

Dimension

Production



Sommaire

1 / Sur Quelles base dimensionner

- 1.1 / La consommation d'énergie électrique
- 1.2 / Surface utile
- 1.3 / Budget

2 / Production des panneaux photovoltaïques

- 2.1 / Production de référence

- 2.2 / Surface de référence

3 / Ensoleillement en France

4 / Les coefficients

5 / Energie incidente

6 / Masque

- 6.1 / Facteur d'ombrage

- 6.2 / Le clinomètre

- 6.3 / Principe de la mesure du masque

7 / Influence de la structure de l'installation

8 / Production annuelle

9 / Canalisations électriques

10 / Logiciels de dimensionnement

- 10.1 / Logiciels gratuits

- 10.1 / PVSYST

- 10.1 / Nouveaux logiciels

11 / Projets

- 10.1 / Offre de base

- 10.2 / Exemple de projet

Annexes

1/ SUR QUELLE BASE DIMENSIONNER

Lorsqu'il s'agit d'une installation connectée au réseau, le dimensionnement peut se faire de différentes façons. Les critères les plus utilisés sont :

1.1/ Consommation d'énergie

La réduction de la consommation d'énergie électrique peut être le « critère vert » (et/ou économique) peut motiver un producteur d'énergie photovoltaïque. A ce titre, le choix de produit peu coûteux peut être financièrement intéressant, mais peut aller à l'encontre de l'objectif de départ :

- Matériel peu cher (bas de gamme)
- Lieu de production (livraison distante = augmentation de CO₂)

1.2/ la surface disponible

Une toiture bien orientée ou non permet de produire quelle quantité d'énergie ?

La plus grande surface d'une toiture est-elle forcément la plus productrice d'énergie qu'une plus petite ? Un propriétaire peut louer sa toiture pour une exploitation par un tiers, et l'étude du potentiel d'une toiture en énergie photovoltaïque peut être un critère de décision (*les aides financières quand elles existent permettent de réduire le retour sur investissement*).

1.3/ le budget

Avec un budget limité ou sans problème de budget qu'est-ce qui peut être proposé pour rentabiliser au maximum un investissement ?

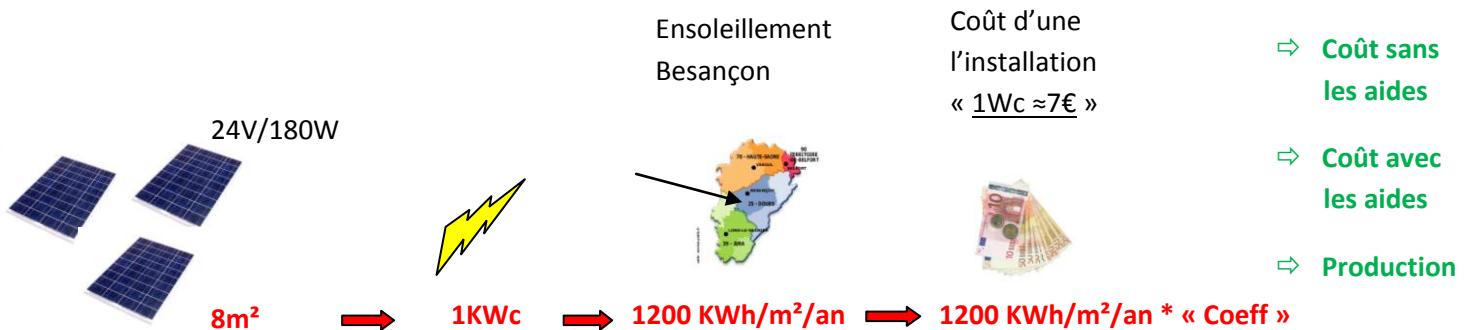
La puissance maximale à installer est intéressante financièrement jusqu'à **3KwC**, mais le budget pour financer cette puissance n'est pas forcément disponible ! Le choix d'une puissance inférieure ne remet pas en cause une modification ultérieure de l'installation. Donc le choix de l'implantation à retenir ne doit pas pénaliser une extension possible ou un complément d'installation de solaire thermique.

L'objectif, combien de kWc va-t-on pouvoir installer en fonction de ce critère de départ, avec combien de modules et quelle puissance d'onduleur...

2/ Production des panneaux photovoltaïques

2.1 / Production de référence

Quels sont les chiffres valables à *Besançon* pour dimensionner un Centrale photovoltaïque intégrée à la toiture (panneaux multicristallins):



ECLAIREMENT DE RÉFÉRENCE DE QUELQUES VILLES :

| VILLE | Lille | Paris | Bordeaux | Marseille | |
|----------------------|-------|-------|----------|-----------|--|
| ECLAIREMENT (Kwh/an) | | | | | |

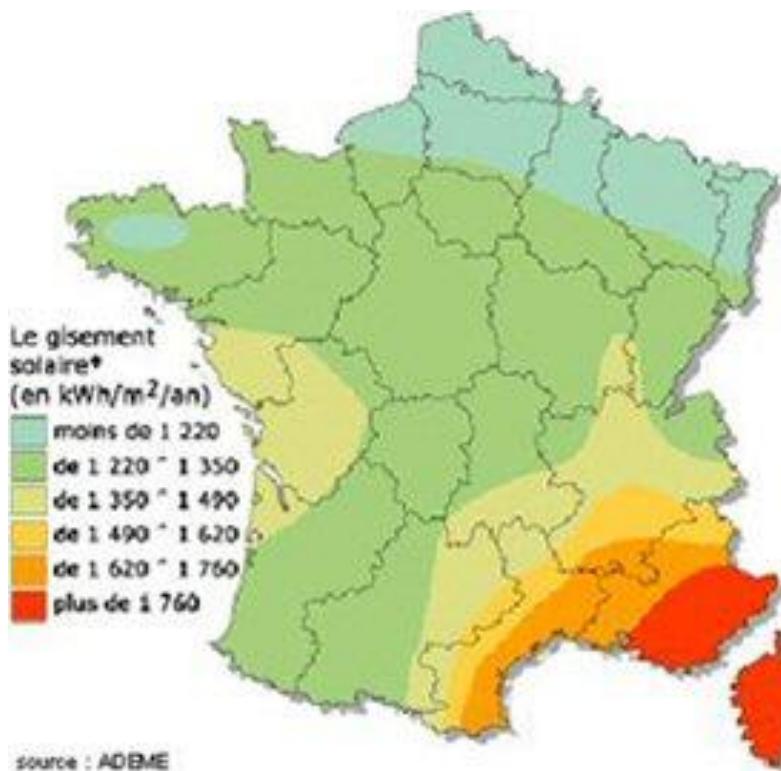
2.2 / Surface disponible en toiture

Si on dispose d'une « surface utile » limitée, on peut calculer le potentiel photovoltaïque de cette surface en reprenant les mêmes données que précédemment.

Exemple (« estimation rapide »):

Je dispose d'une surface de 25 m² orientée à l'est avec une pente de 30°. La production annuelle d'électricité d'1 KwC dans cette combinaison orientation-inclinaison est de 1200 * 0,8 (facteur de correction) soit 960 kWh. Cela signifie que le système d'1 KwC qui correspond à une surface de 8 m² produira 960 kWh par an. Si ma surface disponible est limitée à 25 m², le potentiel photovoltaïque de mon installation est donc de 25/8 soit 3,125 KwC et correspond environ à une production d'électricité de 3,125*960, soit 3000 kWh par an.

3 / Eclairement de référence



L'éclairement de référence est la quantité d'ensoleillement sur laquelle on peut compter pour faire produire les panneaux solaires au lieu de production.

L'éclairement est déterminé en
KWh/m²/an

4 / Les coefficients

4.1 / Facteur de correction / facteur de transposition

Un mauvaise inclinaison = un mauvais rendement !

Alternative : les système mobiles (ou suiveur solaire)



Pour les installation fixes (intégration toiture), on calcule le facteur de transposition qui permet de tenir compte de l'orientation par rapport à l'équateur où l'ensoleillement est optimal et à l'inclinaison de la toiture.

a/ L'orientation par rapport à l'équateur (azimut) : En France, direction sud optimale

Géoportail : à Besançon => 47'

(<http://www.geoportail.fr/visu2D.do?ter=metropole>)

PHOTOVOLTAÏQUE – Centrale Raccordée au réseau

Cours CR2 : Dimensionnement

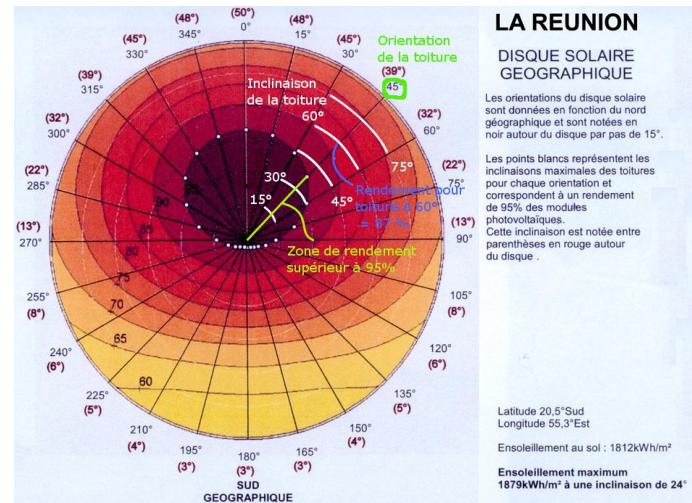
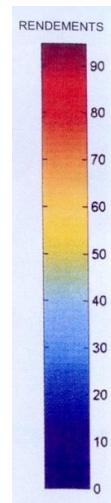
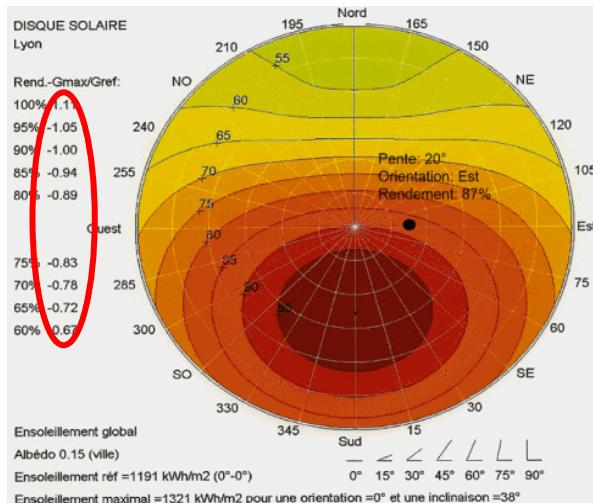
Le 04.12.09

b/ Facteur de correction (en %)

| | | inclinaison par rapport à l'horizontale (°) | | | | | | |
|-------------|-----------|---|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
| | | 0 | 15 | 25 | 35 | 50 | 70 | 90 |
| orientation | est | 88% | 87% | 85% | 83% | 77% | 65% | 50% |
| | sud-est | 88% | 93% | 95% | 95% | 92% | 81% | 64% |
| | sud | 88% | 96% | 99% | max 100% | 98% | 87% | 68% |
| | sud-ouest | 88% | 93% | 95% | 95% | 92% | 81% | 64% |
| | ouest | 88% | 87% | 85% | 82% | 76% | 65% | 50% |
| | nord | 88% | 87% | 85% | 82% | 76% | 65% | 50% |

Suivant l'inclinaison et l'orientation de la toiture, les panneaux photovoltaïque ne vont pouvoir convertir qu'une partie de l'énergie solaire (voir éclairement de référence).

c/ Facteur de transposition (à partir du disque solaire)



Utilisation du disque :

- Quelle est l'orientation de la toiture ?
- Quelle est l'inclinaison correspondante ?
- Quelle est la couleur du rendement estimé ?
- Quelle est la valeur de ce rendement (en %) ?
- Le facteur de transposition => (Gmax/Gref)

5/ Energie incidente

C'est l'énergie solaire réellement exploitée par la centrale compte tenu de l'ensoleillement du lieu de production et du facteur de transposition (inclinaison et orientation de la toiture).

Energie incidente = Eclairement annuel * facteur de transposition

6/ Masque

6.1 / Facteur d'ombrage

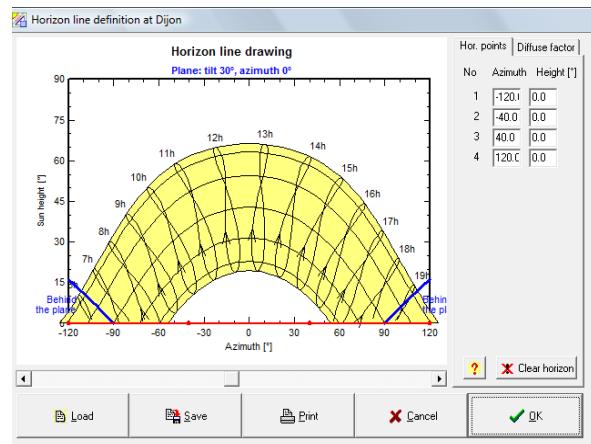
- Pour une estimation rapide, ce facteur peut être réduit à deux valeurs :

Pas d'ombres (arbres, bâtiments, montagnes...)

=> $Fo=1$

Avec d'ombrage

=> $Fo=0,8$



Pour une estimation plus précise, une « cartographie » de l'ombre que risquent d'avoir les panneaux est à déterminer à l'aide du clinomètre. Le calcul assisté intègre les zones de non-éclairement pour chaque heure de la journée.

6.2 / Le « clinomètre »

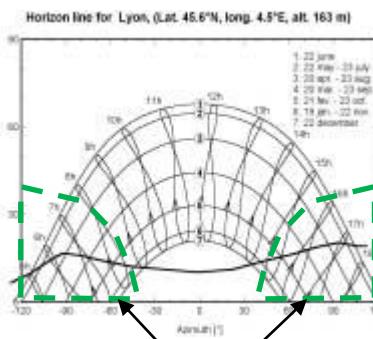
Définition de la ligne d'horizon ([simulation pvsyst](#)) Voir les guides pratiques : [relevé de masques/...](#) ([Hespul](#))



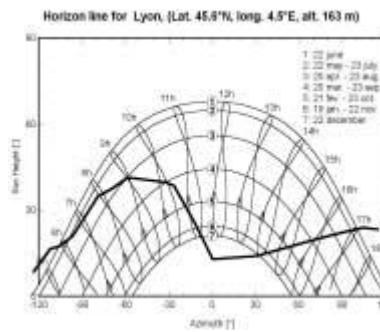
Le clinomètre est un outil de relevé (2 à 200€... voir [1500€](#)) qui permet d'estimer la hauteur de l'ombre lors du passage du soleil d'est en ouest. Le rayonnement solaire direct est amoindri par un obstacle, comme un conduit de cheminée, un arbre, ou une antenne. L'ombre projetée engendre une perte de rendement du système photovoltaïque.

6.3 / Le principe de la mesure du masque

- Le relevé est effectué au point le plus défavorable de l'installation (par exemple à l'emplacement des panneaux situé en bas)
- La hauteur du sommet et la largeur de chaque obstacle à la lumière du soleil est mesurée et reporté dans l'abaque.
- Les obstacles en début et en fin de journée peuvent être négligés du fait de la faiblesse de l'ensoleillement à ces périodes de la journée.



Zone où les ombrages sont négligeables



Exemple de détermination de zone

7 / Influence de la structure de l'installation

| Type Intégration Technologie cellules | Rendement Modules | Modules non ventilés (intégration au bâti sans précaution particulière) | Modules ventilés (surimposition par exemple) | Modules très ventilés (ventilation forcée) |
|---|----------------------|--|---|---|
| Ratio de Performance PR | | $P_R = 0,7$ | $P_R = 0,75$ | $P_R = 0,8$ |
| Silicium monocristallin | 12,5 % | $CS = 0,0875$ | $CS = 0,09375$ | $CS = 0,100$ |
| Silicium multicristallin | 11,5 % | $CS = 0,0805$ | $CS = 0,08625$ | $CS = 0,092$ |
| Silicium amorphe ou couches minces | 5 % | $CS = 0,035$ | $CS = 0,0375$ | $CS = 0,040$ |

CS : Coefficient de structure

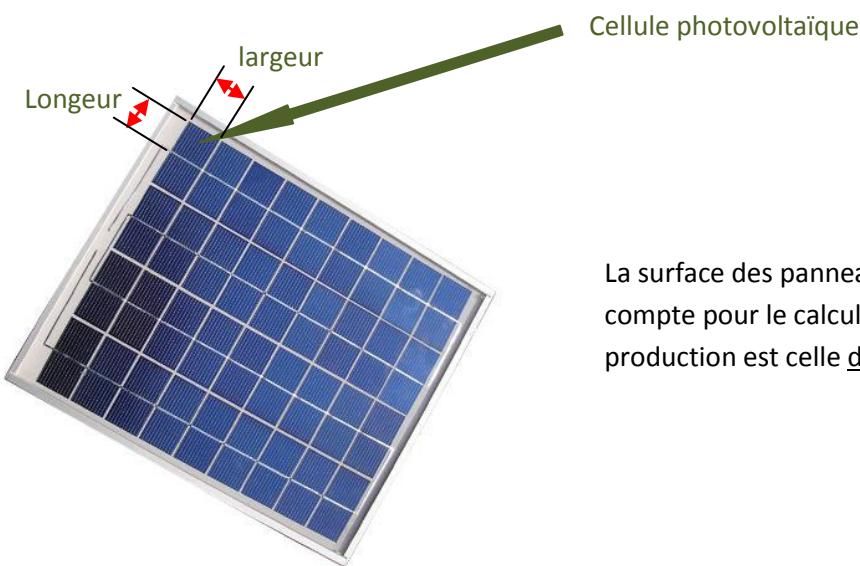
8 / Production annuelle

a / Rendement global

C'est le paramètre d'ajustement pour le calcul de l'énergie produite par une installation photovoltaïque.

$$\eta = F_o(\text{facteur d'ombrage}) * C_s(\text{coefficient de structure})$$

b / Surface utile de conversion d'énergie (panneau solaire)



La surface des panneaux prise en compte pour le calcul de la production est celle des cellules

$$\text{Surface des panneaux} = \text{Nombre de panneaux} * \text{Nombre de cellules} * \text{longeur} * \text{largeur}$$

c / Production

Cette production tient compte de l'énergie incidente, de la surface utile des cellules participants à la conversion de l'énergie solaire et du rendement global.

$$\text{Production annuelle} = \text{Energie incidente} * \text{Surface des panneaux} * \eta$$

9 / Canalisation électrique

Choix des longueurs et sections de CONDUCTEURS et CÂBLES pour la distance toiture-compteur.

Il existe des Abaques pour le choix d'un câble basse tension 220 volts avec un cosj de 1, conducteurs en cuivre. Les longueurs sont exprimées en mètres, avec une chute de tension compatible de 3%.

| Puissance en KW | Intensité en A | Section en mm ² | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 |
| 0,5 | 2,3 | 100 | 165 | 265 | 395 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4,6 | 50 | 84 | 135 | 200 | 335 | 530 | | | | | | | | | |
| 1,5 | 6,8 | 33 | 57 | 90 | 130 | 225 | 355 | 565 | | | | | | | | |
| 2 | 9 | 25 | 43 | 68 | 100 | 170 | 265 | 430 | 595 | | | | | | | |
| 2,5 | 11,5 | 20 | 34 | 54 | 80 | 135 | 210 | 340 | 470 | 630 | | | | | | |
| 3 | 13,5 | 17 | 29 | 45 | 66 | 110 | 180 | 285 | 395 | 520 | | | | | | |
| 3,5 | 16 | 14 | 24 | 39 | 56 | 96 | 155 | 245 | 335 | 450 | | | | | | |
| 4 | 18 | | 21 | 34 | 49 | 84 | 135 | 210 | 295 | 395 | 580 | | | | | |
| 4,5 | 20 | | 19 | 30 | 44 | 75 | 120 | 190 | 260 | 350 | 515 | | | | | |
| 5 | 23 | | | 27 | 39 | 68 | 105 | 170 | 235 | 315 | 460 | 630 | | | | |
| 6 | 27 | | | 23 | 32 | 56 | 90 | 140 | 195 | 260 | 385 | 530 | | | | |
| 7 | 32 | | | | 28 | 48 | 76 | 120 | 170 | 225 | 330 | 460 | 570 | | | |
| 8 | 36 | | | | | 42 | 67 | 105 | 145 | 195 | 290 | 400 | 500 | 620 | | |
| 9 | 41 | | | | | 38 | 60 | 94 | 130 | 175 | 255 | 355 | 440 | 550 | | |
| 10 | 45 | | | | | 34 | 54 | 84 | 120 | 155 | 230 | 320 | 400 | 495 | 615 | |
| 12 | 55 | | | | | | 45 | 70 | 98 | 130 | 190 | 265 | 330 | 410 | 510 | |
| 14 | 64 | | | | | | 38 | 60 | 84 | 110 | 165 | 230 | 285 | 350 | 435 | 560 |
| 16 | 73 | | | | | | | 53 | 74 | 99 | 145 | 200 | 250 | 305 | 380 | 500 |
| 18 | 82 | | | | | | | 47 | 65 | 88 | 125 | 175 | 220 | 270 | 340 | 440 |
| 20 | 91 | | | | | | | | 59 | 79 | 115 | 160 | 200 | 245 | 310 | 400 |
| 25 | 114 | | | | | | | | | 64 | 98 | 130 | 150 | 195 | 245 | 315 |
| 30 | 136 | | | | | | | | | | 77 | 105 | 135 | 165 | 205 | 265 |
| 35 | 159 | | | | | | | | | | | 90 | 115 | 140 | 175 | 225 |
| 40 | 182 | | | | | | | | | | | 80 | 100 | 125 | 155 | 200 |
| 45 | 205 | | | | | | | | | | | | 89 | 110 | 135 | 175 |
| 50 | 227 | | | | | | | | | | | | | 98 | 120 | 160 |
| 60 | 273 | | | | | | | | | | | | | | 100 | 140 |
| 70 | 318 | | | | | | | | | | | | | | | 115 |

Autres outils : [Calculette de volta électrique](#) , [stielec](#) , [énergies-nouvelles-entreprises](#)

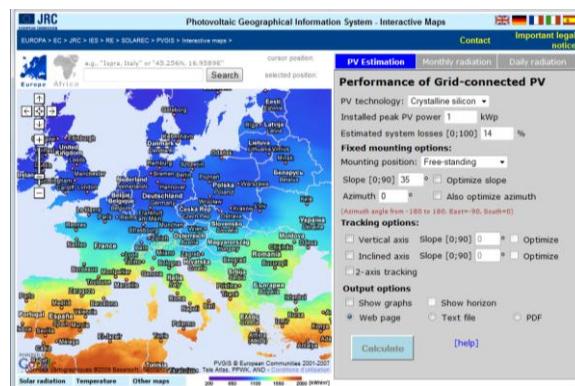
10 / Logiciels de dimensionnement

10.1 / Logiciels gratuits

L'intérêt des logiciels en ligne (gratuit), se familiariser avec les ordres de grandeurs concernant la production à attendre dans une région donnée.

Les logiciels ne tenant pas tous compte des mêmes critères pour un dimensionnement, les estimations obtenues doivent garder leurs caractères consultatifs.

[PVSOL](#) , [CALSOL](#) , [Calculateur1](#) , [PVGIS](#) ...



| | jan | fév | mars | avr | mai | juin | juil | août | sep | oct | nov | déc | année |
|--------------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| IGR (kWh/m²) | 37 | 54 | 107 | 126 | 155 | 163 | 162 | 143 | 116 | 78 | 39 | 32 | 1212 |
| Prix (€/Wh) | 28 | 41 | 81 | 94 | 117 | 122 | 122 | 107 | 87 | 58 | 30 | 24 | 90.9 |

Calculs économiques (par la méthode TEC de B Chabot/ADEME)

| | Productivité électrique annuelle par kiloWatt de puissance crête | kg/kWh.kWc.an |
|---|--|---------------|
| Rendement moyen CGA (kg) | 900.4 | kg/kWh.kWc.an |
| Taux de Retour Brut (TRB) | 500.14 | € par an |
| Prix de revient du kWh photovoltaïque (CGA) | 9.6 | ans(s) |
| Marge sur le prix du vente (MPV) | 0.443 | €/kWh |
| | 19.4 | % |

Annuaire de logiciels de dimensionnement :

- [Institut National de l'énergie solaire](#)
- Logiciels en ligne : [photovolt34.free.fr](#)

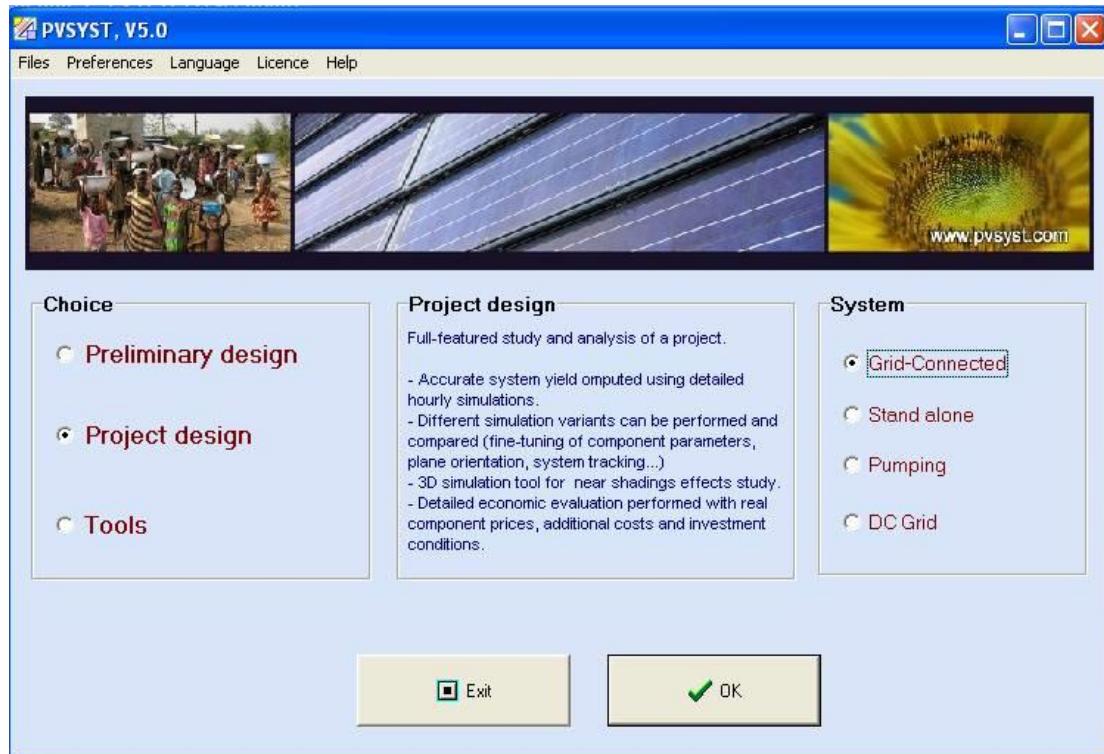
Une fois la puissance maximale possible définie <<<<< w, l'onduleur se choisit avec comme critère, **une puissance de référence de 90° de la puissance crête !**

Pourquoi ? Encore une histoire de meilleur rendement. En effet les modules ne sont pas ensoleillés toute la journée à 100%, et c'est sans compter les perturbations nuageuses...

10.2 / Logiciel PVSYST

Disponible en ligne et gratuitement pendant 15 jours, PVSYST permet de réaliser une estimation de la production d'énergie d'une installation et d'en estimer le coût.

- Téléchargement
- Description d'un projet test.



10.3 / Nouveaux logiciels

Exemple : Logiciel Solar Calc

Présentation on-line



11 / Projet

11.1 / Offre de base

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

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

Certaines options sont régulièrement proposées:

- Système d'acquisition de données
- Système d'affichage des données

11.2 / Exemple de projet

Exemple de projet à consulter : [photovolt34](#) , « [energiepropre.net](#) » , [macodaviki](#)

Le choix du matériel peut se faire suivant des critères économiques, de proximité de fabrication (en France) d'éthiques (pays faisant des efforts au niveau environnemental)...

Il n'en demeure pas moins qu'après quelques années commercialisation, certaines marques de panneaux solaires et d'onduleurs sont plus installées que d'autres.

[Les marques installées](#)

- 1
- 2
- 3

Il est de la responsabilité des nouveaux acteurs du marché photovoltaïque de travailler en étant conscient de l'effort de l'Europe pour un environnement « propre » au point de vue production énergétique.

[Reportage vidéo](#)

Grenelle de l'environnement : [bilan 2007 du photovoltaïque](#)

PHOTOVOLTAÏQUE – Centrale Raccordée au réseau

Cours CR2 : Dimensionnement

Le 04.12.09

ANNEXES

a/ [Thermexcel](#) (calcul devis travaux)

b/ Optimisation de la production (suiveur)

