau, le gestionnaire du réseau est tenu d'acheter, au prix du marché, la production excédentaire des producteurs d'électricité verte connectés à son réseau. Le prix du marché est adapté en fonction du caractère aléatoire de la production et des engagements pris en matière d'équilibre. Si la production excédentaire dépasse les capacités de consommation propre, le gestionnaire du réseau informe les fournisseurs afin qu'ils rachètent la production excédentaire de façon proportionnelle, au prorata des quantités d'électricité fournies par ces fournisseurs sur le territoire du gestionnaire de réseau où sont situées les installations du ou des producteurs d'électricité verte concerné(s).

## Certificats verts (CV)

L'installateur prévoit, lors de l'installation, un compteur qui comptabilise l'entièreté de la production d'électricité

Le tableau ci-dessous montre l'octroi des CVs en fonction de la tranche de la puissance de l'installation et de l'énergie produite

	Tranches installation photovoltaïque				
	1 à 5 kWc	5 à 10 kWc	10 à 250 kWc		Au-delà 250 kWc
Octroyé par MWh produit			sous conditions (**)	hors condition	
<b>CV</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
montant minimum à <b>65€</b>	455	325	260	65	65
montant moyen négocié à <b>90€</b>	630	450	360	90	90
montant maximum à <b>100€</b>	700	500	400	100	100 ou 150 *

\*  
Si 1 CV correspond à la production de 1 MWh, il peut-être revendu à ELIA (GRD) à 150€ garanti pendant 10 ans

\*\*  
- 50% au moins de l'électricité produite est autoconsommée par le producteur sur le lieu de l'installation de production  
- Un audit énergétique dans bâtiments ou des installations susceptibles d'être alimentés en électricité par les panneaux photovoltaïques a été réalisé par un bureau d'étude agréé  
- L'installation de production d'électricité photovoltaïque n'a pas bénéficié d'aide à l'investissement couvrant plus de 40% du coût de l'investissement.

### Exemple

Nombre de CV pour un système de 7 kWc produisant 6000 kWh/an ?

kWc 1-5:

$$6000 \times \frac{5}{7} = 4286 \text{ kWh} \rightarrow 7 \text{ cv/MWh} \rightarrow 4,286 \times 7 \text{ soit } 30 \text{ CV/an}$$

kWc 6-5:

$$6000 \times \frac{2}{7} = 1714 \text{ kWh} \rightarrow 5 \text{ cv/MWh} \rightarrow 1,714 \times 5 \text{ soit } 8,6 \text{ CV/an}$$

Soit 38,6 CV/an  $\rightarrow 38,6 \times 65\text{€}$  donc 2509€/an garanti

Éventuellement vendu à un fournisseur (négociation),  
38,6 x 90€ = 3474€/an

## Dimensionnement installation connectée au réseau

Le calcul de dimensionnement d'une installation autonome est relativement complexe raison pour la quelle son dimensionnement ne sera pas abordé. Sachons simplement qu'une analyse très détaillée devra être réalisée en prenant en compte l'ensemble des consommations d'électricité du bâtiment ou de l'application, le cas échéant du stockage de l'électricité et d'un système de secours.

Lorsqu'il s'agit d'une installation connectée au réseau, le dimensionnement peut se faire selon les trois critères les plus utilisés : la consommation d'électricité, la surface disponible et le budget.

### Dimensionner sur base des consommations d'électricité

Pour un logement, il peut être intéressant d'essayer de produire sur base annuelle l'équivalent de sa consommation. Il est donc primordial de connaître sa consommation d'électricité.

#### Exemple:

Un ménage wallon moyen consomme environ 3600 kWh d'électricité par an (hors chauffage). En considérant que la toiture est orientée vers le sud-est avec une inclinaison de 35°, chaque kWc produira plus ou moins 850 kWh par an \* 0,95 (facteur de correction) soit 808 kWh par an. Pour produire l'entièreté des 3600 kWh par an, ce ménage aurait donc besoin d'un système d'une puissance de  $3600/808$ , soit 4,45 kWc. Sachant qu'1 kWc correspond plus ou moins à 8 m<sup>2</sup>, la superficie totale du système serait d'environ 36 m<sup>2</sup>. Le coût de cette installation serait d'environ  $4,45 * 6000$ , soit 26 700 € (htva).

A ce stade, il y a deux possibilités :

- soit on ne dispose pas de la surface disponible, il faut alors dimensionner en fonction de la surface disponible
- soit on ne dispose pas du budget, il faut alors dimensionner en fonction du budget

Pour une entreprise, on peut utiliser le même genre de raisonnement pour autant qu'on ne dépasse pas le seuil de puissance de 10 kVA (puissance de sortie de l'onduleur).

Au-delà de ce seuil, il est obligatoire de disposer de 2 compteurs distincts pour l'injection et le prélèvement d'électricité du réseau.

Le dimensionnement est alors beaucoup plus complexe puisqu'il doit tenir compte du profil de consommation de l'entreprise et du profil de production du système photovoltaïque.

Les calculs étant plus complexes, il est alors conseillé de se faire aider par un professionnel.

### Dimensionner sur base de la surface disponible

Si on dispose d'une surface disponible limitée, on peut calculer le potentiel photovoltaïque de cette surface en reprenant les mêmes données.

#### Exemple:

on dispose d'une surface de 50 m<sup>2</sup> orientée à l'est avec une pente de 15°. La production annuelle d'électricité d'1 kWc dans cette combinaison orientation-inclinaison est de 850 \* 0,87 (facteur de correction) soit 740 kWh. Cela signifie que le système d'1 kWc qui correspond à une surface de 8 m<sup>2</sup> produira 740 kWh par an. Si la surface disponible est limitée à 50 m<sup>2</sup>, le potentiel photovoltaïque est donc de 50/8 soit 6,25 kWc et correspond à une production d'électricité de 6,25\*740, soit 4625 kWh par an.

### Dimensionner sur base du budget

Si on dispose d'un budget limité, on peut calculer le potentiel photovoltaïque de son budget en reprenant les mêmes données. Cependant, les coûts pouvant varier fortement d'une année à l'autre (normalement à la baisse) ou d'un installateur à l'autre, les résultats seront très approximatifs. Si vous devez dimensionner votre système sur base du budget, il est préférable de demander directement des offres de prix à des installateurs.

#### Exemple:

On dispose d'un capital limité de 20 000 €. Dans ce cas, le potentiel photovoltaïque de ce budget est d'environ 20 000/6 000, soit 3,33 kWc.

En résumé, pour la Wallonie un système photovoltaïque fixe (silicium polycristallin) de **1 kWc**

- occupe **8 m<sup>2</sup>**,
- produit **850 kWh/an \* facteur correctif**,
- coûte environ **6000€HTVA**.

## 1 - Evaluation de la taille de l'installation

Pour pouvoir dimensionner une installation, la première chose à déterminer est la puissance à installer. Celle-ci dépendra de plusieurs critères: le budget dont dispose le propriétaire, la superficie disponible, l'orientation, l'inclinaison, l'irradiation solaire et les risques d'ombrage.

## 2 - Calcul du nombre de modules par rapport à la puissance de l'installation

Afin de déterminer au mieux le nombre de modules, vous devez connaître les caractéristiques du module (dimensions, puissance, tension,...) qui dépendent du constructeur et des technologies utilisées. On peut aisément trouver les caractéristiques de chaque module chez les constructeurs.

Nombre de modules = la puissance de l'installation / la puissance du module choisi  
Pour une installation de 1500 Wc réalisée avec des panneaux de 150 Wc, le nombre de modules sera égal à 1500 Wc / 150 Wc.

Attention il reste à vérifier que la surface de toiture disponible est suffisante pour recevoir ces 10 modules.

Dans le cas d'installations de grosse puissance, il est très important de vérifier la résistance du toit car le poids d'un panneau solaire photovoltaïque et le poids des accessoires de pose ne sont pas négligeables.

## 3- Calcul de la tension de l'installation

La tension maximum (Voc) donnée dans les fiches techniques des capteurs est la tension dans les conditions standard, c'est-à-dire à 25°C.

Vu que la tension augmente quand la température diminue, on peut imaginer qu'à irradiation égale, la tension en hiver sera plus élevée que l'été.

On peut calculer la tension à différentes températures grâce au coefficient de température que vous pouvez retrouver dans les fiches techniques du constructeur.

Exemple de calcul de la tension à différentes températures et irradiation égale.

Caractéristiques techniques module CENIT 150 SERIE (ISSOL S.A.)		
Puissance maximale	Wp	145 W
Tension à puissance maximale	Vmp	37,15
Courant à puissance maximale	Imp	4,12
Tension à circuit ouvert	Voc	44,26
Courant à circuit fermé	Isc	4,93
Tension nominale	V	24
Tension maximum du système	V	1000
Coefficient de t° Voc	mV/°C	-148,8
Coefficient de t° Isc	mA/°C	2,2
Coefficient de t° Pmpp	%/°C	-0,045
T° fonctionnement	°C	-40, +80
Tolérances mesures	%	+/- 3

$$U_{nn^{\circ}} = U_{25^{\circ}} + (\Delta t^{\circ} \times \text{Coeff. température VOC})$$

Calculez la tension pour ce capteur à  $-40^{\circ}\text{C}$  et à  $+80^{\circ}\text{C}$

Tension à  $-40^{\circ}\text{C}$

$$U_{-40^{\circ}} = 44,26 + (-65 \times -0,148)$$

$$U_{-40^{\circ}} = 53,88 \text{ volts}$$

Tension à  $+80^{\circ}\text{C}$

$$U_{80^{\circ}} = 44,26 + (55 \times -0,148)$$

$$U_{80^{\circ}} = 36,12 \text{ volts}$$

La différence de tension entre ces deux températures est de 17,76 volts

En conclusion, vous devez calculer votre tension max à une température inférieure à celle du test standard.

Chez nous, on calcule l'installation à une température de  $-10^{\circ}\text{C}$

$$U_{-10^{\circ}} = 44,26 + (-35 \times -0,148)$$

$$U_{-10^{\circ}} = 49,44 \text{ volts}$$

### CHOIX DE L'ONDULEUR

Exemple 10 capteurs 145 Wc

Puissance maximale

$$145 \text{ W} \times 10 = 1450 \text{ W}$$

Intensité maximale 4,93 A

$$\text{Plage tensions : } 10 \times 49,44 \text{ V} = 495 \text{ V}$$

$$10 \times 36,12 \text{ V} = 362 \text{ V}$$

$$362 \text{ V à } 495 \text{ V}$$

## Coût d'une installation photovoltaïque

Le coût d'une installation provient principalement du prix d'achat des modules photovoltaïques.

Cependant, les prix peuvent varier fortement en fonction du mode d'intégration architecturale choisi, du choix de la structure (fixe ou mobile), du raccordement au réseau ou non, de la taille de l'installation.

### Prix moyen par Wc installé

De façon générale, on retiendra que le coût total d'un système photovoltaïque raccordée au réseau (HTVA, installation comprise) se situe entre 5 € et 8 € par W crête installé selon la taille de l'installation, le type de toit (plat, incliné) et le type de pose choisi.

Cela correspond donc à un prix d'environ :

- 8 000 € pour un système de 1 kWc (environ 850 kWh par an),
- 30 000 € pour un système de 5 kWc (environ 4250 kWh par an),
- 55 000 € pour un système de 10 kWc (environ 8500 kWh par an).

Bien que les professionnels du photovoltaïque ne parlent jamais en termes de coût au mètre carré, cela correspond donc à environ 625 -1000 euros du mètre carré.

### Eléments d'une offre type

Une offre de base pour un système photovoltaïque raccordé au réseau reprend les postes suivants :

- Modules
- Système de fixation
- Câbles
- Onduleur
- Compteur énergie (certificats verts)
- Equipements électriques (protection différentielle, disjoncteurs, sectionneur)
- Réception par un organisme agréé
- Main d'œuvre

Certaines options sont régulièrement proposées:

- Système d'acquisition de données
- Système de protection contre la foudre (parafoudre)
- Système d'affichage des données

### Coût du raccordement au réseau

Le coût du raccordement au réseau est gratuit pour les installations de moins de 10 kVc.

Dans les autres cas, le raccordement peut occasionner un coût non négligeable qui dépendra de chaque situation spécifique. Il faut alors prendre directement contact avec son Gestionnaire de Réseau de Distribution. Tous les tarifs de raccordement utilisés par les GRD sont disponibles sur le site de la CREG ([www.creg.be](http://www.creg.be)).

### La TVA

Il faudra ajouter la TVA selon que vous êtes assujetti ou pas.

Elle sera de 21% pour les nouvelles constructions et de 6% lors de la rénovation d'un logement privé (si le bâtiment a plus de 5 ans). Le taux réduit de la TVA est valable sur le prix de matériaux et sur l'installation. Pour bénéficier du taux réduit de 6%, les travaux doivent être effectués par un entrepreneur enregistré.

## Durée de vie d'un système photovoltaïque

L'investissement dans un système photovoltaïque se réalise sur le long terme puisque sa durée de vie est généralement supérieure à 25 ans et peut même atteindre 40 ans.

### Modules photovoltaïques

Il faut d'ailleurs savoir que la plupart de fabricants de modules proposent une **garantie des performances** sur une durée de 20 à 25 ans. En général, ils garantissent 80% de sa puissance crête après ce laps de temps. La garantie mécanique (résistance à la grêle, au transport, ...) est généralement comprise entre 2 et 5 ans.

Si les fabricants garantissent la performance d'un module après 25 ans, c'est qu'ils pensent qu'elle sera toujours valable bien au-delà. Cependant, avec des garanties aussi longues, il est important de bien choisir son fournisseur de matériel pour espérer le retrouver dans 20 ans.

### Autres composants

Pour les autres composants d'un système photovoltaïque, on peut considérer que les onduleurs auront une durée de vie de 10-15 ans et qu'un parc de batteries devra être remplacé tous les 10 ans.

Néanmoins, les évolutions technologiques sont nombreuses et ces composants se spécialisent de plus en plus pour les applications photovoltaïques. Certains constructeurs annoncent des durées de vie de 20 ans pour des batteries à usage photovoltaïque et de plus de 20 ans pour les onduleurs.

# Exemple de simulation de coût d'installation photovoltaïque

## Caractéristiques techniques

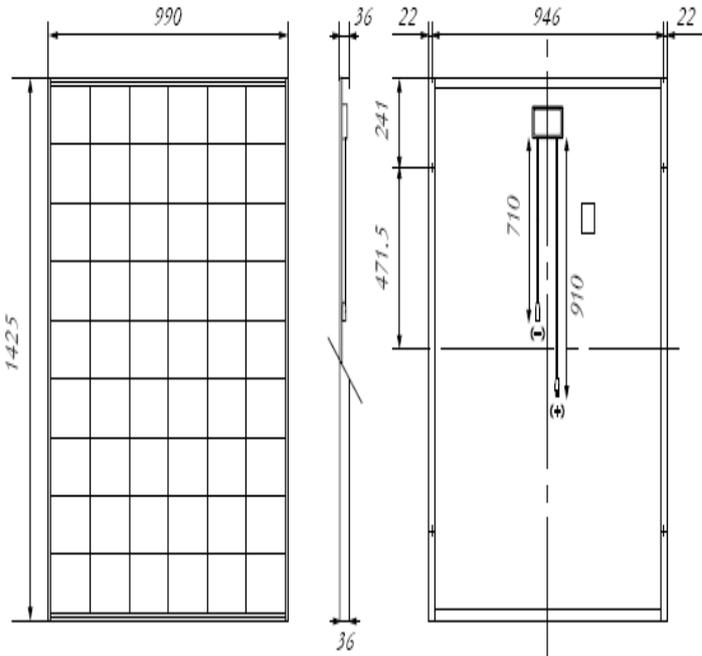
**KC200GH T-2** High efficiency multicrystal photovoltaic module

The integrated Kyocera high-performance solar cells with a standard size of 15 cm x 15.5 cm achieve over 16 % efficiency



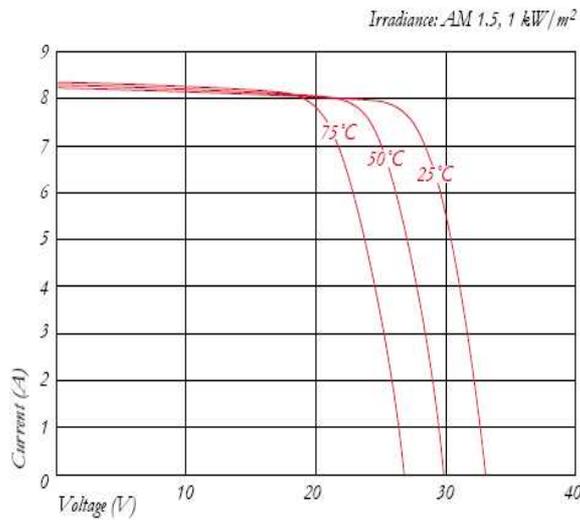
### SPECIFICATIONS

in mm

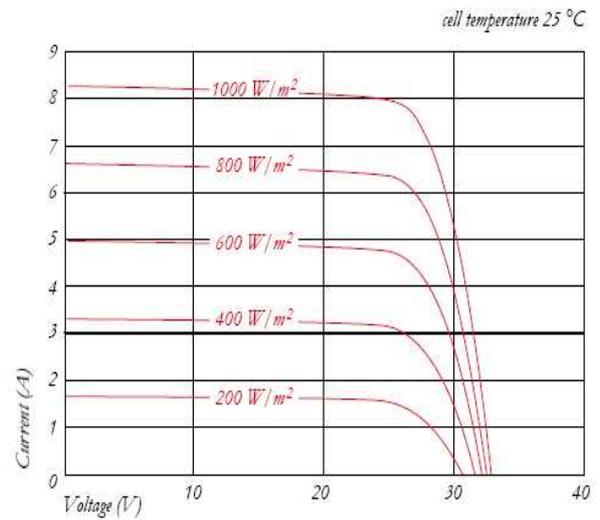


## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics at various irradiance levels



### ELECTRICAL PERFORMANCE

PV module type KC200GHT-2

#### At 1000 W/m<sup>2</sup> (STC)\*

Maximum Power	[W]	200
Maximum System Voltage	[V]	1000
Maximum Power Voltage	[V]	26.3
Maximum Power Current	[A]	7.61
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	[V]	32.9
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	[A]	8.21

#### At 800 W/m<sup>2</sup> (NOCT)\*\*

Maximum Power	[W]	142
Maximum Power Voltage	[V]	23.2
Maximum Power Current	[A]	6.13
Open Circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	[V]	29.9
Short Circuit Current (I <sub>sc</sub> )	[A]	6.62

NOCT	[°C]	47
Power tolerance	[%]	+10 / -5
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	[V/°C]	-1.23x10 <sup>-1</sup>
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	[A/°C]	3.18x10 <sup>-3</sup>
Reduction of efficiency (from 1000 W/m <sup>2</sup> to 200 W/m <sup>2</sup> )	[%]	7.8

### DIMENSIONS

Length	[mm]	1425
Width	[mm]	990
Depth / incl. junction box	[mm]	36 / 36
Weight	[kg]	18.5
Cable	[mm]	(+)910 / (-)710
Connection type		MC-PV3
Junction box	[mm]	113.6x76x9
IP Code		IP65

### GENERAL INFORMATION

Performance guarantee	10**** / 20 years****
Warranty	2 years

### CELLS

Number per module	54
Cell Technology	multicrystal
Cell Shape (rectangular)	[mm] 150x155
Cell Bonding	3 busbar

\* Electrical values under standard test conditions (STC): irradiation of 1000 W/m<sup>2</sup>, airmass AM 1.5 and cell temperature of 25 °C

\*\* Electrical values under normal operating cell temperature (NOCT): irradiation of 800 W/m<sup>2</sup>, airmass AM 1.5, wind speed of 1 m/s and ambient temperature of 20 °C

\*\*\* 10 years on 90% of the minimally specified power P under standard test conditions (STC).

\*\*\*\* 20 years on 80% of the minimally specified power P under standard test conditions (STC).

## SIMULATION

10 capteurs (1,425m x 0,99m), puissance nominale 200Wc  
 Montant investissement 12.900€

Longueur module	m	1,425
Largeur module	m	0,990
Puissance module	Wc	200
Puissance installée	Wc	2000
Surface module	m <sup>2</sup>	1,411
Rendement module	%	0,142
Nombre modules		10
Surface des capteurs	m <sup>2</sup>	14,108
Montant global investissement	€	12900,00
Montant investissement	€	12900,00
autres frais	€	0,00
Prime communale		
Prime provinciale		
Prime RW 20%	€	2580,00
Réduction 40%	€	5160,00
Réduction 40% plafonnée	€	3440,00
Déduction fiscale 3340€ + 8,5%	€	3732,40
Solde net	€	6587,60
Prix/Wc	€	6,45
Facteur correctif (orientaion-inclinaison)	%	1,00
Energie récupérée	kWh/an	1700
Prix certificats verts minimum garanti	€	65,00
Nombre de certificats verts	/an	11,90
Rentrée Certificats verts (prix garanti 65€)	€/an	773,50
Prix électricité tarif jour	€	0,18
Prix électricité tarif nuit	€	0,08
Electricité produite tarif jour 5/7	kWh/an	1214,29
Electricité produite tarif nuit 2/7	kWh/an	485,71
Déduction électricité annuelle tarif jour	€/an	213,71
Déduction électricité annuelle tarif nuit	€/an	38,86
Déduction électricité annuelle globale	€/an	252,57
Rentrée (CV+électricité)	€/an	1026,07
Retour investissement	An	6,42

Plafonnement prime RW		
Prime max - Système fixe		
Investissement plafonnée 7€/WC		14000
Prime max 1,484€/Wc (TVA 6%)		2968
Prime max 1,694€/Wc (TVA 21%)		3388
Prime maximale par point d'accès		3500

Plafonnement déduction fiscale		
Réduction 40% plafonnée	€	3440,00
Réduction 40% plafonnée + 8,5%	€	3732,40

**PARTIE 6 - ANNEXES**

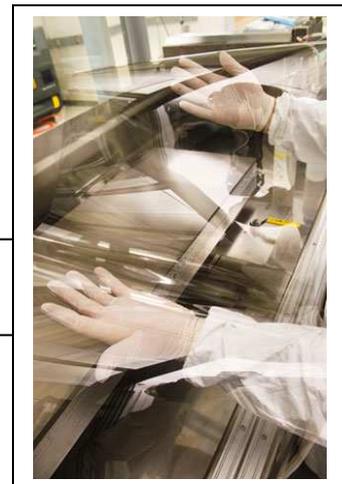
## Annexe - Cellules photovoltaïques en nanotubes de carbone

L'oxyde indium-étain est le matériau le plus utilisé pour la fabrication des électrodes transparentes. Au vu de leurs propriétés mécaniques et électriques, les nanotubes de carbone offrent une alternative intéressante.

En 2007, la start-up Carbon Nanotechnologies Inc (CNI) fusionnait avec Unidym pour développer une activité orientée vers l'utilisation des nanotubes dans le domaine de l'électronique. CNI possédait plus d'une centaine de brevets relatifs aux nanotechnologies, mais rencontrait des difficultés pour développer et commercialiser des produits industriels. L'association

avec Unidym qui possède une plus grande expérience dans le développement de nouveaux produits, devait permettre à la jeune entreprise de développer des électrodes transparentes, des matrices actives (TFT) et des piles à combustibles utilisant les nanotubes de carbone.

Film de nanotubes de carbone  
50 nanomètres d'épaisseur



### Les nanotubes de carbone remplacent l'oxyde indium-étain

C'est aujourd'hui chose faite... Unidym (Menlo Park en Californie) a développé une électrode transparente faite d'un film de nanotubes de carbone de 50 nanomètres d'épaisseur ayant une très forte conductivité électrique et une transparence presque parfaite. Cette électrode peut remplacer les électrodes transparentes traditionnelles fabriquées avec de l'oxyde indium-étain et qui sont utilisées dans des produits tels que les écrans tactiles, les cellules photovoltaïques, les écrans à cristaux liquides, les systèmes d'éclairage à diodes électroluminescentes organiques (OLEDs), les téléphones cellulaires, les terminaux de point de vente, les assistants numériques personnels (PDAs)...

Le marché mondial de l'oxyde indium-étain est estimé à un milliard de dollars pour le matériau seulement, sans compter les coûts d'application du matériau sur les surfaces de support.

L'oxyde indium-étain (90 % indium, 10 % étain) est le matériau le plus utilisé présentement pour la fabrication d'électrodes transparentes. Appliqué en couches minces sur une pellicule de plastique transparent, il confère à cette pellicule des propriétés conductrices tout en préservant sa transparence. Toutefois, à cause de sa friabilité, de sa faible capacité à plier et de sa faible résistance à l'abrasion, il est inadéquat pour de nombreuses applications. De plus, l'indium se fait rare et son coût s'en trouve augmenté en conséquence. Les nanotubes de carbone offrent une alternative intéressante, car ils sont mécaniquement beaucoup plus souples, solides et résistants que l'oxyde indium-étain, tout en offrant une meilleure conductivité électrique. Ils sont fabriqués avec du carbone, un matériau abondant dans la nature (contrairement à l'indium), et leur application se fait avec des procédés déjà connus et couramment utilisés dans l'industrie.

Unidym vient de signer une entente avec la compagnie de produits chimiques Nippon Kayaku (Tokyo, Japon) qui intégrera les électrodes transparentes de nanotubes de carbone dans ses cellules photovoltaïques fabriquées en couches minces

Source: <http://www.techniques-ingenieur.fr> (technoflash n09)

## Annexe - Caractéristiques onduleur armoire photovoltaïque

### **ANNEXE 3:**

#### **SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE L'ONDULEUR**

---

TYPE: Top class domino 12 VCC-230VCA

Caractéristiques de base générales:

sinusoïde réelle, 50Hz  
mode "repos" pour minimiser la consommation en mode "veille"  
réponse rapide à partir du mode "repos" (800ms au max.)  
niveau de démarrage facilement réglable (de 2 à 40W)  
contrôle dynamique de la tension de la batterie  
contrôle intelligent de prévention de surcharge  
brève surcharge jusqu'à 250% autorisée  
protection contre les courts-circuits

Données d'entrée et de sortie:

Puissance nominale (à 20°C)	400W
Rendement à 150W	87%
Tension d'entrée nominale	12VCC
Tolérance de tension à l'entrée	10,5VCC-16VCC
Courant d'entrée nominal	33A
Courant d'entrée maximale (très brièvement)	66A
Protection dynamique (en fonction de la charge) contre les sous-tensions	10,5V - 9VCC
Tension de sortie (sortie protégée contre les courts-circuits)	225VCA (+-5%)
Courant de sortie nominal (AC)	1,5 A AC
Fréquence de sortie	50Hz (+-0,5%)
Cos Phi à charge permanente	0,4 - 1
Consommation en mode de veille (impulsion de test CA tous les 800ms)	< 0,5W
Capteur de charge réglable de manière externe	2 - 40W
Consommation propre	3W
Surcharge	Max. 250%
Plage de température (HR <95% sans condensation)	0 - 40°C
Classe de protection	IP20

Remarques:

- L'onduleur est seulement pourvu d'une entrée de tension continue de 12 V. On ne peut donc jamais y connecter directement des modules ni utiliser des batteries d'une tension autre que 12 Volt. La sortie de l'onduleur est aussi dangereuse que le réseau!
- Si l'on surcharge l'onduleur (si l'on demande trop de puissance), il se coupe automatiquement. Le relancement est automatique si l'on baisse la charge.

---

Manuel d'utilisation pour le système photovoltaïque autonome

# Annexe - Caractéristiques régulateur armoire photovoltaïque

## ANNEXE 2 :

TYPE: SLR 114 DVM (modèle avec module de mesure numérique)

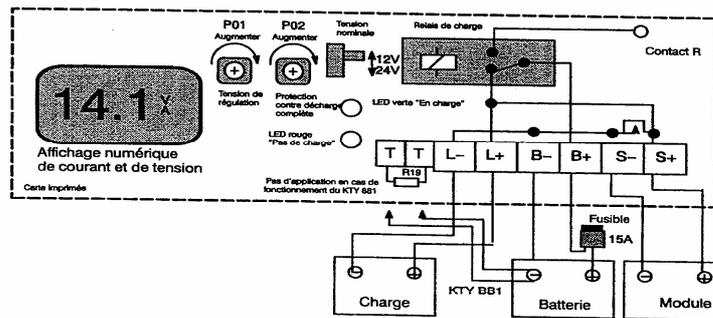


Figure 1: Schéma du régulateur de charge de batterie

Propriétés de base générale:

- protection automatique contre les surcharges par une régulation en dérivation (voir manuel)
- charge complète et conservation de la charge optimale par charge pulsée à une fréquence de 100Hz
- rendement de charge de l'ordre de 96 à 98%
- la régulation de charge placée en dérivation permet la charge de batteries totalement déchargées
- déparasitage radio assuré par l'inclinaison des impulsions de charge
- diode anti-retour empêchant pendant la nuit la décharge des batteries dans les modules
- protection intégrée contre la foudre grâce à une varistance du circuit d'entrée
- protection automatique contre la décharge totale de la batterie
- déconnexion de l'utilisateur au moyen d'un relais bistable lorsque le seuil de décharge est atteint; la consommation est minimale dans chaque position
- indication d'état: «utilisateur déconnecté» caractérisé par un LED rouge et «en charge» par un LED vert
- écran de mesure de 3.5 digits avec commutation automatique toutes les 10 secondes entre mesure du courant de charge et mesure de la tension de la batterie. La valeur affichée est indiquée au moyen des symboles "V" (tension) et "A" (courant)
- protection contre les surtensions et la surchauffe des câbles
- un interrupteur sur le circuit imprimé permet de commuter la tension du système de 12 à 24 volts.

Manuel d'utilisation pour le système photovoltaïque autonome

## ANNEXE 2 (suite):

---

### Données d'entrée et de sortie

tension nominale	12V	24V
tension à la déconnexion des modules	14,1V	28,2V
puissance PV installée maximale	260W	520W
protection contre la sous-tension de la batterie		
reconnexion des utilisateurs	11V	22V
tension d'entrée maximale	12,5V	25V
courant de module maximal	27V	48V
courant de décharge continu maximal	16A	16A
consommation finale sans LED	16A	16A
plage de mesure de la tension	2,5mA	2,5mA
plage de mesure du courant	0-50V	0-50V
précision des valeurs de mesure	0-20A	0-20A
plages de températures autorisées	1% + 1 digit	1% + 1 digit
classe de protection	-25 à 50°C	-25 à 50°C
	IP65	IP65

### Remarques:

#### - Indications LED:

- LED verte allumée: batterie en charge
- LED verte éteinte: période de nuit, module déconnecté ou batterie à pleine charge
- LED rouge allumée: tension de la batterie < 11 (22) V, utilisateur déconnecté
- LED rouge éteinte: tension de la batterie > 12,5 (25)V, utilisateur connecté

- La valeur du courant indiquée représente le courant de charge net de la batterie, c-à-d le courant généré par les modules moins le courant que l'utilisateur puise dans la batterie.

Lorsqu'un signe "+" est affiché, cela veut dire que la batterie se charge; lorsqu'un signe "-" est affiché, la batterie est en décharge

Le courant total de charge et de décharge des modules ou des utilisateurs ne peut être mesuré qu'en déconnectant respectivement les utilisateurs ou les modules.

<b>IL EST IMPORTANT DE RESPECTER SYSTÉMATIQUEMENT LA BONNE POLARITÉ.</b>
--

## Annexe - Caractéristiques capteur 55Wc armoire photovoltaïque

### ANNEXE 1:

#### **SPECIFICATIONS TECHNIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES**

---

##### **TYPE : 55Wp**

*Cellules* : multicristallines

*Technique d'encapsulation* : lamination en EVA (verre - Tedlar)

*Cadre* : aluminium anodisé

*Boîte de connexion* : IP65

*Poids total* : 5,7 kg

*Dimensions* : 985 x 440 x 34 mm

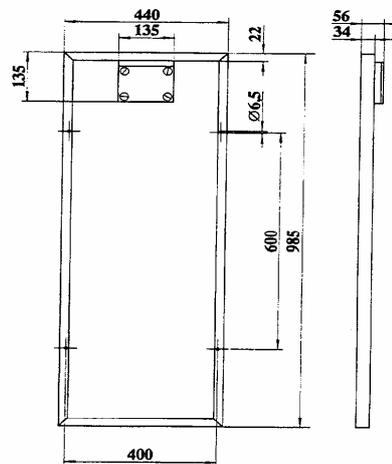


Figure 1: Dimensions et construction schématique du module

Spécifications de puissance, mesurées à 1.000 W/m<sup>2</sup>, 25°C:

Puissance nominale :	55	Wp
Courant de court-circuit :	3,65	A
Tension en circuit ouvert :	21,71	V
Tension en puissance maximale de pointe :	7,45	V
Courant en puissance maximale de pointe :	3,15	A
Baisse de tension par la température :	-90	mV/°C

Testé selon la spécification 503 de l'EC Joint Research Centre (ESTI-ISPRA, IT)

## Annexe - Répartition longueur d'onde – W/m<sup>2</sup>

La puissance crête des cellules solaires est définie comme la puissance générée sous les conditions imposées par cette lumière standard (AM1,5 et 1.000 W/m<sup>2</sup>), pour une température de la cellule solaire de 25°C.

Longueur D'onde		Longueur D'onde		Longueur D'onde	
[µm]	[W.m-2.µm-1]	[µm]	[W.m-2.µm-1]	[µm]	[W.m-2.µm-1]
0.295	0	0.700	1173.31	1.178	374.29
0.305	1.32	0.710	1152.70	1.189	383.37
0.315	20.96	0.720	1133.83	1.193	424.85
0.325	113.48	0.7277	974.30	1.222	382.57
0.335	182.23	0.730	1110.93	1.236	383.81
0.345	234.43	0.740	1086.44	1.264	323.88
0.355	286.01	0.750	1070.44	1.276	344.11
0.365	355.88	0.7621	733.08	1.288	345.69
0.375	386.80	0.770	1036.01	1.314	284.24
0.385	381.78	0.780	1018.42	1.335	175.28
0.395	492.18	0.790	1003.58	1.384	2.42
0.405	751.72	0.800	988.11	1.432	30.06
0.415	822.45	0.8059	860.28	1.457	67.14
0.425	842.26	0.825	932.74	1.472	59.89
0.435	890.55	0.830	923.87	1.542	240.85
0.445	1077.07	0.835	914.95	1.572	226.14
0.455	1162.43	0.8465	407.11	1.599	220.46
0.465	1180.61	0.860	857.46	1.608	211.76
0.475	1212.72	0.870	843.02	1.626	211.26
0.485	1180.43	0.875	835.10	1.644	201.85
0.495	1253.83	0.8875	817.12	1.650	199.68
0.505	1242.28	0.900	807.83	1.676	180.50
0.515	1211.01	0.9075	793.87	1.732	161.59
0.525	1244.87	0.915	778.97	1.782	136.65
0.535	1299.51	0.925	217.12	1.862	2.01
0.545	1273.47	0.930	163.72	1.955	39.43
0.555	1276.14	0.940	249.12	2.008	72.58
0.565	1277.74	0.950	231.30	2.014	80.01
0.575	1292.51	0.955	255.61	2.057	72.57
0.585	1284.55	0.966	279.69	2.124	70.29
0.595	1262.61	0.975	529.64	2.156	64.76
0.605	1261.79	0.985	496.64	2.201	68.29
0.615	1255.43	1.018	585.03	2.266	62.52
0.625	1240.19	1.082	486.20	2.320	57.03
0.635	1243.79	1.094	448.74	2.338	53.57
0.645	1233.96	1.098	486.72	2.356	50.01
0.655	1188.32	1.101	500.57	2.388	31.93
0.665	1228.40	1.128	100.86	2.415	28.10
0.675	1210.08	1.131	116.87	2.453	24.96
0.685	1200.72	1.137	108.68	2.494	15.82
0.695	1181.24	1.144	155.44	2.537	2.59
0.6983	973.53	1.147	139.19		

Tableau 2.1 La densité de puissance spectrale du spectre standard AM1,5 avant normalisation à 1.000 W/m<sup>2</sup>

## Annexe – Remplacement éléments armoire photovoltaïque

Prix de divers éléments HTVA

- 2 batteries 12V-115Ah	131,50 € pièce
- 2 Régulateur de charge/décharge avec écran 114DVM - 16A	81,00 € pièce
- Compteur kWh:	50,00 € pièce
- Convertisseur compatible (original n'est plus disponible): 12VCC -> 230VCA / 550Watt sinus sans régulateur	440,00 € pièce

### Identification des éléments remplacés

#### Régulateur 2 (ancien)

SLR114DVM

N° fabrication : 56548

16A, 12V (24V), 14.1V (28.2V), 11.0V (22.0V), 12.5V (25V)

#### Ah Mètre

Plaquette électronique: R1008 0894  
300894

#### Régulateur 2 (nouveau)

SLR114DVM

N° fabrication : 65521

6A, 12V (24V), 14.1V (28.2V), 11.0V (22.0V), 12.5V (25V)

#### Ah Mètre (nouveau)

Plaquette électronique

SLR100A 0894

300894

1.150.210.223

W15.21

6V ----- 8 l/s

0.021A

SN 0102055194

## Annexe - Caractéristiques batteries armoire photovoltaïque



### INFORMATION SHEET DELPHI 2000

**specifications:**

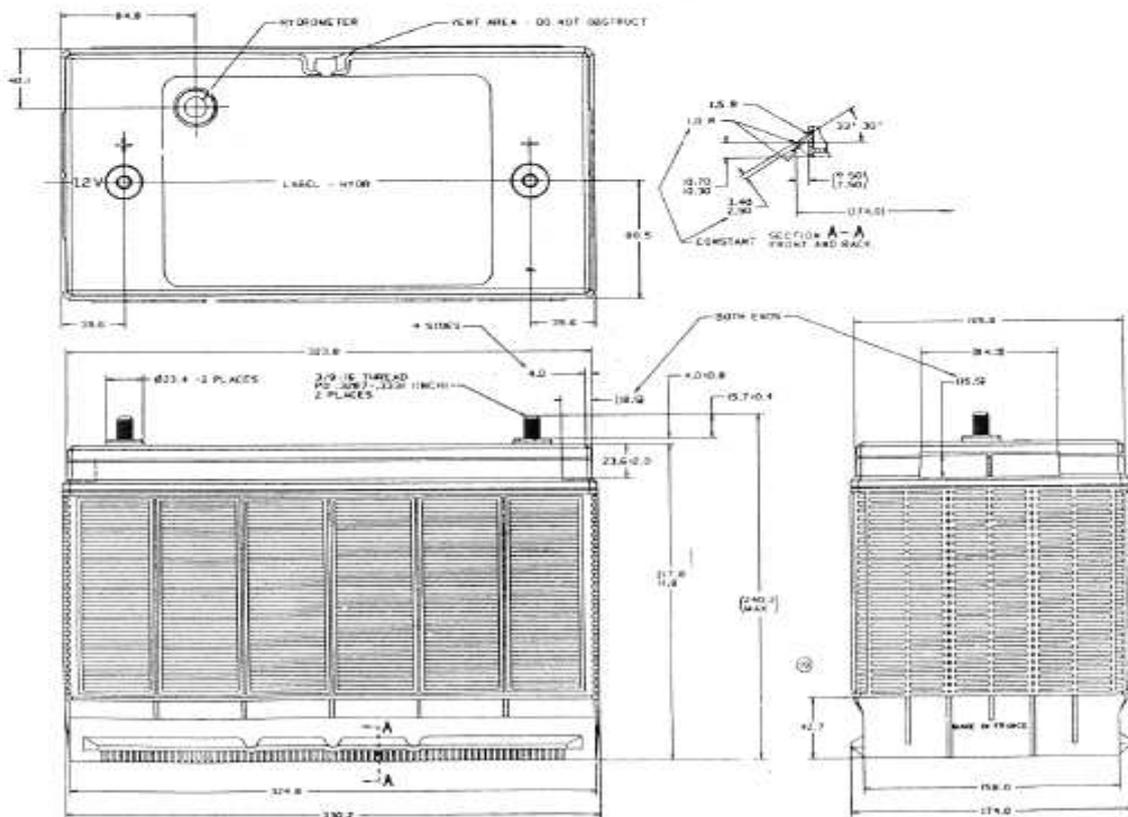
capacity C20: 105 Ah  
 capacity C100: 115 Ah  
 self-discharge rate: 4 Ah per month (bij 27°C)  
 weight: 26,35 kg  
 applications: SOLAR / UPS / AGV

**weight:**

polypropyleen: 1,483 kg  
 lead: 16,090 kg  
 elektrolyt: 8,128 kg (= 6,35 l) for a 100% charged battery  
 other: 0,650 kg

**thickness positive plate: 2,23 mm**

**thickness negative plate: 2,18 mm**



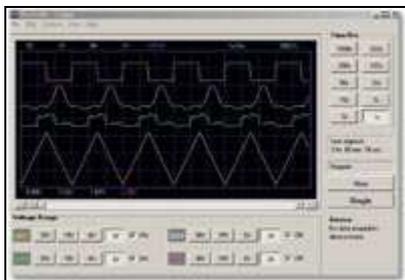
## Annexe - Datalogger Velleman

### ENREGISTREUR / LOGGER 4 CANAUX



#### Caractéristiques

- enregistrez des signaux CC ou des signaux lents pendant une longue période
- les valeurs mesurées sont automatiquement sauvegardées sur votre disque dur pour usage ultérieur
- grâce à la connexion USB vous n'avez pas besoin d'une alimentation et l'installation est facile
- les signaux sont affichés instantanément sur l'écran du PC au moyen d'un affichage analogique ou d'un affichage DVM
- câble USB inclus
- logiciel PC-LAB2000 inclus



## Annexe - Datalogger PICO



- Measures and records up to 8 thermocouples
- Up to 20 units can be run on a single PC
- Works with all popular thermocouple types
- Wide temperature range (-270 °C to +1800 °C)
- Built in cold junction compensation
- High resolution and accuracy
- No power supply required
- Supplied with PicoLog data logging software

The TC-08 is an 8 channel thermocouple to PC interface, it can measure the full range of temperatures from -270 °C to +1800 °C and works with all popular types of thermocouples (B,E,J,K,N,R,S,T). There is also a 60 mV range which can be used for other types of sensor.

The TC-08 is very easy to use — just plug into the serial port of your computer, connect a thermocouple and you are ready to measure temperatures.

Les sondes de température (thermocouples) et d'ensoleillement (solarimètres) ont été connectées au datalogger.

### Solarimètres



## Annexe - Datalogger Velleman DVM345DI

MULTIMÈTRE AUTORANGE AVEC DATA-HOLD, RÉTRO-ÉCLAIRAGE ET SORTIE RS-232



### Caractéristiques

Afficheur LCD 3 3/4 digits avec indication automatique de la polarité

bargraph à 38 segments

Sélection de plage: automatique ou manuelle

Fonction data-hold

Test de continuité

Interface standard RS232C pour connexion à votre PC

rétro éclairage

Mesures de tension CA (max. 750V) et CC (max. 1000V)

Mesures de courant: max. 10A pour CC et CA

Mesures de résistances: max. 40Mohm

Mesures de capacité: max. 400nF

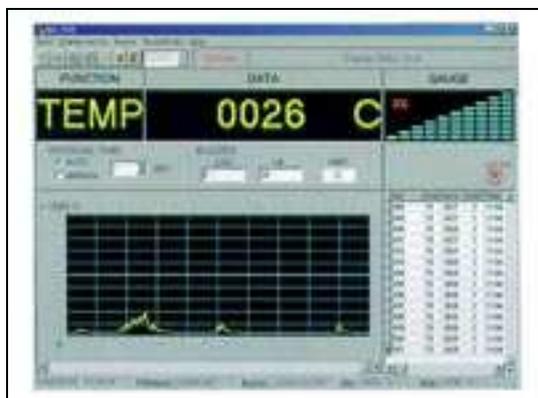
Mesures de température: de 0° à 750°C

Test hFE: 1 à 1000

Test de diodes

Livrée avec gaine de protection, logiciel, câble RS232C et cordons de mesure IEC1010

sonde type K: de -20°C à 1000°C (SONDE890, non incl. ou SONDE8264, non incl.)



## Annexe - Informations issues de la visite du fabricant DROBen

Les matériaux, les processus de fabrication, ainsi que les machines et dispositifs mis en œuvre ont été observés lors de la visite chez le fabricant de capteurs DROBen à l'issue de laquelle des informations supplémentaires ont été recueillies.

- Fabricants de cellules: POTOVOLTECH, Qcell (Allemagne), Motech (Taiwan, Japon)
- Caractéristiques cellule mono125/125: Puissance 2,4W (max 2,9 W),  $\eta$  14-16%
- Formats DROBen : 55Wc, 130Wc, 170Wc (mono uniquement), 215Wc
- Garantie performance silicium : 25 ans, la garantie sur l'amorphe est moindre car la couche de polymère (en lieu et place du verre) vieillit plus rapidement
- Le poids du verre représente 80% du poids du panneau (12,5 kg/m<sup>2</sup>), raison pour laquelle on a choisi chez Colruyt le silicium type amorphe
- Dans le cas du silicium, l'énergie grise dépensée pour la fabrication représente 5% coût total de fabrication
- Coût panneaux silicium : Silicium 60%, personnel 10%, EVA/TEDLAR/verre 30%
- Marge installateur : Belge 30% - Allemand 5%
- Le futur : Nanotechnologie, Teinture, Silicium métallurgique, Concentrateur pour réduire la quantité de silicium requise

## CONCLUSION

Le projet d'installation photovoltaïque dans le cadre d'une copropriété a mis en lumière les constatations suivantes :

- le plan SOLWATT, même s'il s'applique également pour les copropriétés, pose un certain nombre de contraintes dont l'acceptation du syndic d'être le demandeur de l'installation avec toutes ses implications.
- La facette « revenus imposables » du syndic en est une autre en vue de la réduction fiscale.
- Techniquement il se pose également des problèmes de répartition d'énergie.

Reste aux copropriétaires la solution de réaliser une installation individuellement mais se pose alors la problématique de l'usage des parties communes du bâtiment (toiture, local électrique, ...).

Néanmoins, le projet a permis de comprendre toutes les notions essentielles liées au photovoltaïque. Il a permis également de distinguer une installation photovoltaïque autonome de celle connectée au réseau. Elle a permis enfin de comprendre tous les éléments d'un devis.

Une constatation intéressante a été aussi celle de toute l' « agitation » autour du photovoltaïque en terme de mesures politiques, de recherches et développements qui laissent entrevoir, même si des problèmes de montée des prix de silicium peuvent être attendues, pas mal de nouveautés à moyen terme.

En prenant garde de ne pas provoquer de conséquences co-latérales (par exemple les locations de terres agricoles cultivables au bénéfice de champs photovoltaïques, le photovoltaïque conjugué aux autres formes d'énergies renouvelables ainsi qu'aux normes européennes en matière de performance énergétique des bâtiments pourrait être une partie non négligeable de la réponse à trouver au défi « écologique ».