



LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

PRÉSENTATION : SYLVAIN DELENCLOS
2016-2017

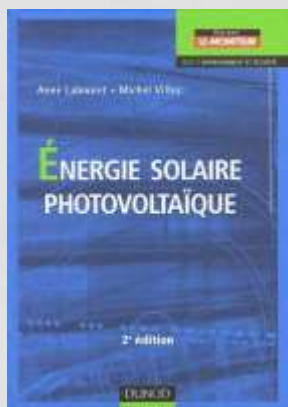
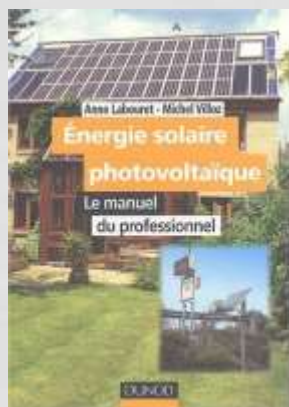


AU SOMMAIRE...

- Bibliographie
- L'énergie solaire
- Les chiffres du photovoltaïque
- L'effet photovoltaïque
- Constituants d'une installation
- Conception d'une installation
- Exemples

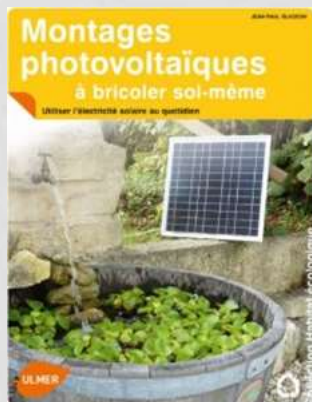
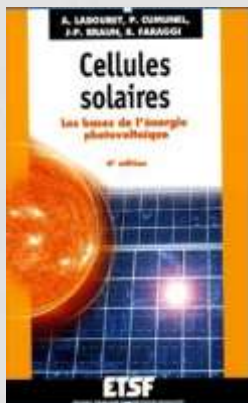
BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- www.ines-solaire.com
- www.energies-renouvelables.org
- www.photovoltaique.guidenr.fr
- www.photovoltaique.info
- www.echodusolaire.fr



Livres consultables à la BULCO

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE



Livres consultables à la BULCO



I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

1. CARACTÉRISTIQUES DU SOLEIL

Composition du soleil

- 74 % H₂, 25 % He + divers

Réaction de fusion thermonucléaire

- $4p + 2e \rightarrow He + \gamma + 27 \text{ MeV}$

Puissance rayonnée

- $\sim 3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Température de surface

- $\sim 5\,700 \text{ K}$

Distance Terre-Soleil

- $\sim 150 \cdot 10^6 \text{ km}$

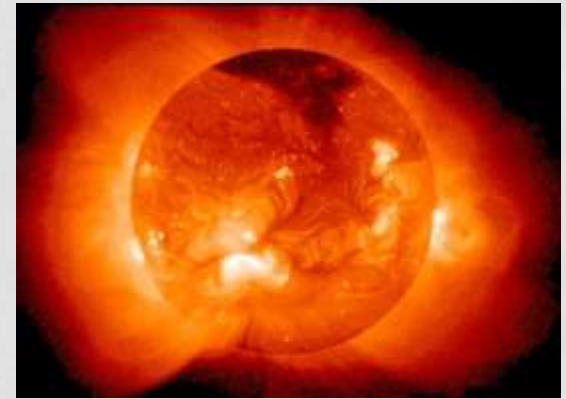


Photo : <http://www.maxisciences.com>

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

2.SOURCES DIRECTES ET INDIRECTES

Rayonnement

Lumière et
chaleur

Panneau solaire
photovoltaïque
ou thermique

Biomasse

Photosynthèse

Chauffage

Eau

Cycle de l'eau

Barrages

Mer

Courants
océaniques

Hydroliennes

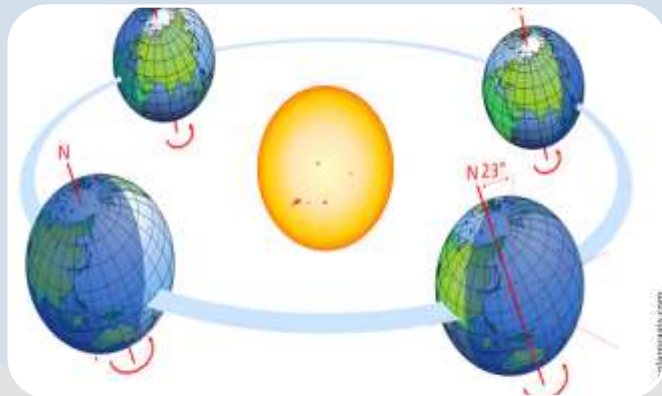
Vent

Réchauffement
de masses d'air

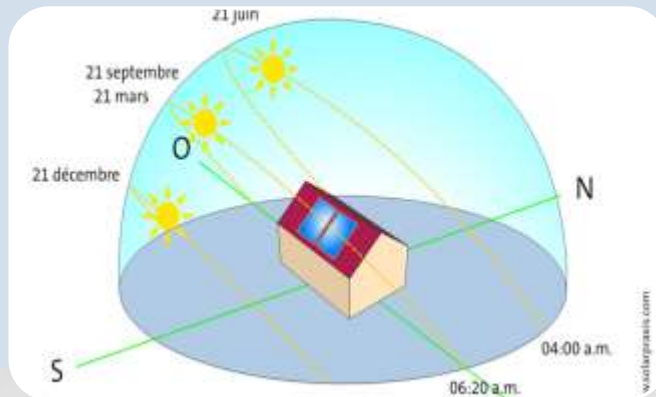
Eoliennes

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

3. LE SOLEIL VU DE LA TERRE



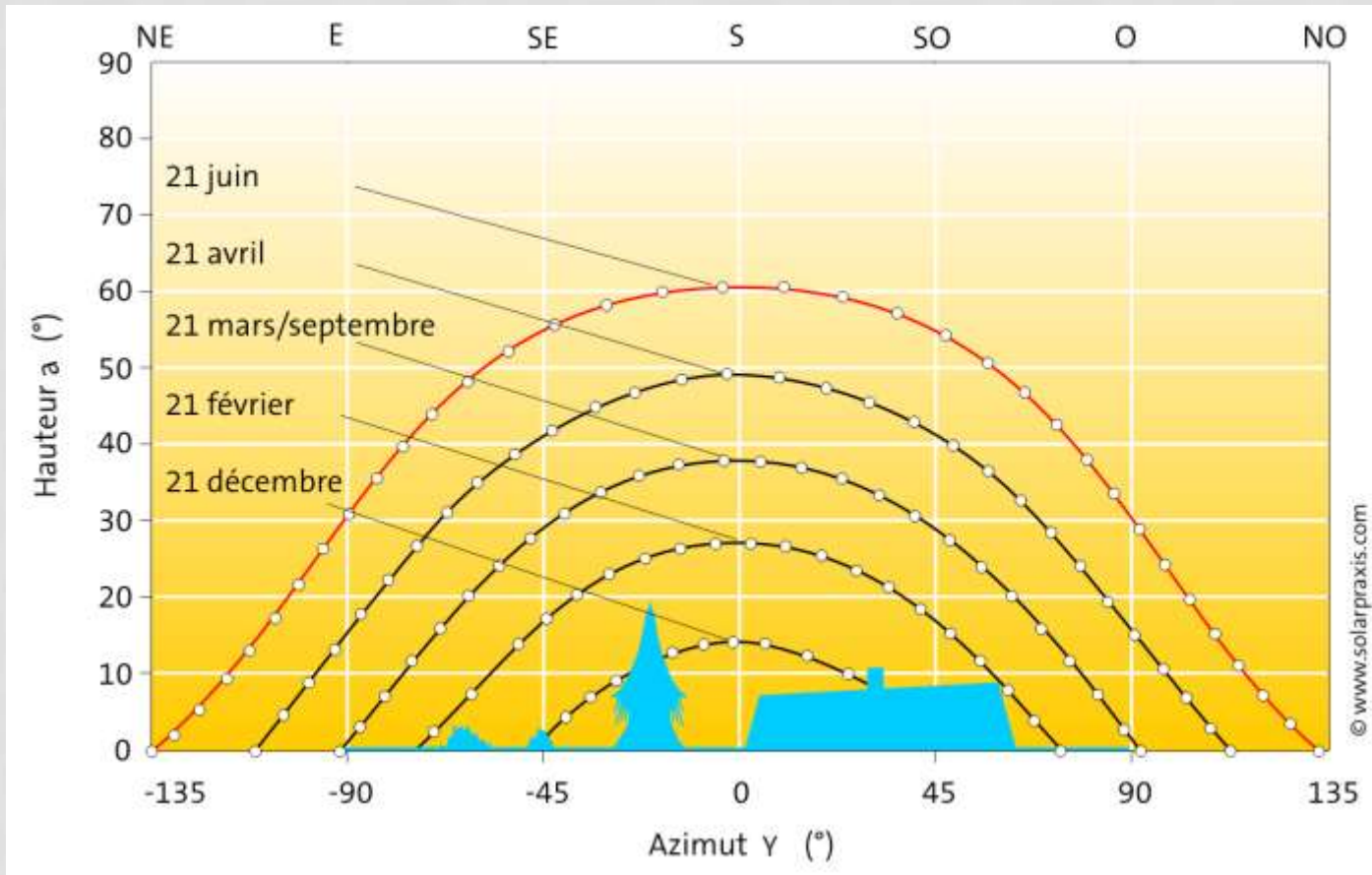
Relations
géométriques Terre-
Soleil



Trajectoire du soleil
dans le ciel en
fonction des saisons

L'ÉNERGIE SOLAIRE

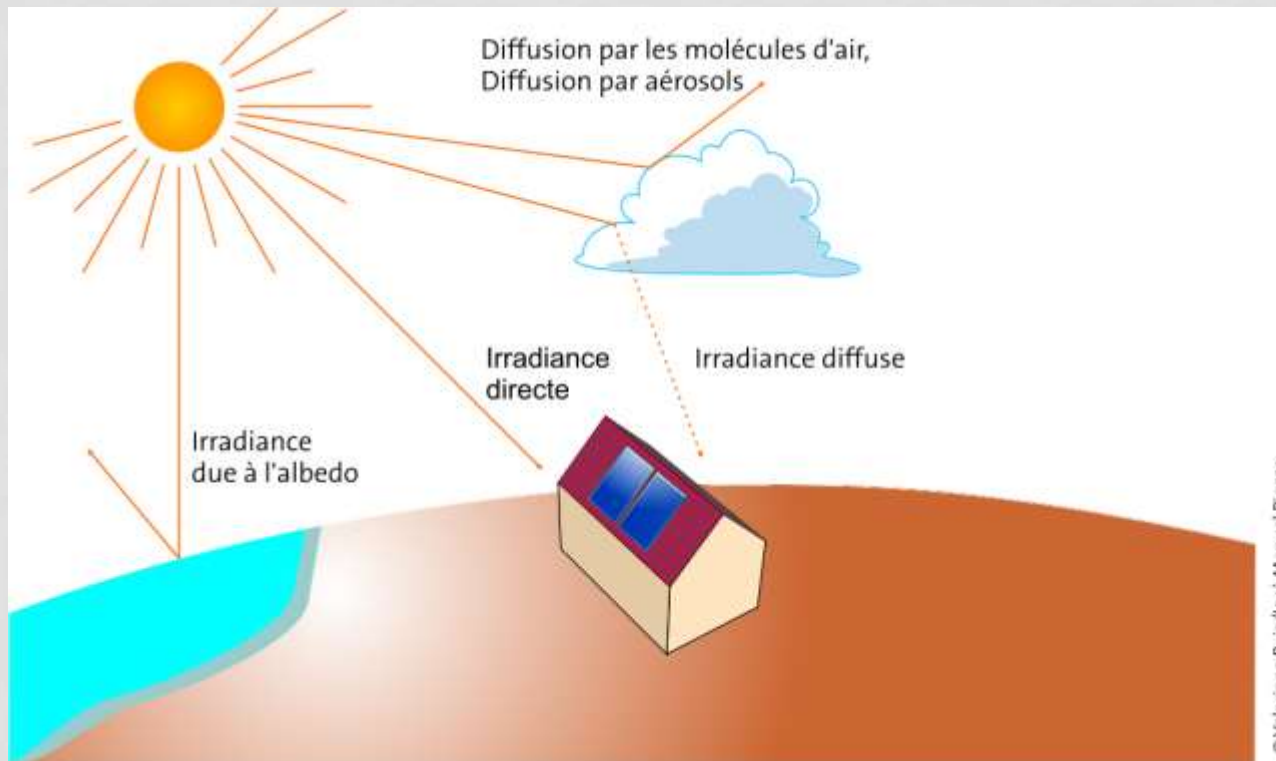
4. DIAGRAMME DE HAUTEUR AVEC SILHOUETTE DES OBSTACLES



Permet d'estimer l'énergie solaire reçue au lieu exact d'implantation des panneaux

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

6. RAYONNEMENT GLOBAL

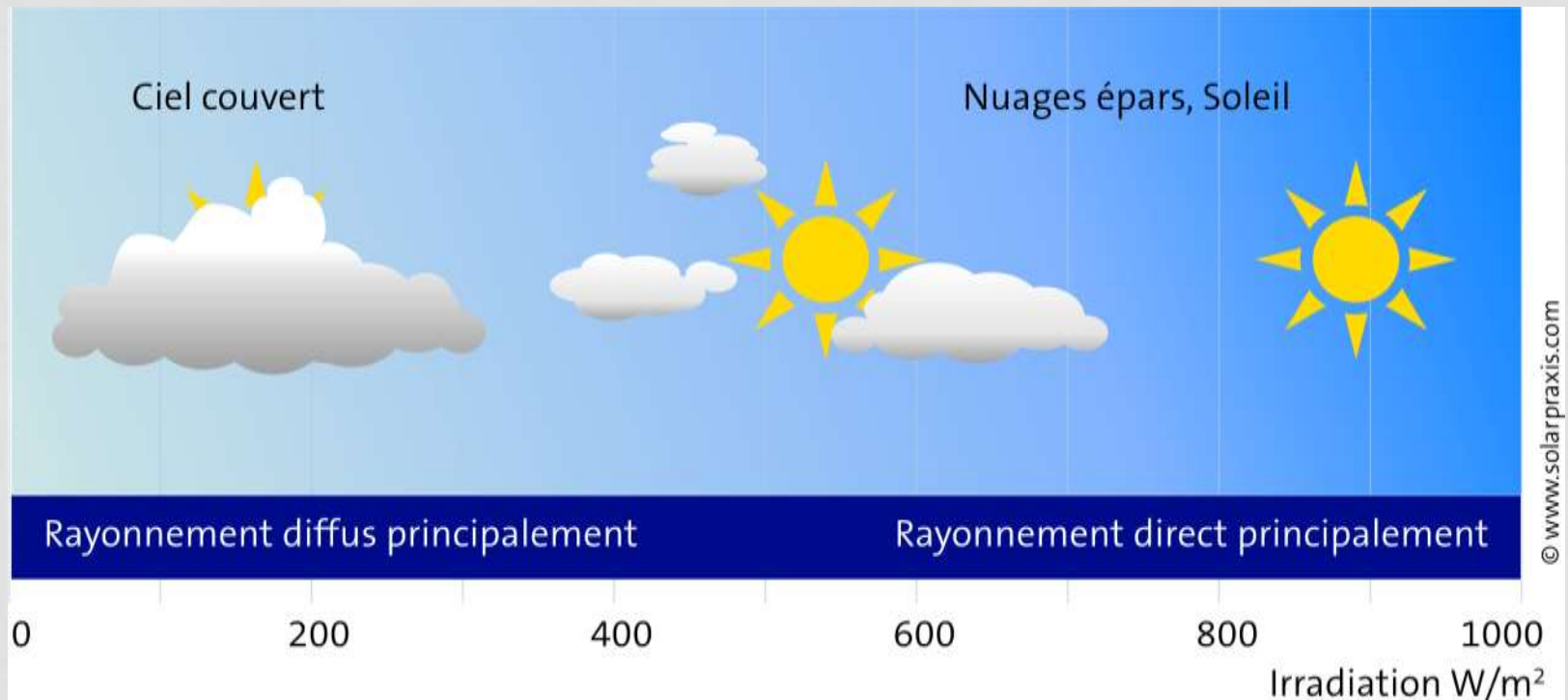


Rayonnement global = rayonnement direct + rayonnement diffus + albédo

Tous contribuent à l'énergie photovoltaïque

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

7. RAYONNEMENT ET IRRADIATION SOLAIRE



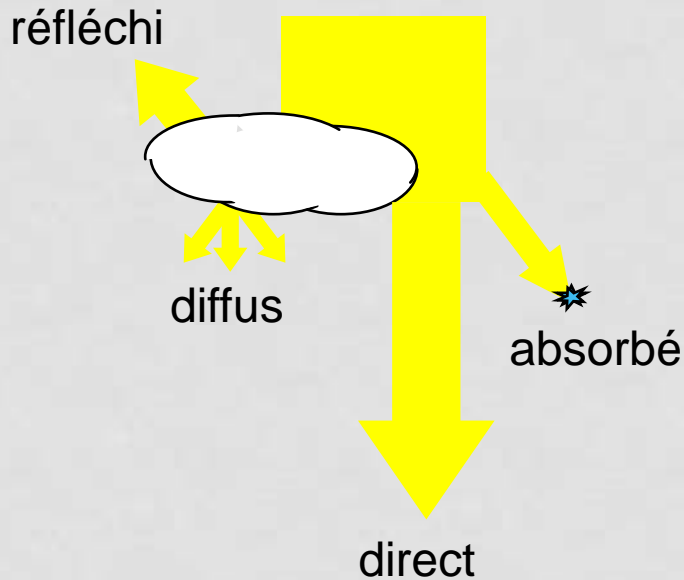
En intérieur : 1 à 10 W.m^{-2}

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

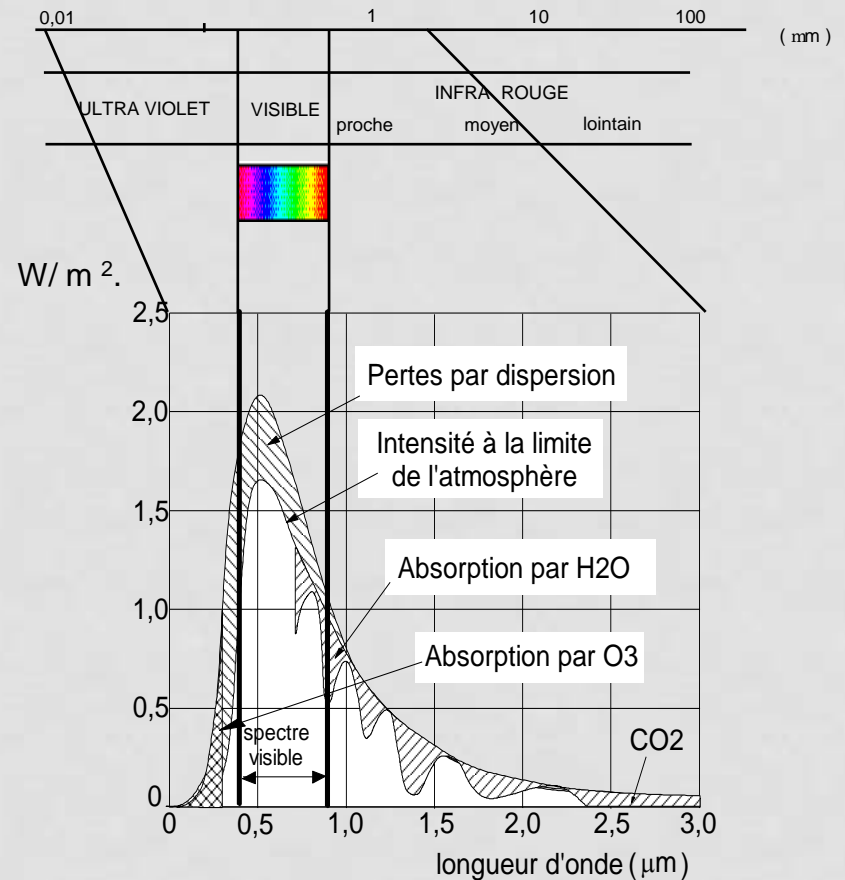
8. INTERACTION AVEC L'ATMOSPHÈRE

Rayonnement extra-atmosphère : $1\,367\text{ W.m}^{-2}$

Limite de l'atmosphère : $\sim 2\,500\text{ km}$

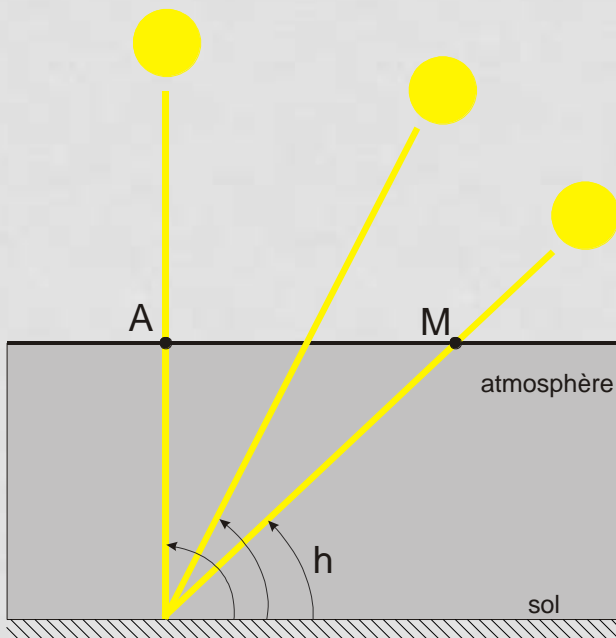


Surface terrestre : $1\,000\text{ W.m}^{-2}$



I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

9. NOTION « D'AIR-MASSE » OU MASSE ATMOSPHÉRIQUE



Soleil bas = masse d'air traversée importante

Air-Masse : épaisseur d'atmosphère traversée

Soleil au zénith : AM1

Soleil à 30° : AM2

Soleil à 48° : AM1,5 (STC)

Conditions standards de test des panneaux (STC) :

- Rayonnement instantané de 1000 W.m^{-2}
- Spectre solaire AM 1,5
- 25°C

(Dans ce cas, la puissance est donnée en wattcrête W_c)

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

10. RAYONNEMENT GLOBAL REÇU PAR JOUR

Rayonnement global reçu pendant une journée (en kWh / (m² . jour)

- Lieu géographique
- Mois de l'année
- Orientation
- Inclinaison

Importance de la couverture nuageuse

- 1000 W.m⁻² : soleil au zénith, ciel sans nuage
- 100 à 500 W.m⁻² : ciel nuageux
- < 50 W.m⁻² : ciel très couvert

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

11. RAYONNEMENT GLOBAL REÇU PAR JOUR : EXEMPLES

Site	Décembre	Mars	Juin	Septembre
Ostende	0,96	3,21	4,69	3,83
Paris	1,12	3,23	4,43	3,98
Mâcon	1,25	3,55	4,63	4,49
Nice	3,76	4,79	5,11	5,26

Orientation sud, inclinaison 60° / horizontale (kWh/m²/jour)

Carte de France de l'irradiation moyenne: Énergie reçue sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude (49° à Paris, 43° à Nice) en kWh/m²/jour



Carte de France du gisement solaire* (en kWh/m²/an)
* Valeur de l'énergie de rayonnement solaire reçue sur une surface orientée au sud et inclinée d'un angle égal à la latitude.



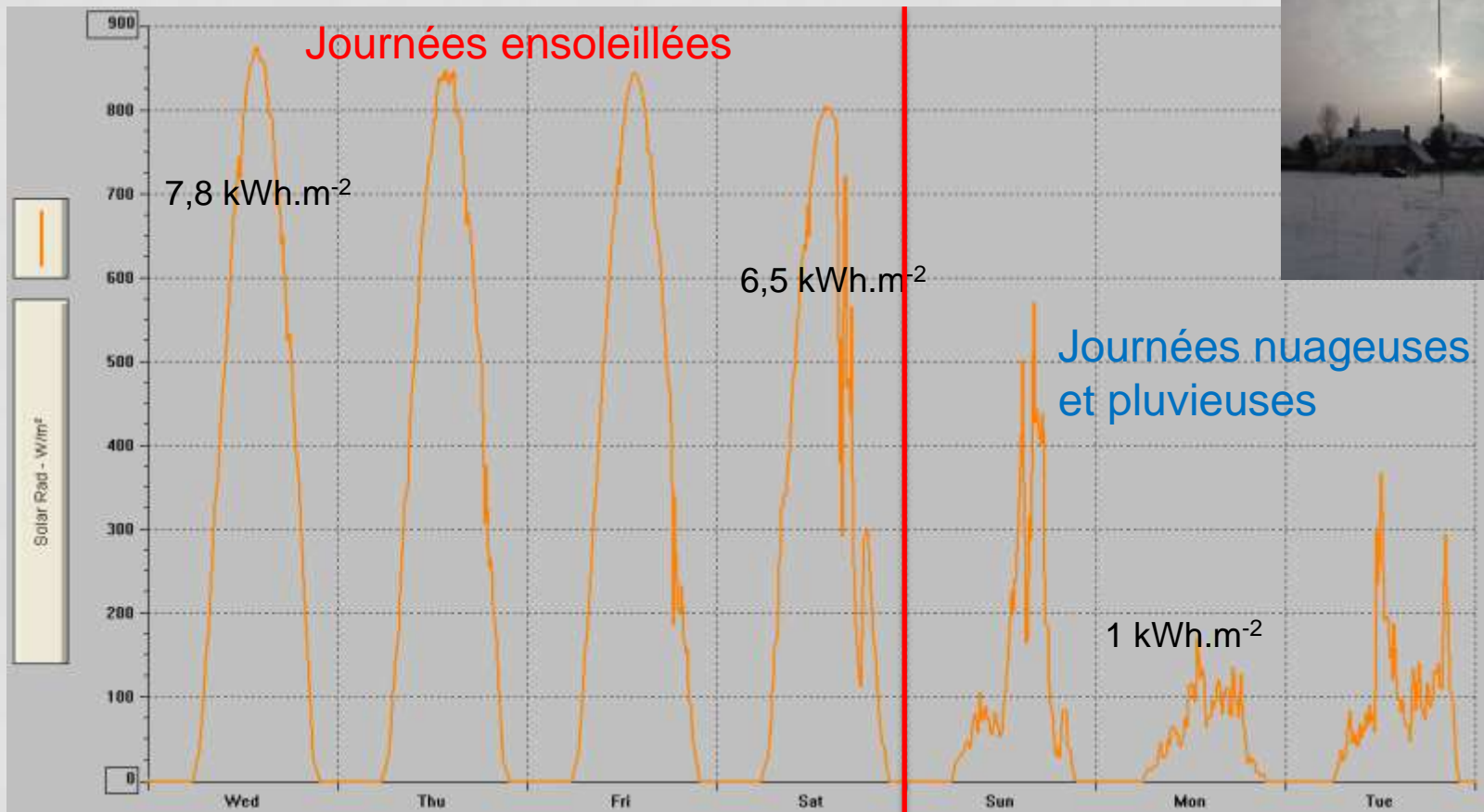
Energie reçue sur un plan **horizontal** :

1 000 kWh/m²/an à Lille (≈ 2,7kWh/m²/jour)

1 600 kWh/m²/an à Nice (≈ 4,5 kWh/m²/jour)

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

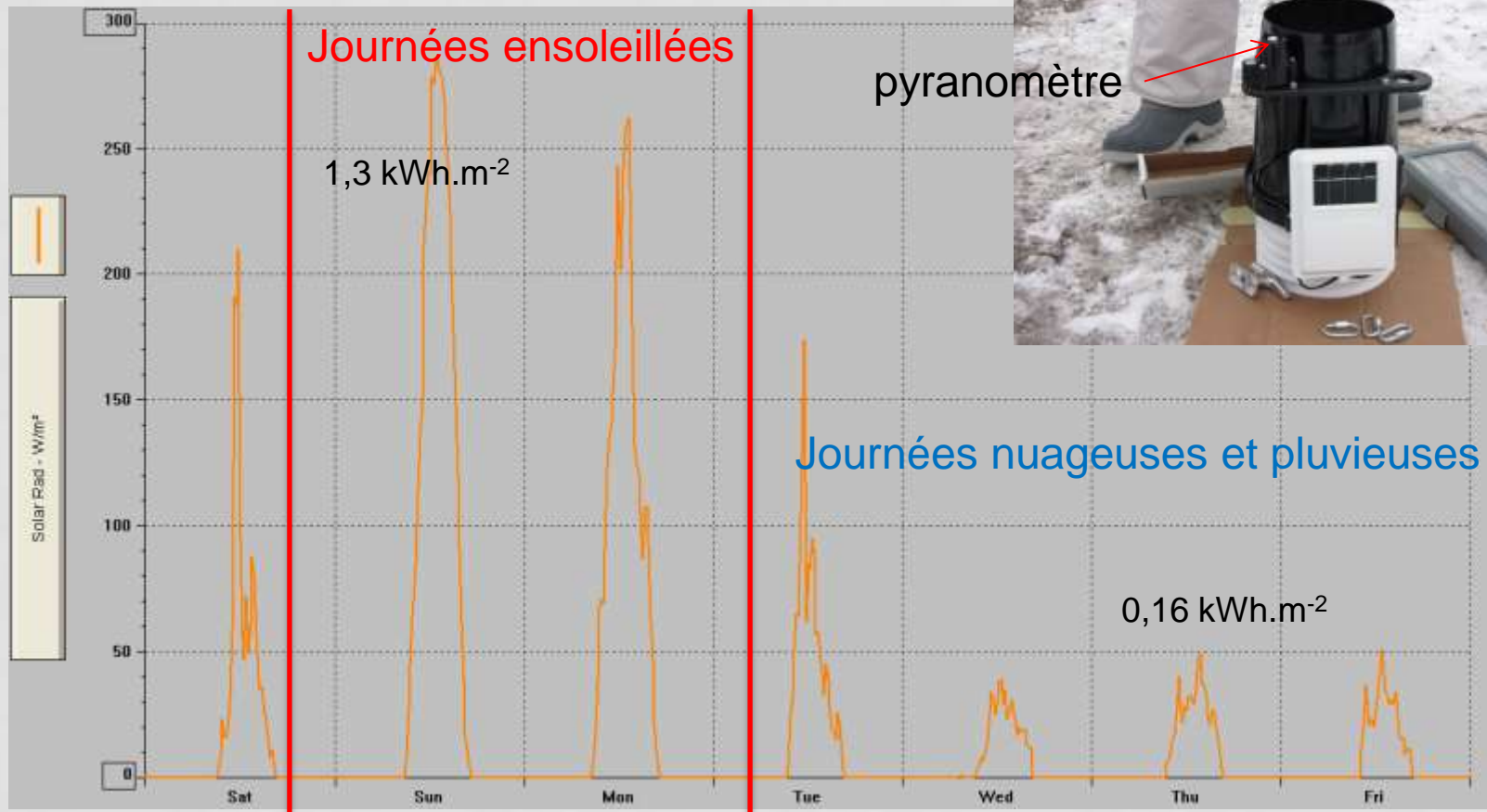
11. RAYONNEMENT GLOBAL REÇU PAR JOUR : EXEMPLE À DUNKERQUE



*Irradiation solaire mesurée sur une semaine par la station météo de l'IUT GTE
(01 – 08 juin 2011)*

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

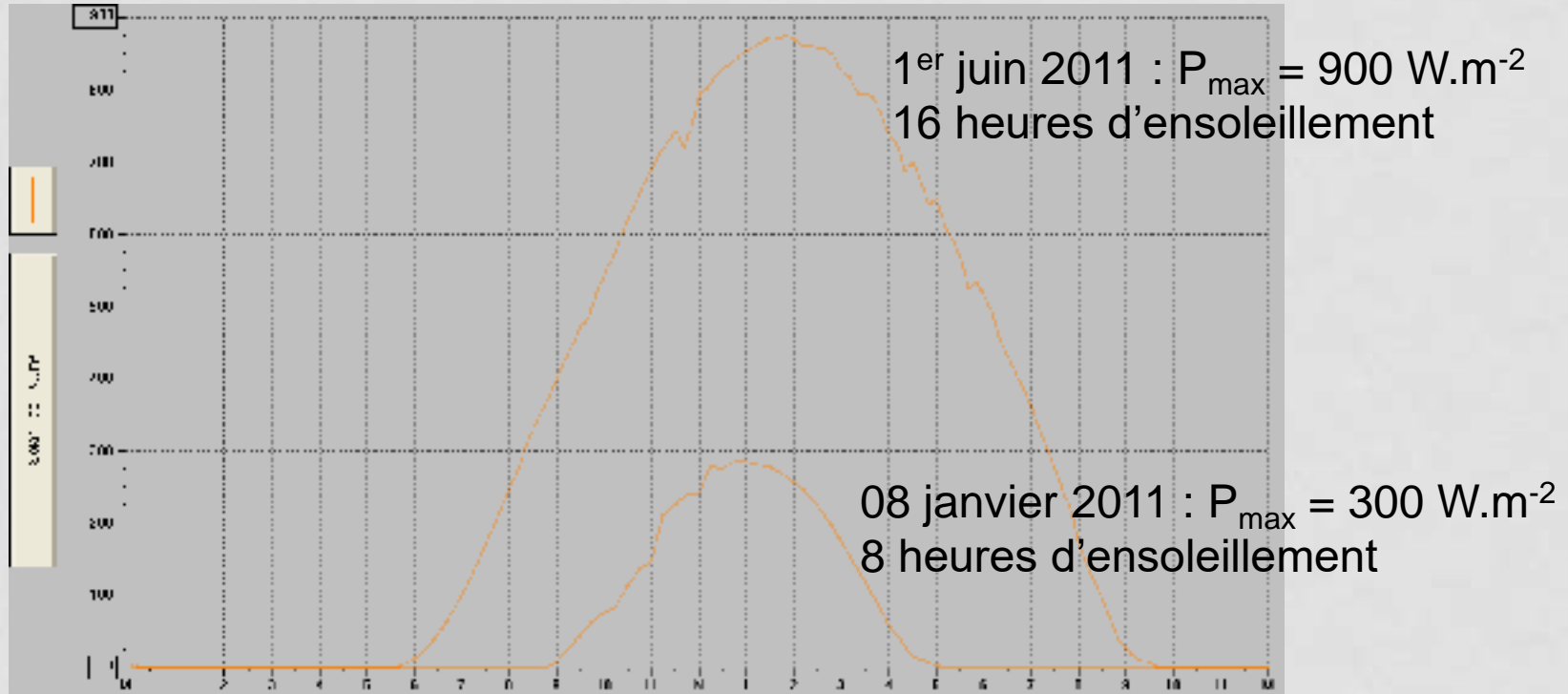
11. RAYONNEMENT GLOBAL REÇU PAR JOUR : EXEMPLE À DUNKERQUE



*Irradiation solaire mesurée sur une semaine par la station météo de l'IUT GTE
(08 – 14 janvier 2011)*

I. L'ÉNERGIE SOLAIRE

11. RAYONNEMENT GLOBAL REÇU PAR JOUR : EXEMPLE À DUNKERQUE



75 % de l'énergie produite par des panneaux photovoltaïques sur les 6 mois les plus chauds

II. LES CHIFFRES DU PHOTOVOLTAÏQUE

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN EUROPE

	2013			2014		
	Réseau	Hors réseau	Total	Réseau	Hors réseau	Total
Allemagne	36 337,0	65,0	36 402,0	38 236,0	65,0	38 301,0
Italie	18 053,0	12,0	18 065,0	18 437,0	13,0	18 450,0
France*	4 614,3	10,7	4 625,0	5 589,2	10,8	5 600,0
Royaume-Uni	2 780,0	2,3	2 782,3	5 228,0	2,3	5 230,3
Espagne	4 740,8	25,2	4 766,0	4 761,8	25,5	4 787,3
Belgique	3 039,9	0,1	3 040,0	3 105,2	0,1	3 105,3
Grèce	2 578,8	7,0	2 585,8	2 595,8	7,0	2 602,8
Rép. tchèque	2 063,5	0,4	2 063,9	2 060,6	0,4	2 061,0
Roumanie	1 022,0	0,0	1 022,0	1 292,6	0,0	1 292,6
Pays-Bas	734,0	5,0	739,0	1 095,0	5,0	1 100,0

Puissance cumulée en 2013 et 2014 des 10 premiers producteurs européens

Parc européen fin 2014 : 87 GW

Production photovoltaïque 2014 : 91 GWh

II. LES CHIFFRES DU PHOTOVOLTAÏQUE

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE

Chiffres clés*

- 5,6 GW installés au 12/2014
- 1 GW installés en 2013
- 5 500 GWh produits en 2014

Première centrale européenne à
Cestas en Gironde : 300 MW
(1 million de panneaux sur 250
hectares)



* : <http://www.energies-renouvelables.org>

II. LES CHIFFRES DU PHOTOVOLTAÏQUE

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE



Centrale de Toul Rosières (Meurthe et Moselle)

:

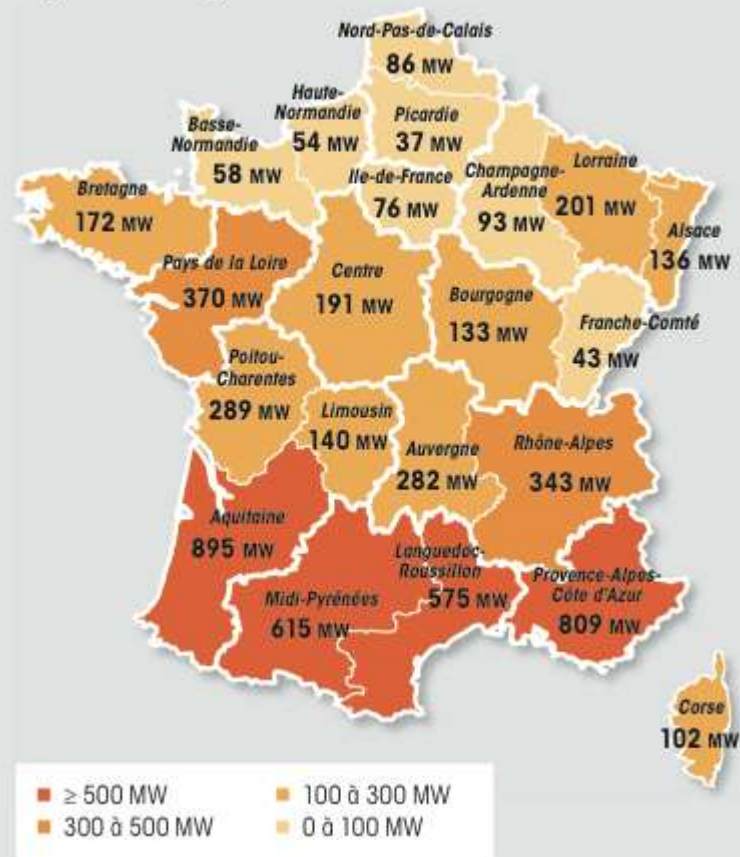
10^{ème} plus grande centrale au monde et première en Europe

115 MW pour 1,4 millions de panneaux en Si couche mince sur 367 ha

II. LES CHIFFRES DU PHOTOVOLTAÏQUE

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE

Parc photovoltaïque raccordé aux réseaux par région au 30 juin 2015

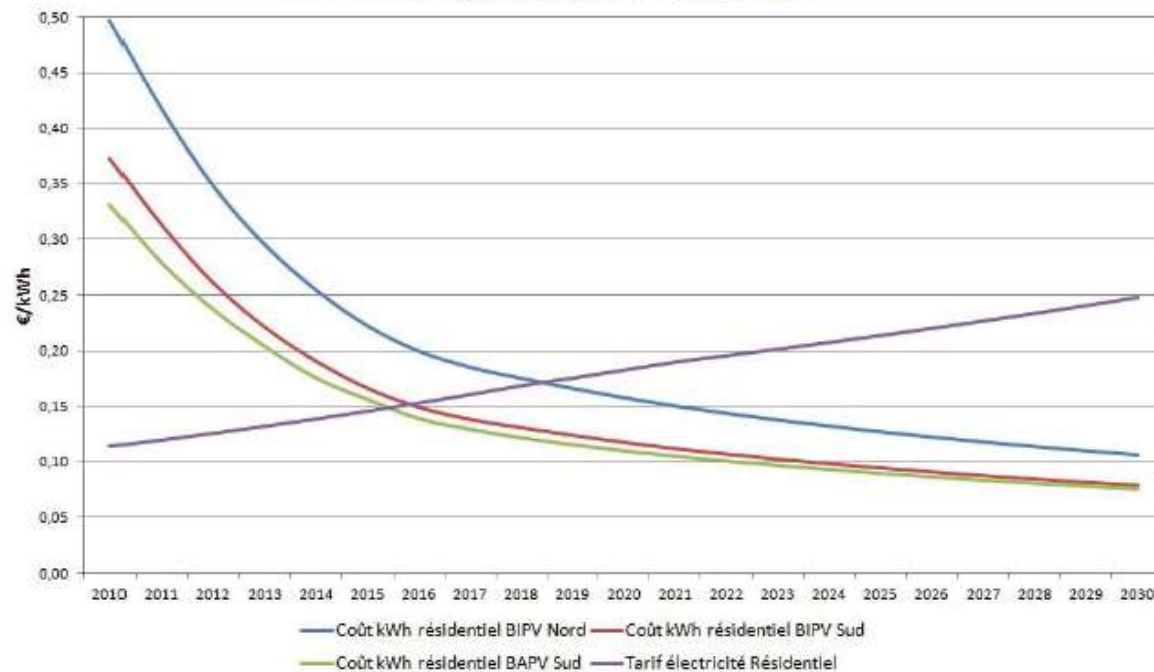


Source : RTE/ERDF/ADEeF/SER (panorama de l'électricité renouvelable)

II. LES CHIFFRES DU PHOTOVOLTAÏQUE

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE

Atteinte de la parité réseau pour le segment des installations sur des toitures résidentielles



Source : Etats Généraux du Solaire Photovoltaïque, 2011.

Sud de la France : 2016

Nord de la France : 2019

II. LES CHIFFRES DU PHOTOVOLTAÏQUE

LE PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE

	Puissance (kWc)	Tarifs (c€/kWh)
Integration au bâti (IAB)	0-9	23,93
Intégration simplifiée au bâti (ISB)	0-36	12,47
	36-100	11,89
Non intégré au bâti ou IAB/ISB > 100kWc	< 12000	5,51

Les tarifs de rachat du 1^{er} octobre au 31 décembre 2016
(<http://www.les-energies-renouvelables.eu>)

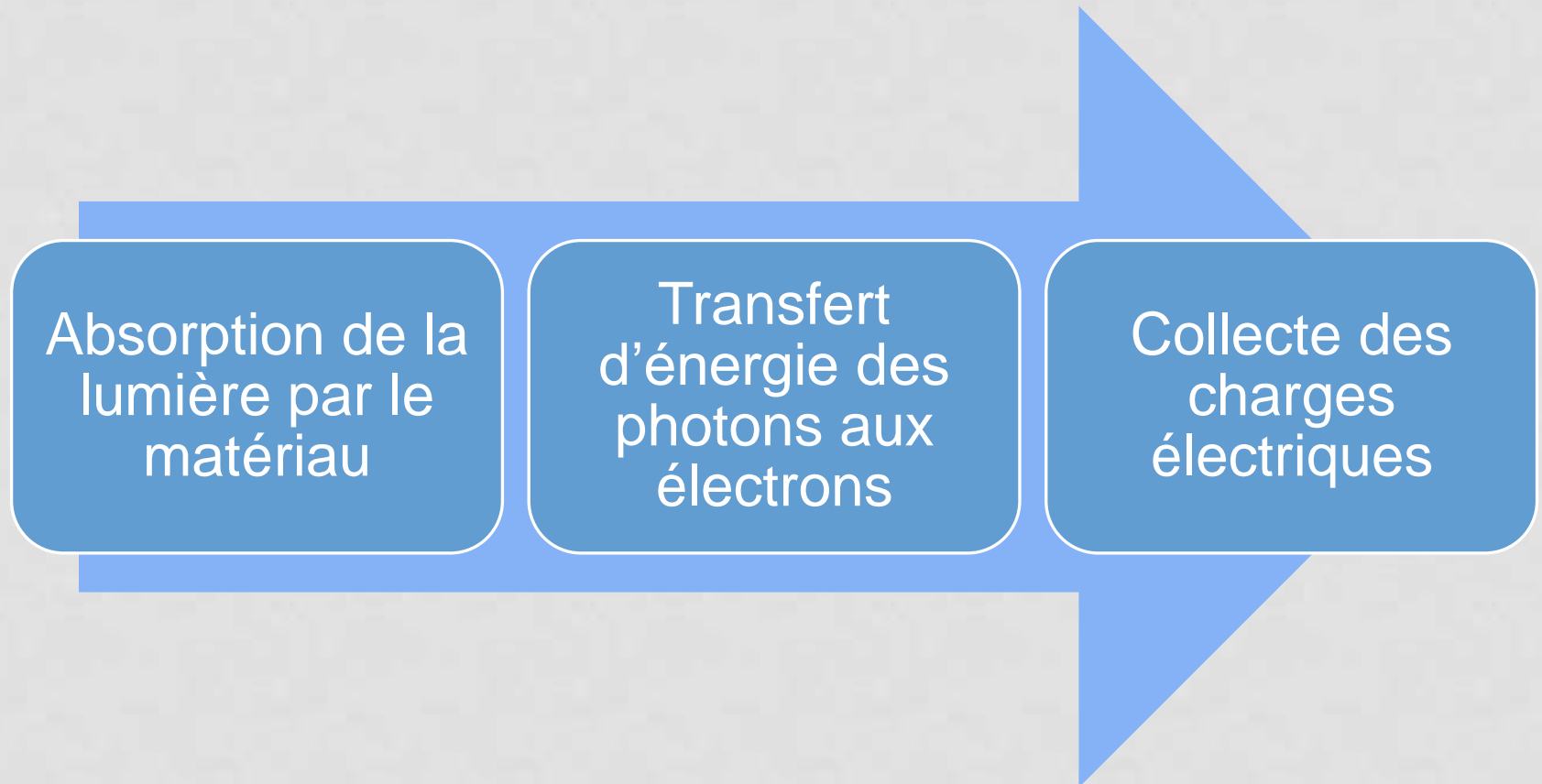
Fin du crédit d'impôt en 2014

III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

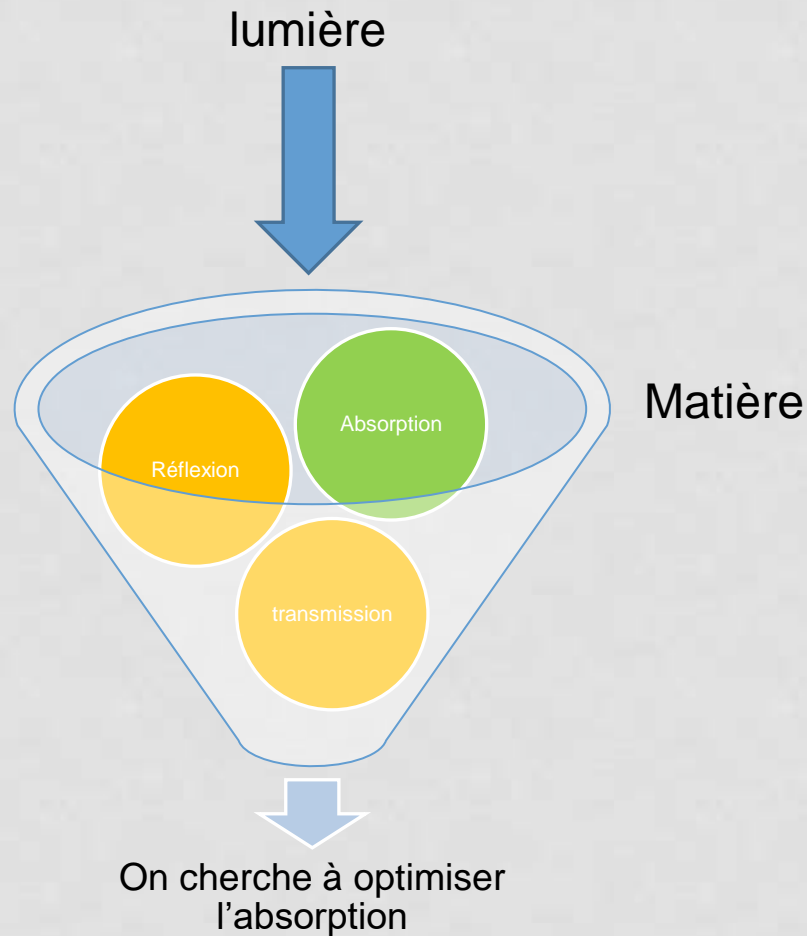
1. PRINCIPE GÉNÉRAL

Effet photovoltaïque = conversion de lumière en électricité



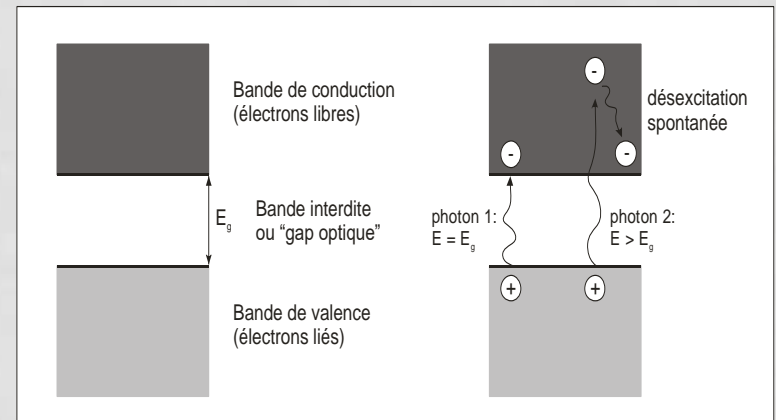
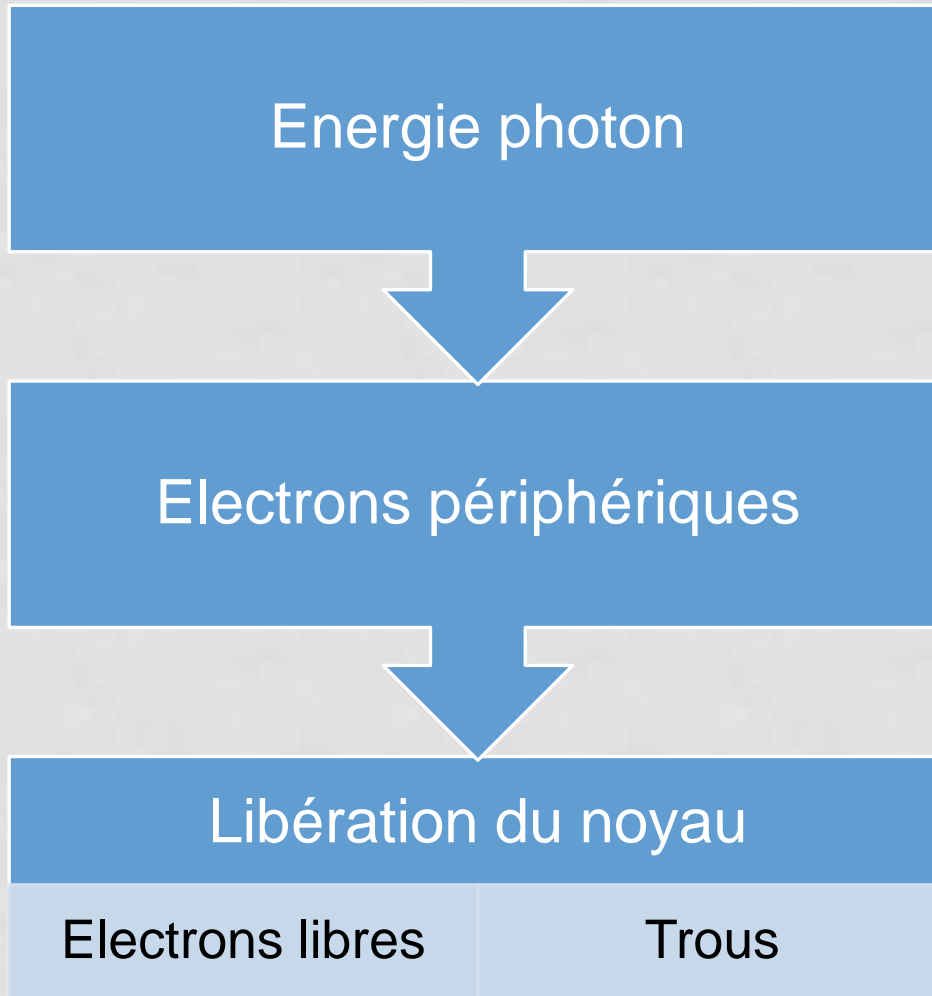
III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

2. INTERACTION LUMIÈRE - MATIÈRE



III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

3. TRANSFERT D'ÉNERGIE DES PHOTONS AUX ÉLECTRONS



$$E_g = hc / \lambda = 1,24 / \lambda$$

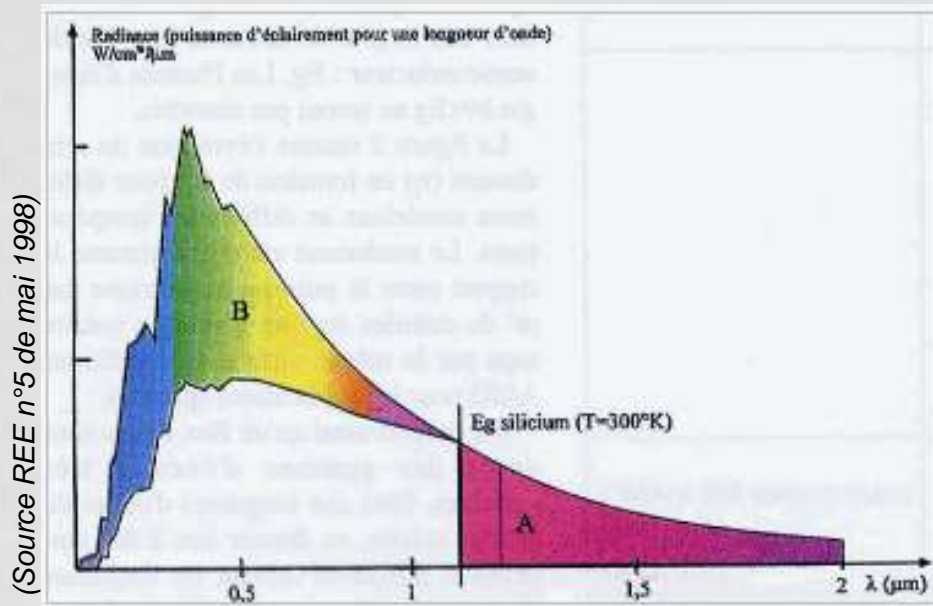
E_g en eV et λ en μm

$E_g = 1,1$ eV pour le Si cristallin

$E_g = 1,77$ eV pour le Si amorphe

III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

3. TRANSFERT D'ÉNERGIE DES PHOTONS AUX ÉLECTRONS



Zone A : photons non absorbés (24%)

Zone B : énergie perdue en chaleur (33%)

Pertes supplémentaires par réflexion, collecteurs ...

Rendement : 10 à 15%

Exploitation du spectre solaire hors atmosphère par le Silicium

III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

4. COLLECTE DES CHARGES ÉLECTRIQUES

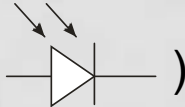
On doit collecter les électrons libres avant qu'ils ne se recombinent avec les trous
⇒ On crée une jonction au sein du matériau ⇒ Dopage des semi-conducteurs

Le silicium possède 4 électrons de valence

Dopage de type N : atomes de Phosphore (5 électrons de valence)

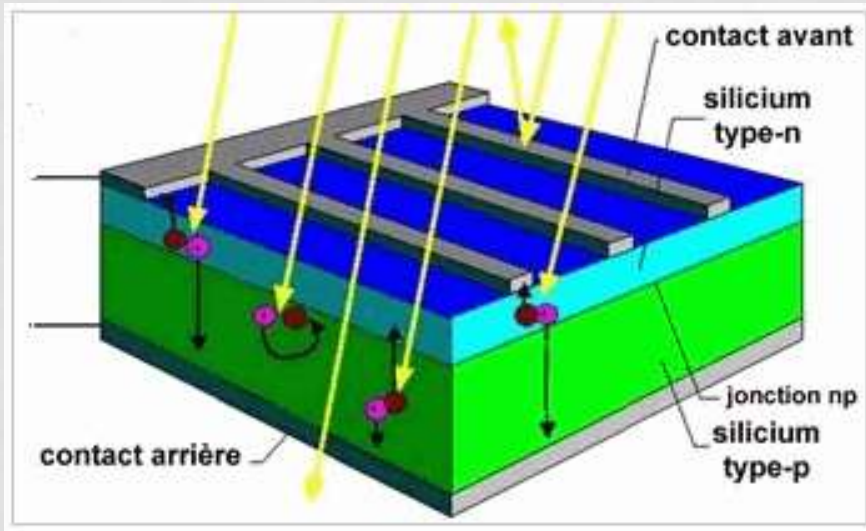
Dopage de type P : atomes de Bore (3 électrons de valence)

Le champ électrique ainsi créé sépare les charges électriques positives et négatives

Une cellule photovoltaïque est similaire à une diode (symbole : )
(on l'appelle aussi photodiode)

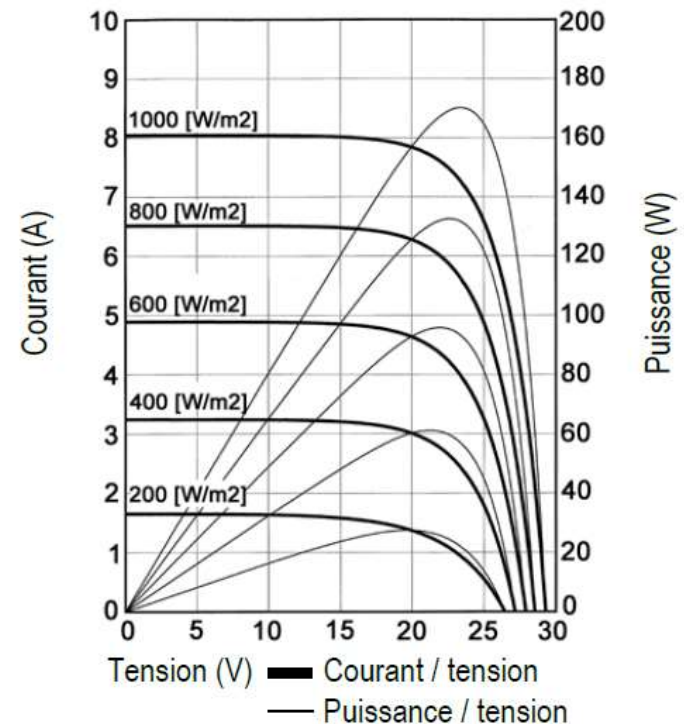
III. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

5. CONSTITUTION D'UNE CELLULE ET CARACTÉRISTIQUE COURANT-TENSION



Constitution d'une cellule solaire

Courant, puissance en fonction de la tension
(température de la cellule : 25°C)



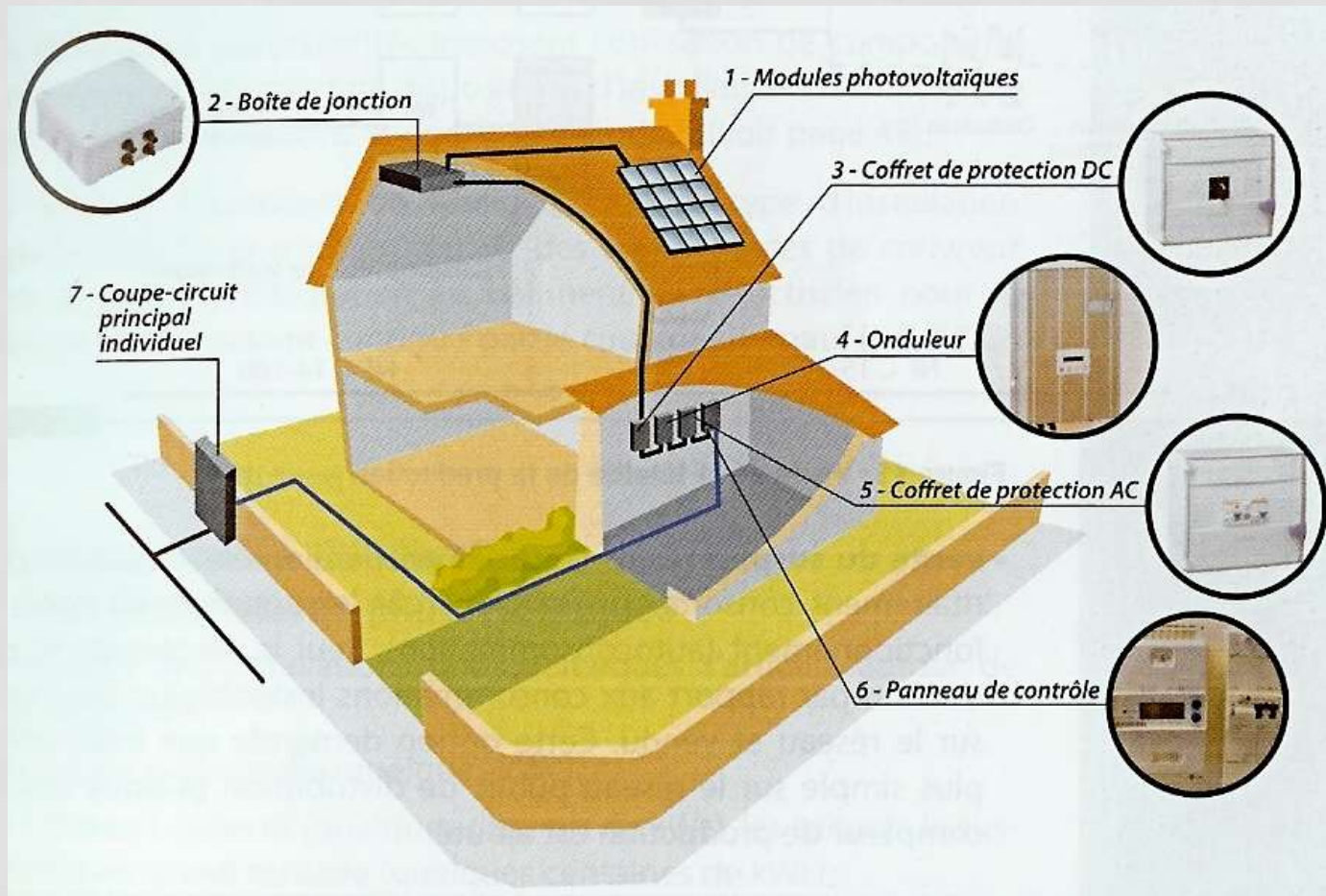
Caractéristique d'une cellule solaire

CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

1. VUE D'ENSEMBLE

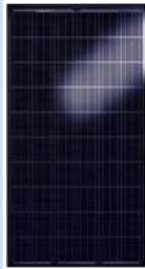
Installation électrique raccordée au réseau



D'après document schneider-electric

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

1. VUE D'ENSEMBLE



Modules



Onduleur



Coffrets de protection DC et AC, compteurs



Réseau

Installation connectée au réseau



Modules



Régulateur de charge



Batteries



Récepteurs

Installation pour site isolé

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

2. LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Matériaux utilisés

- Silicium (Si)
 - Monocristallin
 - Polycristallin
 - Amorphe
- Tellure de Cadmium (CdTe)
- Cuivre Indium Gallium Selenium (CIGS)



Si monocristallin, polycristallin et amorphe



CdTe

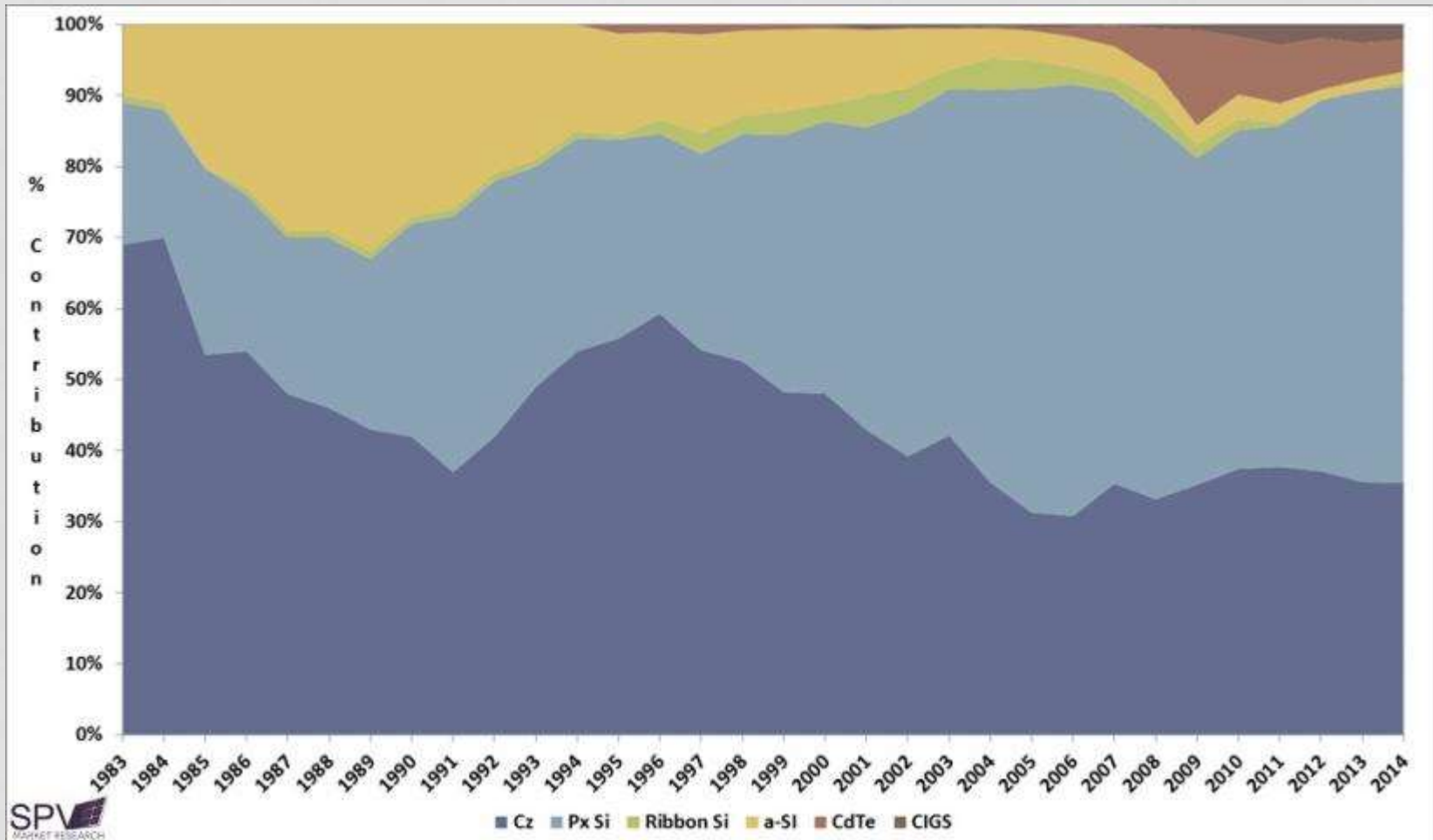


CIGS

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

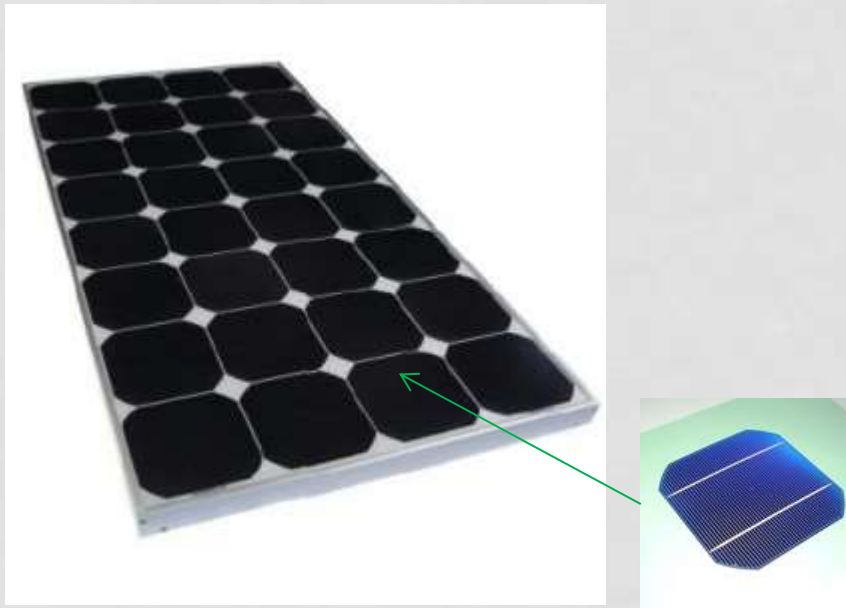
2. LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Marché mondial des modules PV



IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

2. LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES



Module = assemblage de cellules en série

Caractéristique d'une cellule de Si

- Tension à vide : 0,6 V
- Tension au point maximal de puissance : 0,46 V

Rendement d'un module

- Espaces vides, connexions
- $\eta_{\text{module}} < \eta_{\text{cellule}}$

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

2. LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Rendement des cellules en laboratoire

- Si
 - Monocristallin 25%
 - Polycristallin 20%
 - Amorphe 13,5%
- CdTe 16,5%
- CIGS 20,1%



Rendement des modules

- Si
 - Monocristallin 13 à 15%
 - Polycristallin 12 à 14%
 - Amorphe 5 à 7%
- CdTe 8 à 11%
- CIGS 7 à 11%



$$\eta_{\text{installation}} = \eta_{\text{module}} (0,14) \times \eta_{\text{onduleur}} (0,90) \times \eta_{\text{câbles}} (0,99) = 0,12$$

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

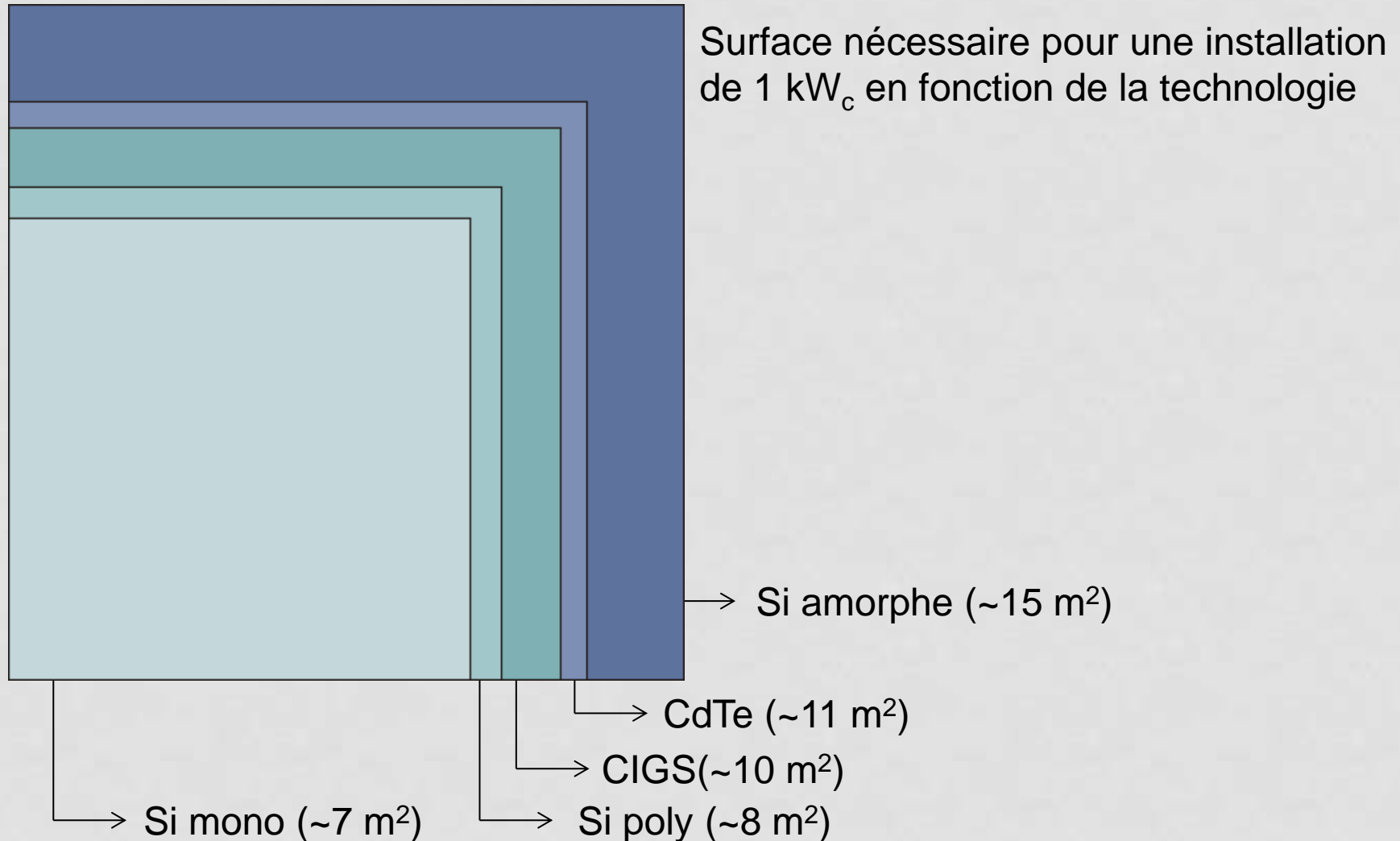
2. LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Vidéos de la fabrication d'une cellule et d'un module



IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

2. LES CELLULES ET MODULES PHOTOVOLTAÏQUES



IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Modules connectés au réseau

- Association série-parallèle pour atteindre la tension et le courant optimal
- Tension typique pour installation < 3 kW : 150 à 400 VDC
- Tension typique pour installations jusque 100 kW : 400 à 700 V_{DC}



$P_N = 245 \text{ W}_c$
(STC)
 $U_N = 29 \text{ V}$
 $I_N = 8,45 \text{ A}$
 $U_{co} = 36,7 \text{ V}$
 $I_{cc} = 8,98 \text{ A}$

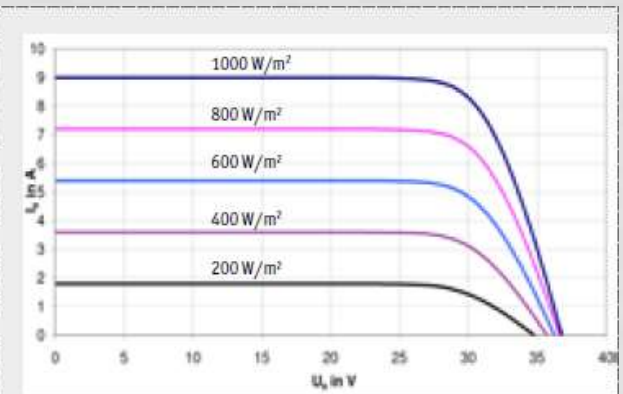
Panneau solarwatt de 60 cellules monocristallines
Modèle M250-60 GET AK black

Dimension d'une cellule : 156 x 156 mm
Dimension du panneau : 1680 x 990 mm
Masse du panneau : 24 kg

COURBES CARACT.

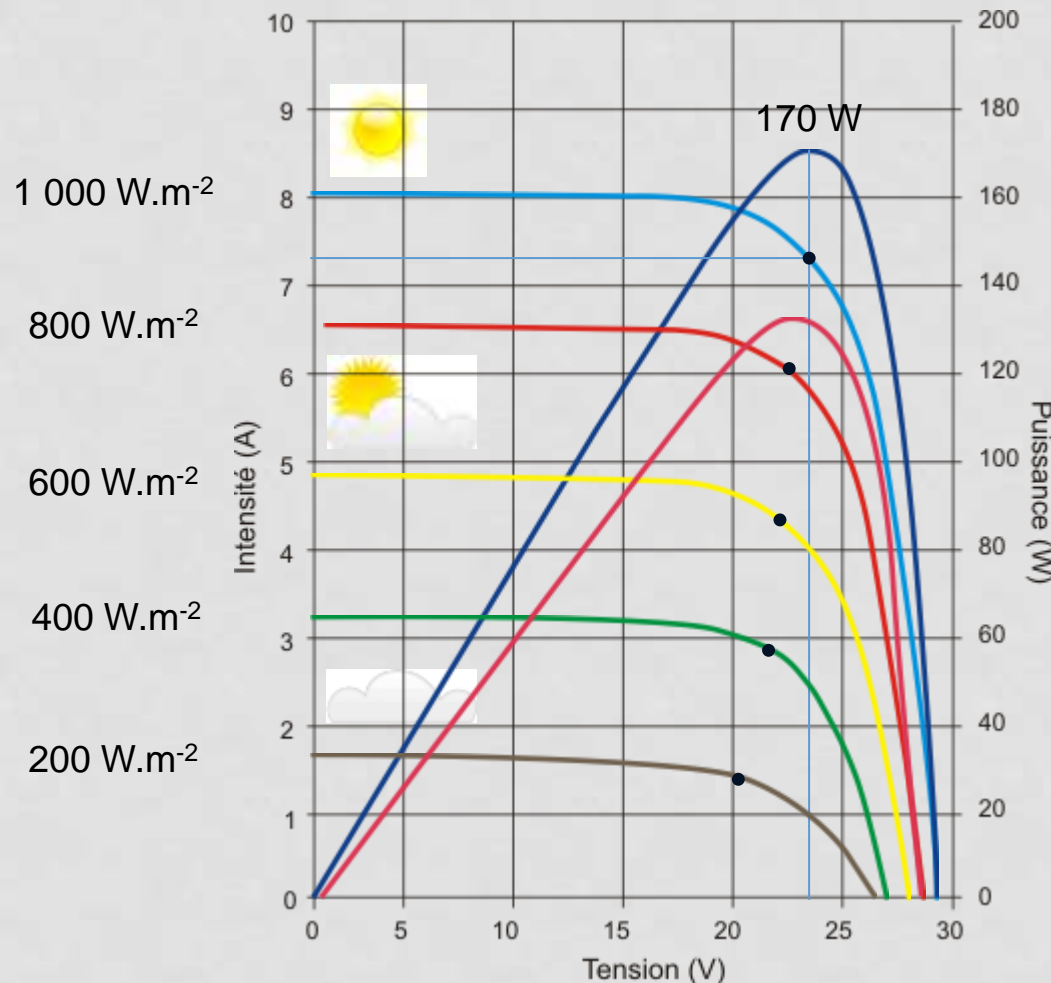
Courbes caract.
courant/tension
pour différents
rayonnements

Classe de puissance 245 Wp



IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES



$I_r = 1\,000\text{ W.m}^{-2} :$



$$P_{\text{mpp}} = V_{\text{mpp}} \times I_{\text{mpp}} = 23,6 \times 7,2 = 170\text{ W}$$

$I_r = 600\text{ W.m}^{-2} :$



$$P_{\text{mpp}} = 95\text{ W}$$

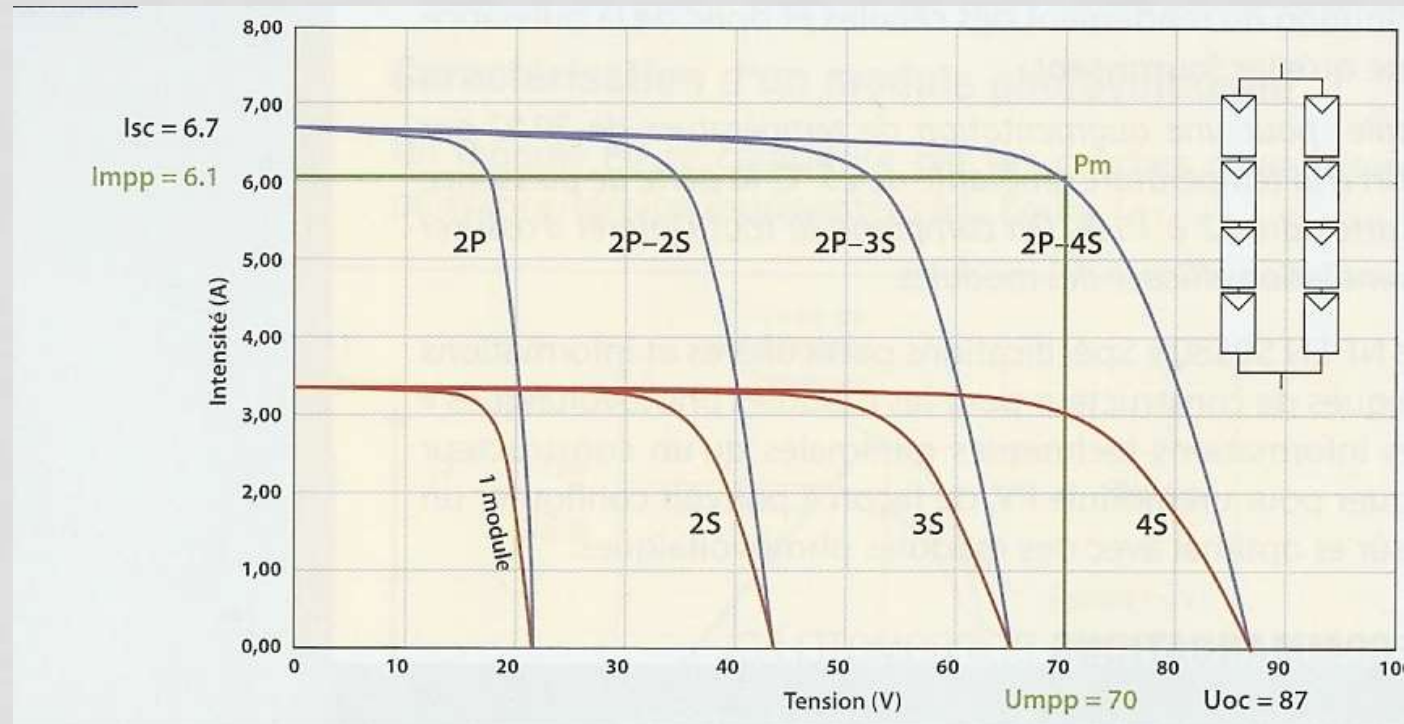
$I_r = 200\text{ W.m}^{-2} :$



$$P_{\text{mpp}} = 30\text{ W}$$

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES



- U_{oc} : tension en circuit ouvert
- I_{sc} : courant de court-circuit
- I_{mpp} : courant au point de puissance maximale
- U_{mpp} : tension au point de puissance maximale

Association en série, parallèle et série-parallèle de modules identiques

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

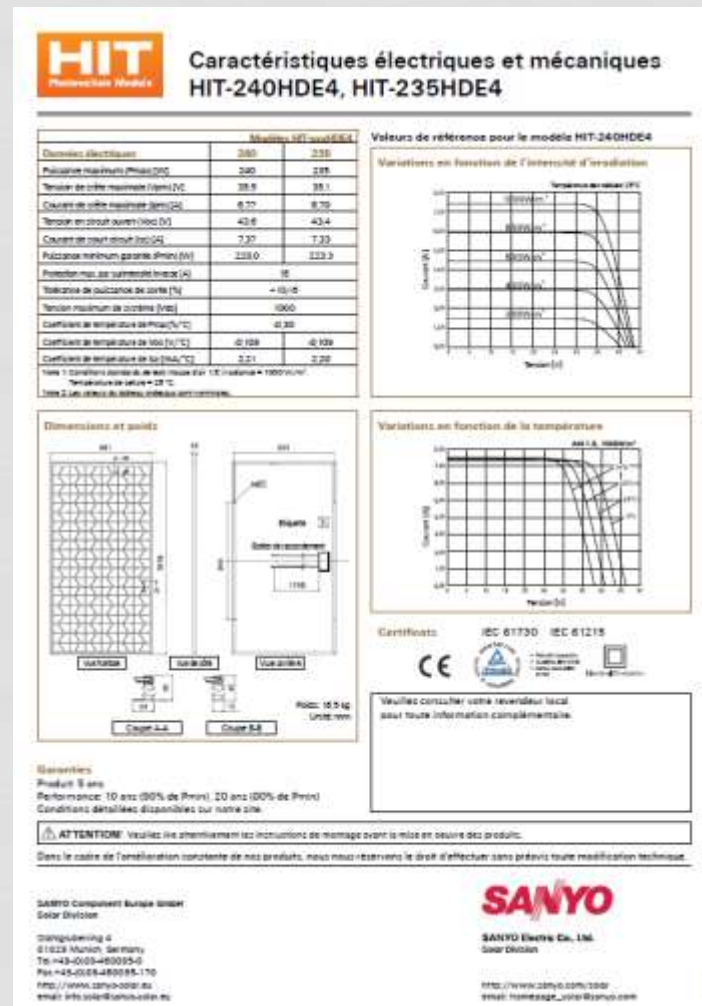
3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Données
électriques

Données
mécaniques

Garanties

Courbes
caractéristiques



Fiche technique d'un panneau SANYO

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Modèles HIT-xxxHDE4

Données électriques	240	235
Puissance maximum (Pmax) [W]	240	235
Tension de crête maximale (Vpm) [V]	35,5	35,1
Courant de crête maximale (Ipm) [A]	6,77	6,70
Tension en circuit ouvert (Voc) [V]	43,6	43,4
Courant de court circuit (Isc) [A]	7,37	7,33
Puissance minimum garantie (Pmin) [W]	228,0	223,3
Protection max. par surintensité inverse [A]	15	
Tolérance de puissance de sortie [%]	+10/-5	
Tension maximum de système [Vdc]	1000	
Coefficient de température de Pmax [%/°C]	-0,30	
Coefficient de température de Voc [V/°C]	-0,109	-0,109
Coefficient de température de Isc [mA/°C]	2,21	2,20

Note 1: Conditions standards de test: masse d'air 1,5; irradiance = 1000 W/m²,
Température de cellule = 25 °C.

Note 2: Les valeurs du tableau ci-dessus sont nominales.

Détail des données électriques



Garanties

Produit: 5 ans

Performance: 10 ans (90% de Pmin), 20 ans (80% de Pmin)

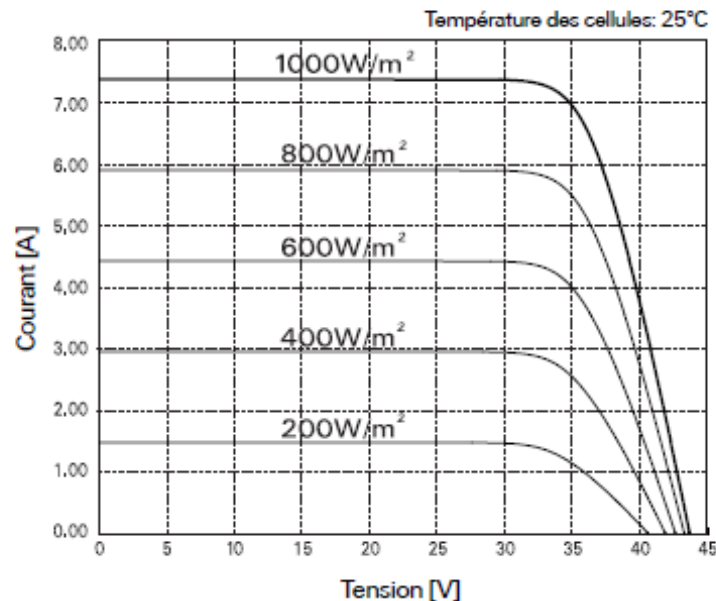
Conditions détaillées disponibles sur notre site.

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Valeurs de référence pour le modèle HIT-240HDE4

Variations en fonction de l'intensité d'irradiation

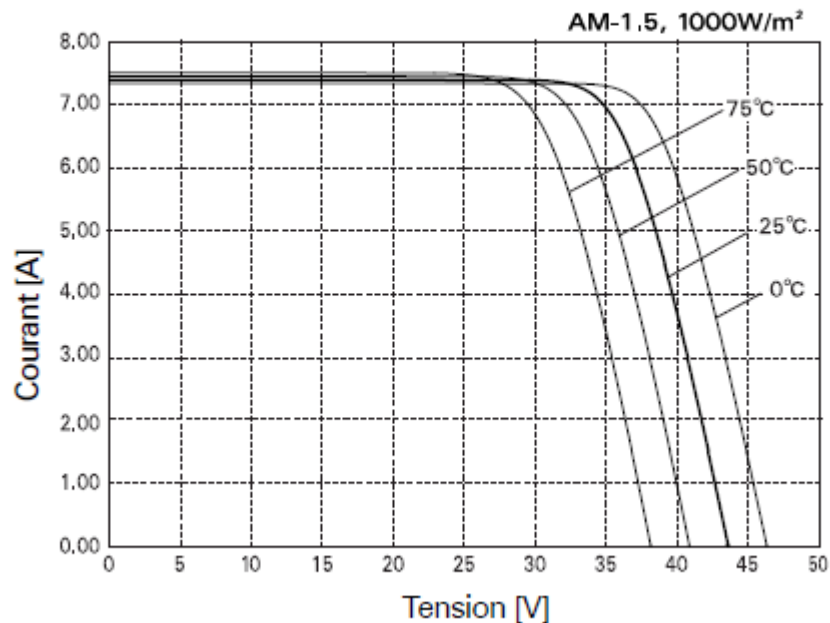


Données électriques	240
Puissance maximum (Pmax) [W]	240
Tension de crête maximale (Vpm) [V]	35,5
Courant de crête maximale (Ipm) [A]	6,77
Tension en circuit ouvert (Voc) [V]	43,6
Courant de court circuit (Isc) [A]	7,37

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Variations en fonction de la température



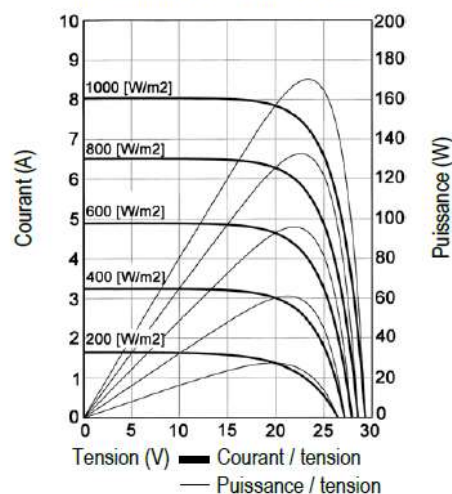
La température influe fortement sur la tension mais peu sur l'intensité

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

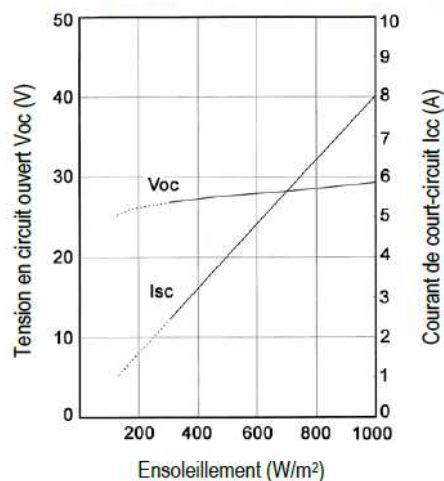
3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

CARACTERISTIQUES

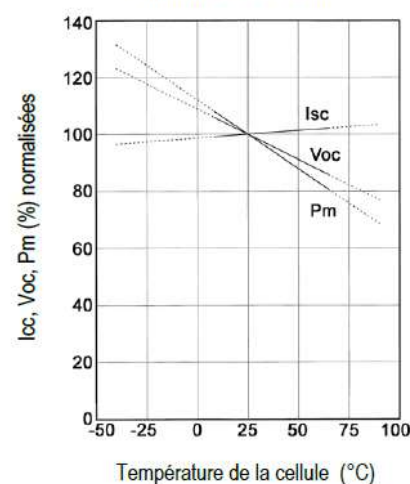
Courant, puissance en fonction de la tension
(température de la cellule : 25°C)



Tension en circuit ouvert et courant de court-circuit en fonction
de l'ensoleillement (température de la cellule : 25°C)



Icc, Voc, Pm normalisées en fonction de la
température de la cellule



Augmentation de 30°C / température STC = diminution de puissance de 10 à 15 %

Paramètre important : le « NOCT » (Nominal Operating Cell Temperature) ou TUC (Température d'Utilisation de la Cellule) : température atteinte en circuit ouvert sous 800 W/m², 25°C ambiant et vent 1 m/s (40 à 50°C).

Le mieux est d'avoir un NOCT le plus faible possible

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

3. CARACTÉRISTIQUES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

En résumé, un module se caractérise par :

- Sa tension, son intensité et sa puissance crête dans les conditions STC
- Son rendement (dépendant de la technologie)
- Sa surface
- Son NOCT

IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

4. CARACTÉRISTIQUES DES ONDULEURS

Rôles de l'onduleur

- Adapte la tension de sortie des panneaux aux récepteurs (ou au réseau)
- Protège l'installation
- Optimise le rendement

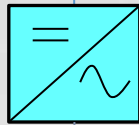
Types d'onduleurs

- Onduleurs 12 V_{DC} / 230 V_{AC} : ~ 200 €
- Onduleurs pour installations connectées au réseau :
100-600 V_{DC} / 230 V_{AC} (1 000 à 2 000 € selon la puissance)

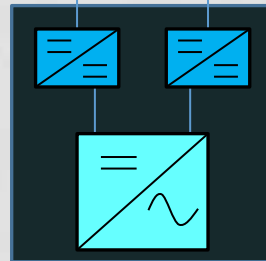
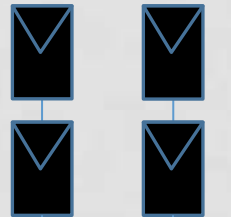
IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

4. CARACTÉRISTIQUES DES ONDULEURS

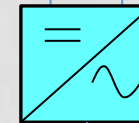
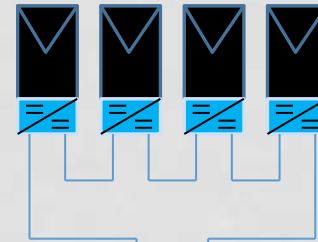
Onduleurs centraux 3 j
($P > 10$ kW)



Onduleurs string
ou multi-string
($P < 10$ kW)

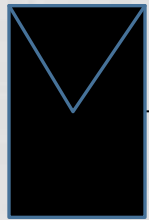


Onduleurs
intégrés aux
panneaux

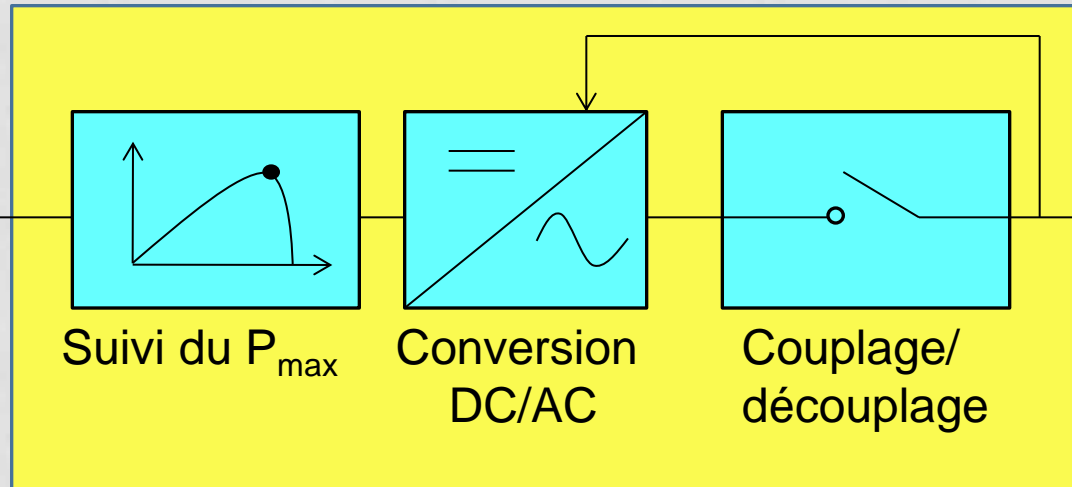


IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

4. CARACTÉRISTIQUES DES ONDULEURS



Ensemble de
panneaux



Norme VDE 0126-1-1 : découplage $< 0,2$ s en cas de problème sur le réseau

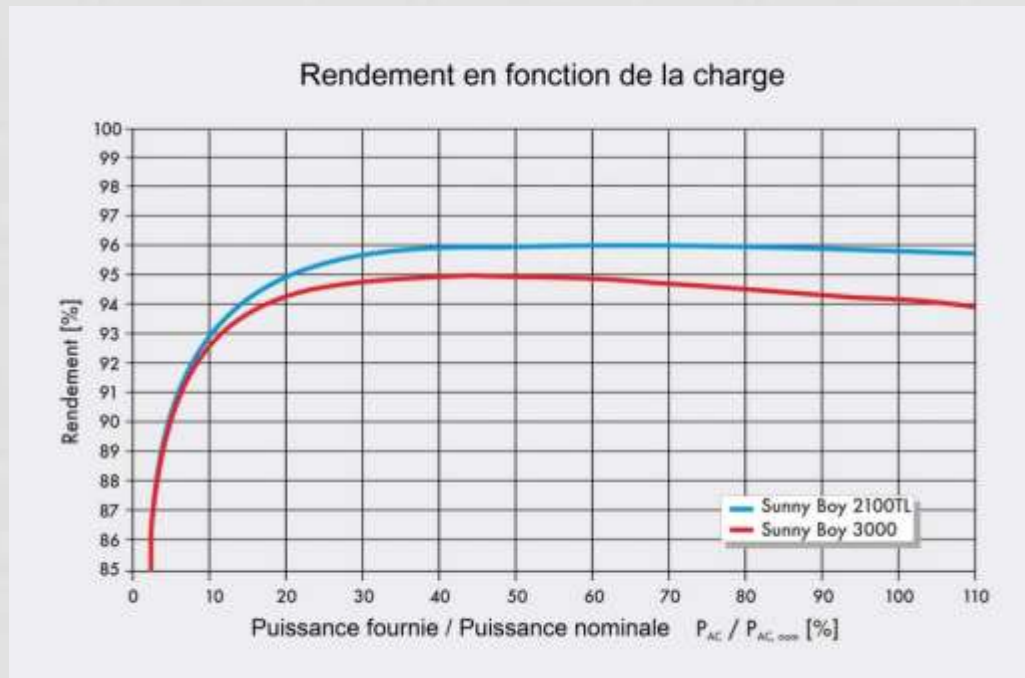
- défaut d'isolement
- courant de fuite
- tension différente du réseau



IV. CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION

4. CARACTÉRISTIQUES DES ONDULEURS

Rendement d'un onduleur :



Contrairement à une idée reçue, le rendement d'un onduleur n'est pas maximal pour 100% de sa puissance nominale.

Généralement, on sous dimensionne l'onduleur / puissance du champ
($\sim 0,9 \times P_{\text{génPV}}$)

ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

V. ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

Quelles données ?

- Lieu d'implantation
- Irradiation solaire I_r du lieu ($\text{kWh.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$)
- Orientation
- Inclinaison
- Type de pose

V. ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

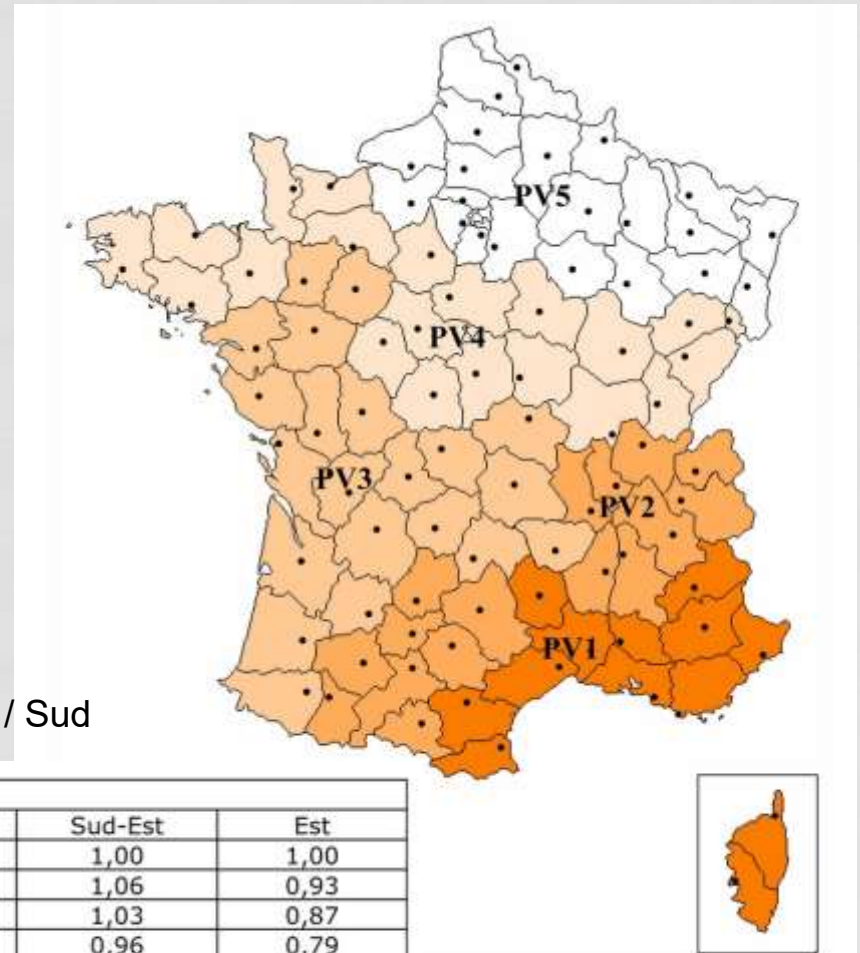
Estimation de la production d'une installation de puissance P

- Appliquer un facteur de correction F_c selon l'angle d'inclinaison et l'orientation
- Energie incidente annuelle $E_{inc} = I_r \times F_c$
- Appliquer un facteur de correction R_p dépendant du type de pose (aération)
 - $R_p = 0,75$ en intégré (mauvaise ventilation = hausse de température)
 - $R_p = 0,8$ en surimposé
 - $R_p = 0,85$ pour pose au sol ou toitures-terrasses (très bonne ventilation)
- Prendre en compte le rendement η de l'onduleur
- Energie annuelle produite (estimée) par le champ de puissance P :

$$E_{prod} \text{ (kWh/an)} = E_{inc} \text{ (kWh/m}^2\text{/an)} \times P_c \text{ (kW)} \times R_p \times \eta$$

V. ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

Zone	Régions associées	Départements	Energie solaire sur plan horizontal [kWh/m²/an]
PV1	PACA, Languedoc Roussillon	04-05-06-13-83-84 11-30-34-48-66	1500
PV2	Rhône Alpes, Midi Pyrénées	01-07-26-38-42-69-73-74 09-12-31-32-46-65-81-82	1350
PV3	Pays de la Loire, Poitou Charente, Aquitaine, Limousin, Auvergne	44-49-53-72-85 16-17-79-86 24-33-40-47-64 19-23-87 03-15-43-63	1250
PV4	Bretagne, Basse Normandie, Centre, Bourgogne, Franche Comté	22-29-35-56-14-50-61 18-28-36-37-41-45 21-58-71-89-25-39-70-90	1150
PV5	Nord Pas de Calais, Haute Normandie, Picardie, Ile de France, Champagne Ardenne, Lorraine, Alsace	59-62-27-76 02-60-80 77-78-91-95+Paris 08-10-51-52 54-55-57-88-67-68	1050

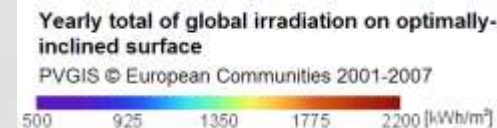
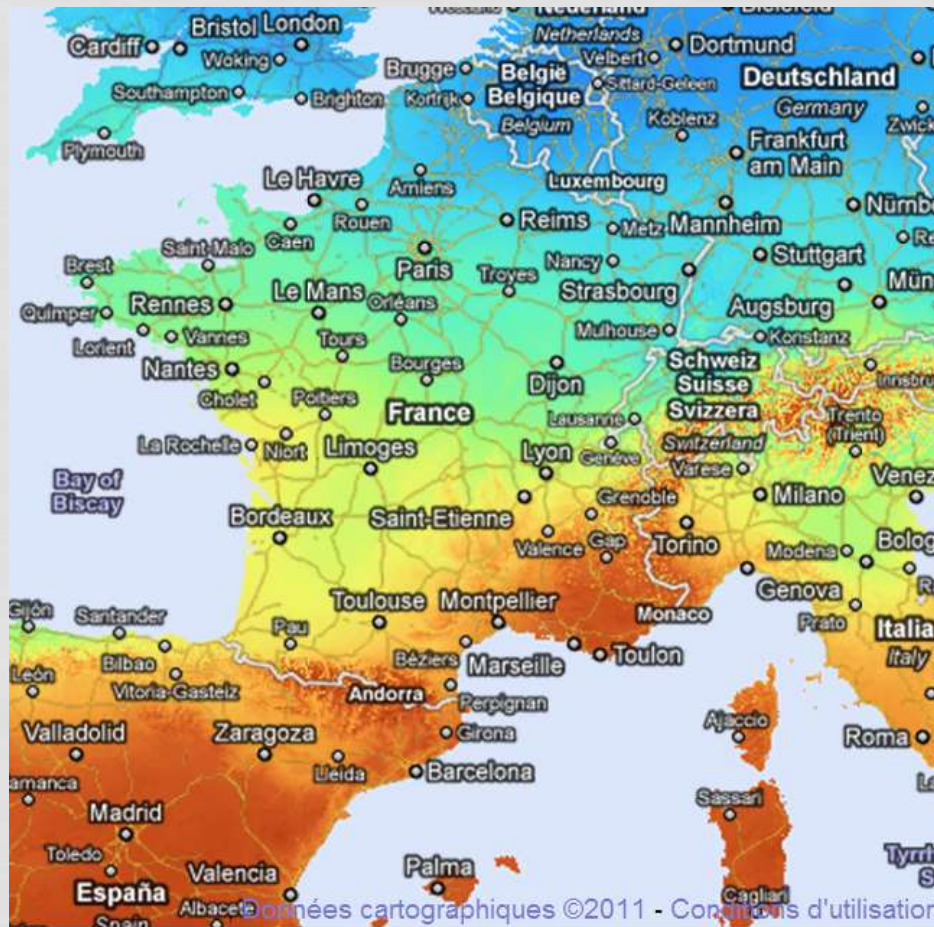


Facteurs de correction sur l'énergie reçue / l'horizontale et / Sud

FT – Zone PV4		Orientation				
Inclinaison		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,11	1,06	0,93
	45°	0,87	1,03	1,09	1,03	0,87
	60°	0,79	0,96	1,02	0,96	0,79
	90°	0,60	0,72	0,74	0,72	0,60

V. ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

Autre source : PVGIS



Dunkerque : 1 150 kWh/m²/an dans le plan des panneaux inclinés selon l'angle optimal

V. ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

Exemple de calcul

- Installation comprenant 12 panneaux CNPV de 230 W_c
- Onduleur de rendement $\eta=0,95$
- Orientation sud-est à 30° dans le nord de la France ($I_r = 1\,050 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$, $F_c = 1,06$)
- Type de pose : intégration en toiture ($R_p = 0,7$)
- Calcul de l'énergie produite (sortie onduleur) :
 $E_{prod}(\text{Wh/an}) = 1\,050 \times 1,06 \times (12 \times 230) \times 0,75 \times 0,95$
 $E_{prod}(\text{Wh/an}) = 2\,190 \text{ kWh/an} = 2,2 \text{ MWh}$

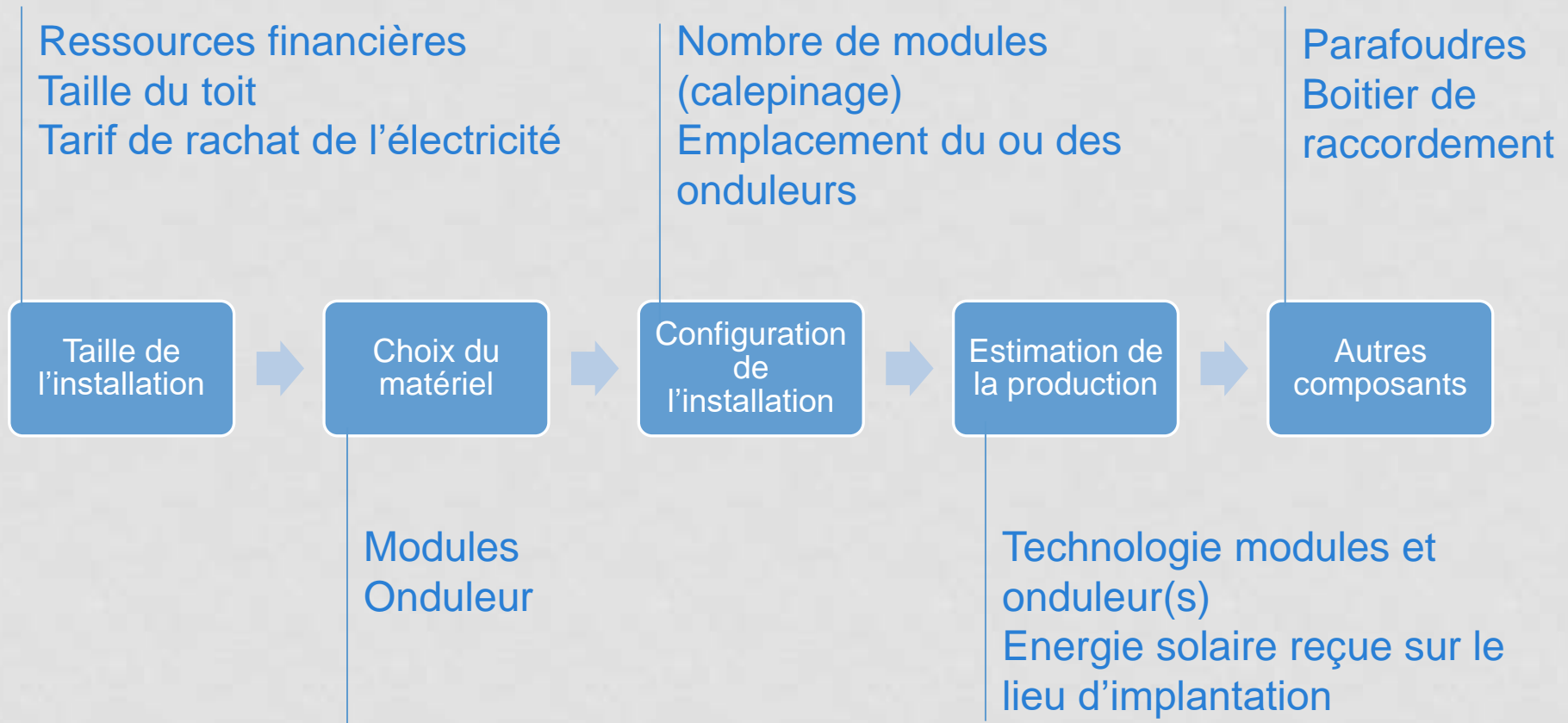
CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

Les éléments importants

- Le toit : quelle taille, quelle orientation, quelle inclinaison ?
- Les exigences architecturales du propriétaire
- La présence ou non d'obstacles
- La capacité financière du propriétaire

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION



VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

PRISE EN COMPTE DES MASQUES

Eviter tout type d'ombrage (ou « masque »)

- A toute heure de la journée
- Aux différentes saisons

Pourquoi ?

- Si un seul panneau dans une série est ombragé, même partiellement, c'est la production de la série tout entière qui est diminuée

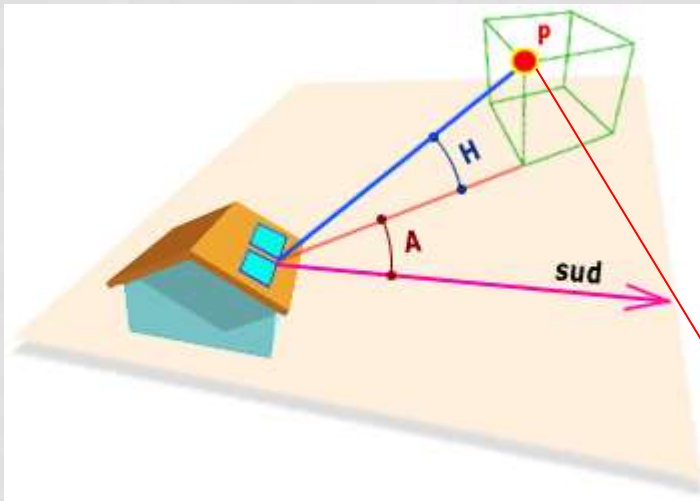
Masques les plus courants

- Montagnes
- Cheminées
- Poteaux électriques
- Arbres

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

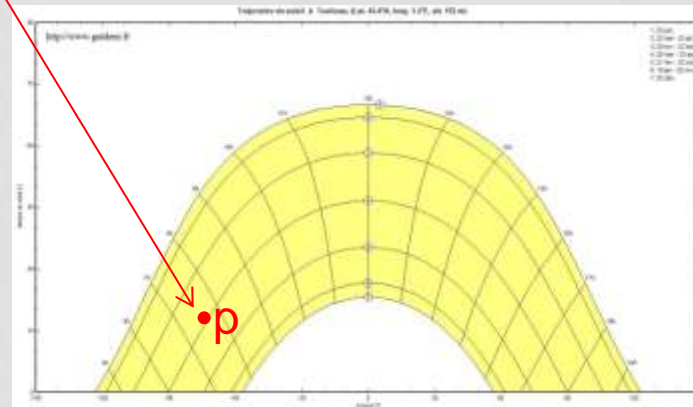
PRISE EN COMPTE DES MASQUES

Carte des masques réalisée à l'aide d'un clinomètre



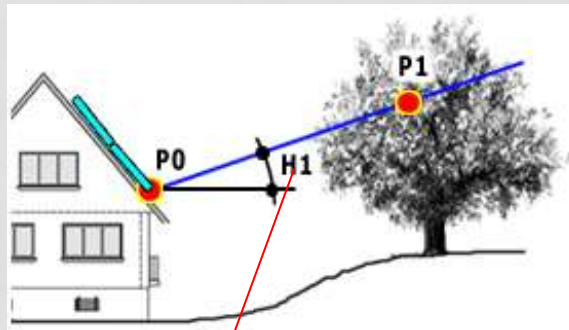
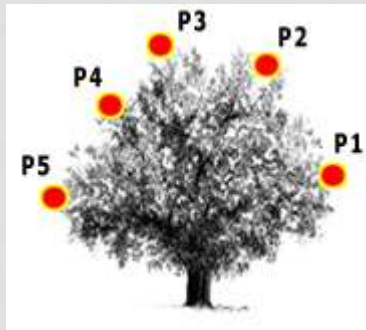
Point P0 : altitude 0

A (azimut)
H (hauteur angulaire)

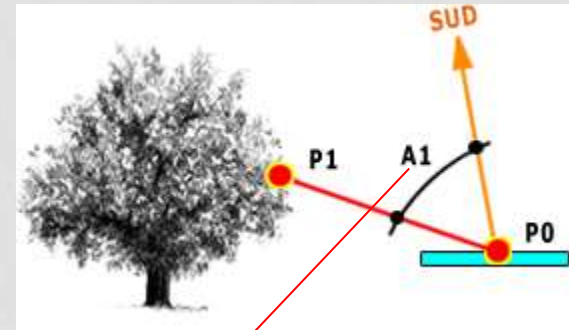


VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

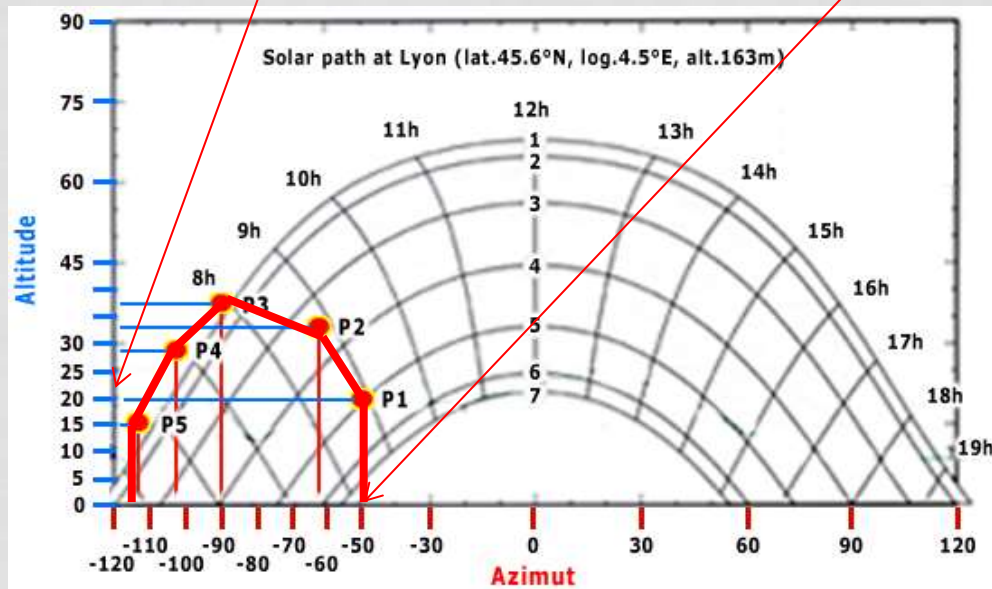
PRISE EN COMPTE DES MASQUES



Hauteur en ordonnée

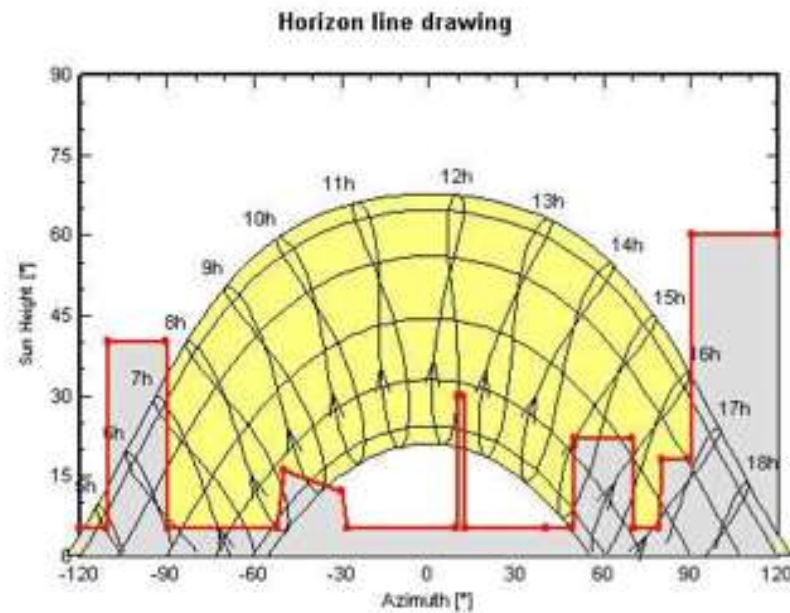


Azimut en abscisse



VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

PRISE EN COMPTE DES MASQUES



Exemple de masque en zone urbaine

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

PRISE EN COMPTE DES MASQUES



Ombrage d'arbre



Ombrage de cheminée



Ombrage de bâtiment

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

INSTALLATION DE 40 KW À GRANDE-SYNTHE (SOLARES)



VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

INSTALLATION DE 40 KW À GRANDE-SYNTHE (SOLARES)

Boite de jonction en amont de l'onduleur



MPPT1 : 33 A max

MPPT2 : 11 A max

fusible

disjoncteur

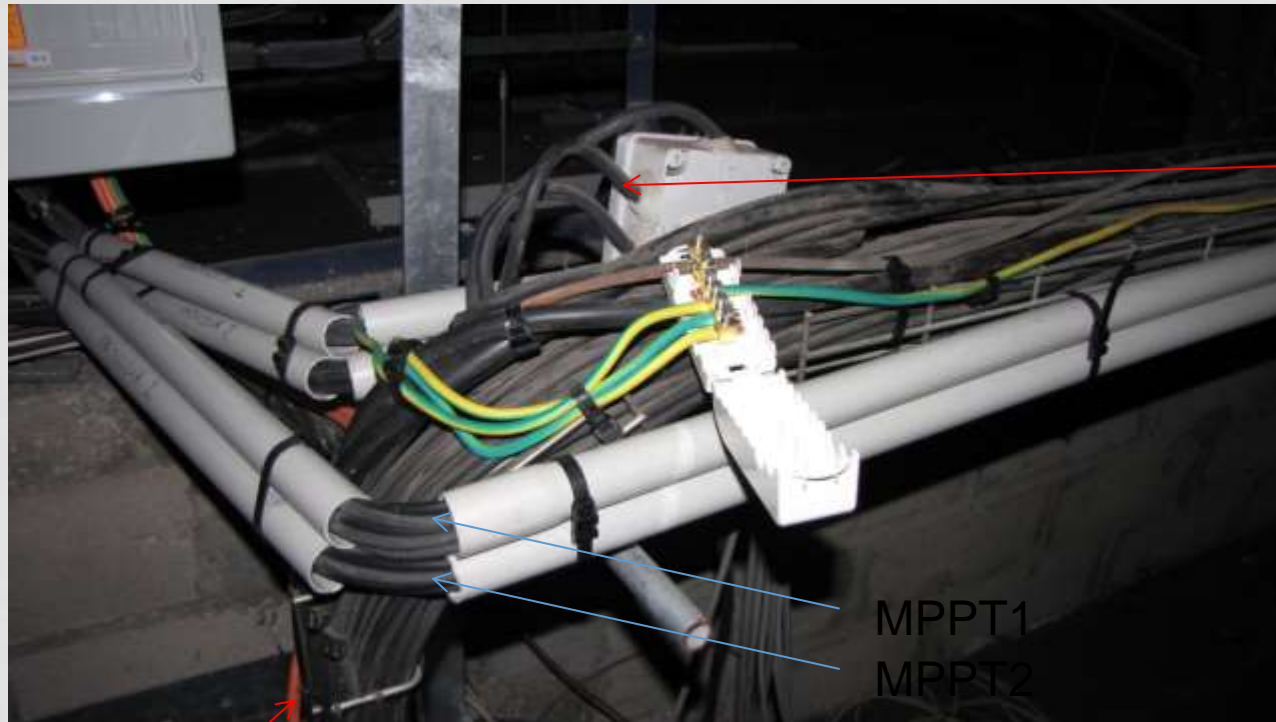
parafoudre

Interrupteur pompiers

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

INSTALLATION DE 40 KW À GRANDE-SYNTHE (SOLARES)

Arrivée des câbles



Vers onduleur

MPPT1
MPPT2

Câble spécifique non propagateur de flamme (pompiers)

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

INSTALLATION DE 40 KW À GRANDE-SYNTHE (SOLARES)

Onduleurs SMA TL17000



onduleurs

Coffret de protection AC

Coffret de protection DC

VI. CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

INSTALLATION DE 40 KW À GRANDE-SYNTHE (SOLARES)

Foudre

- Parafoudres obligatoires dans certaines zones

Pertes d'exploitation

- Défauts de conception
- Défauts de mise en œuvre
- Non fonctionnement de composants
- Baisse de performance électrique des modules

Défauts de conception

- Défauts de dimensionnement
- Ombrages
- Mauvaise connexion de câbles, de parafoudres

LA MAINTENANCE*

Périodicité

- Une fois par an
- De préférence juste avant les beaux jours

Vérifications et mesures préconisées

- Bon fonctionnement de l'onduleur (affichage, historique)
- Bon fonctionnement des équipements de sécurité
- Contrôle visuel du générateur (encrassement, châssis) et des câbles apparents
- Elagage de nouvelles branches d'arbre ou tonte de gazon (pour les installations au sol)

* : d'après « le photovoltaïque pour tous », ed. Le moniteur

VERS L'AUTOCONSOMMATION ?

Intéressant si :

- La parité réseau est atteinte (prix du kWh photovoltaïque < prix du kWh réseau)
ET
- Courbe de charge de consommation correspond à celle de la production solaire

L'autoconsommation chez le particulier aujourd'hui*

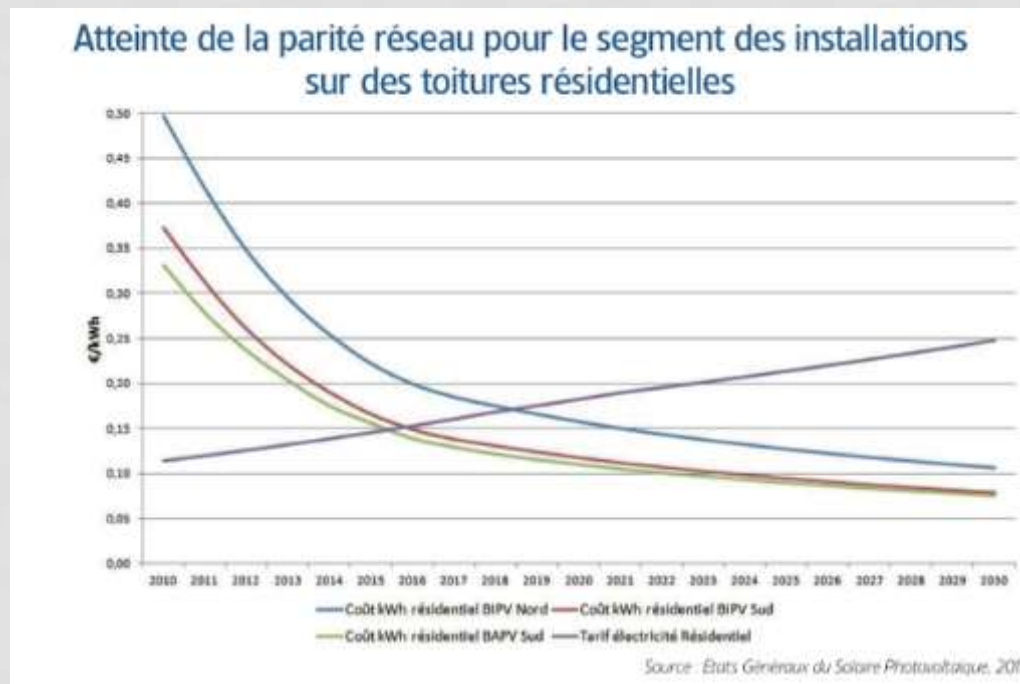
- Sans disposition particulière, seule 20% de la production est autoconsommée
- Avec la domotique, on peut espérer atteindre 40% (sans système de stockage)

* Source : le journal du photovoltaïque, nov. 2013, hors série n°10

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

AUTOCONSOMMATION

- Vers la parité réseau en France



En Allemagne (parité réseau atteinte): en moyenne, 20% de la production est autoconsommée. Peut parfois monter à 40%

LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

AUTOCONSOMMATION

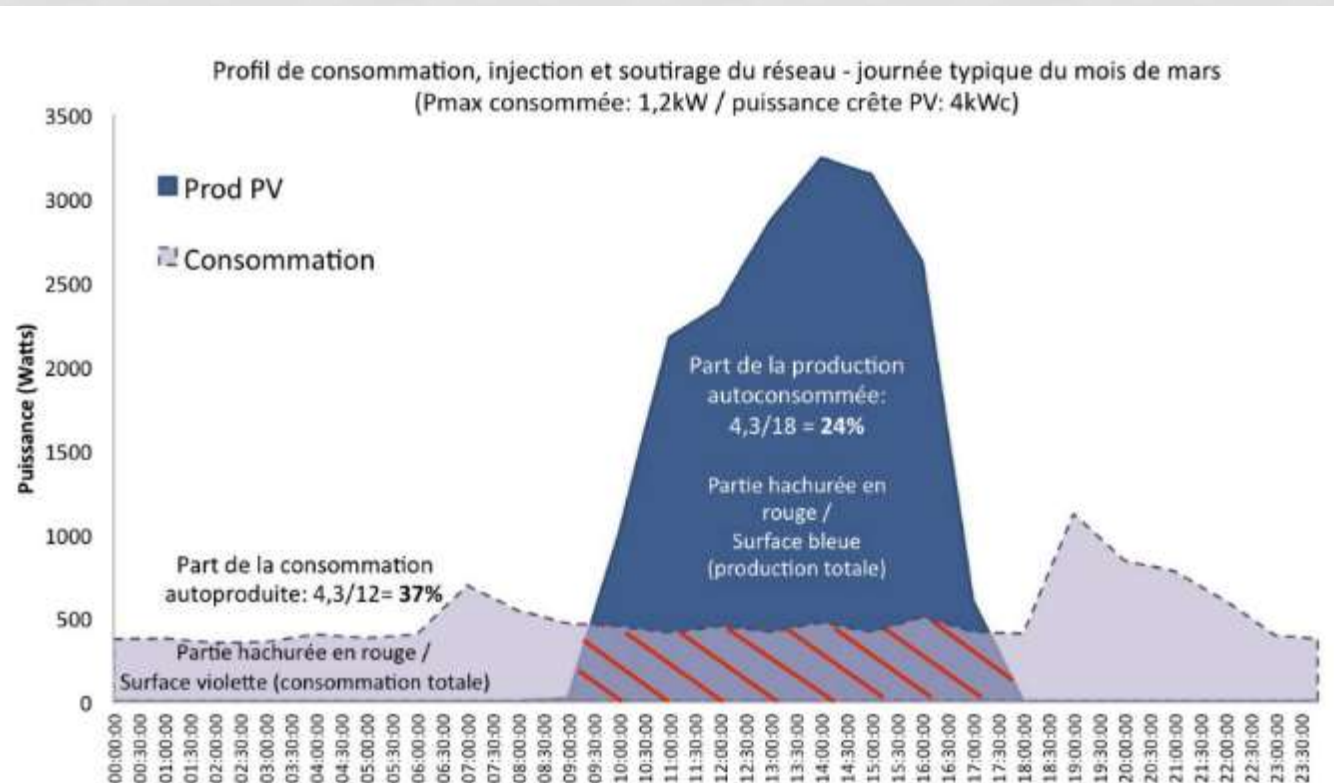


Figure 3: Distinction entre autoconsommation (part de la production totale qui est consommée sur place) et autoproduction (part de la consommation totale qui est fournie par la production sur place). Source : Hespul.

**FIN DU COURS
DES QUESTIONS ?**