



**HAL**  
open science

## Réalisation et validation du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome

V Boitier, Vincent Mahout, Corinne Alonso, R Baget

### ► To cite this version:

V Boitier, Vincent Mahout, Corinne Alonso, R Baget. Réalisation et validation du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome. Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CETSI'2007), Oct 2007, Bordeaux, France. hal-04607929

**HAL Id: hal-04607929**

**<https://laas.hal.science/hal-04607929v1>**

Submitted on 11 Jun 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Réalisation et validation du dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome.

V.Boitier<sup>1</sup>, V. Mahout<sup>1</sup>, C. Alonso<sup>1</sup>, R. Baget<sup>2</sup>  
email : vboitier@laas.fr tél : 05 61 55 86 89

<sup>1</sup> LAAS, CNRS, 7 Avenue du colonel Roche, F-31071 Toulouse cedex 04

<sup>2</sup> Université Paul Sabatier, 118 rte de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9

**RESUME** : L'objectif de cet article est d'illustrer et de valider à travers un cas pédagogique simple, une méthode de dimensionnement d'un système autonome alimenté par un générateur photovoltaïque.

**Mots clés** : solaire, photovoltaïque, irradiation, ressource énergétique, autonomie, batterie, panneau solaire.

## 1. INTRODUCTION.

Les énergies renouvelables ont le vent en poupe et constituent un thème porteur vis-à-vis des étudiants.

Une installation électrique autonome utilisant l'énergie solaire servira de support à notre étude, (voir figure 1). L'objectif principal de ce travail est de faire appréhender aux étudiants les critères de choix des éléments-clés nécessaires à la réalisation d'une installation photovoltaïque autonome (charges à faible consommation, batteries, panneaux photovoltaïques, régulateur, onduleur).

Cette étude a été menée lors d'un bureau d'études de 20h environ avec des étudiants en licence professionnelle "conception et commande des systèmes embarqués" puis dans le cadre d'un module d'ouverture sur les énergies renouvelables avec des étudiants en quatrième année de l'INSA. Des travaux pratiques de mise en œuvre et de caractérisation des différents éléments d'un système photovoltaïque venaient étayer la partie présentée ici.

Le travail a été effectué sur tableur. Il comprend un dimensionnement préalable suivi par une phase de validation. Ces deux phases ont été décomposées selon les étapes proposées ci-dessous.

Dimensionnement :

- Définir le profil de consommation.
- Analyser la ressource énergétique à partir de données mensuelles.
- Choisir la capacité des batteries et la surface des panneaux solaires en fonction de la consommation souhaitée et de la ressource énergétique.

Validation :

- Calculer le niveau de charge journalier de la batterie.
- Vérifier que la batterie fonctionne dans de bonnes conditions (pas de décharge profondes).
- Faire varier les paramètres importants (surface panneau, capacité batterie) et analyser leur influence.

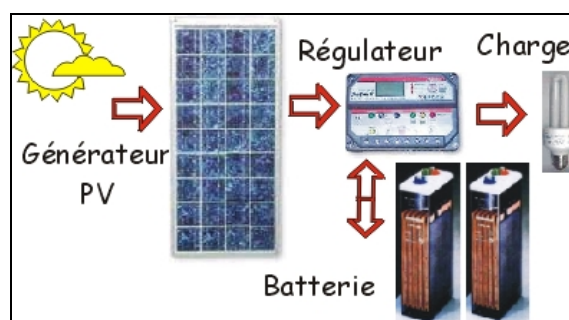


Fig. 1 Système photovoltaïque; les transferts énergétiques sont représentés de façon simplifiée par des flèches.

La partie suivante de cet article reprend les équations fournies dans [0].

## 2. DIMENSIONNEMENT.

### 2.1 Définition des besoins

Lieu : Millau (Aveyron)

Utilisation : maison pour 4 personnes.

- Hors vacances d'été, utilisation de la maison le week-end (2 jours d'utilisation pour 7 jours de recharge).
- En été (juin, juillet, août) utilisation tous les jours (compte tenu du climat, on souhaite 3 jours d'autonomie et une recharge complète en 8 jours).

On note  $J_{AUT}$  le nombre de jours d'autonomie souhaité,  $J_{REC}$  le nombre de jours de recharge

Pour limiter la consommation, des ampoules basse consommation, un réfrigérateur classe A alimenté sous 12 ou 24 volts, un lave-linge à bulles, un ordinateur portable sont utilisés. Un onduleur >800 VA est connecté de façon intermittente pour alimenter les charges 230 VAC (lave-linge, aspirateur, perceuse, ...)

Un calcul simple fournit une consommation journalière de 1,3kWh.  $E_J = 1,3 \text{ kWh}$

(Pour un travail plus complet l'utilisateur doit définir son propre profil de consommation –voir la feuille de calcul chez Tecsol [7] par exemple-. L'analyse des résultats des consommations -elles varient de 1 à 20 kWh/jour- permet aux étudiants de se poser des

questions intéressantes sur leur mode de consommation : ce qui est nécessaire, superflu, ce qui peut être fourni avec une autre source d'énergie, ...)

## 2.2 Batteries

On note  $C$  la capacité de la batterie,  $V$  la tension de l'installation, on prendra  $V = 12$  Volts.

Remarque : pour limiter les pertes par effet joule, on passe à 24V dès que la puissance crête du champ photovoltaïque est comprise entre 500 et 1000 Wc [1][2].

L'énergie contenue dans la batterie est

$$E_{\text{tot}} = CV \quad (1)$$

La technologie de la batterie choisie (batterie solaire) autorise 60% de profondeur de décharge ( $DOD_{\text{MAX}} = 60\%$ ).

Un modèle énergétique simple de la batterie est fourni en considérant un rendement énergétique global de 70% modélisé par un rendement de 100% à la décharge, et de 70% à la charge.

On notera pour la suite :  $\eta_{\text{BATT}} = 70\%$

L'intensité (en A) maximum en charge sur des batteries au plomb, doit être limitée à 10% de la capacité en  $C_{10}$ . Une vérification ultérieure permettra de voir si ce critère est respecté.

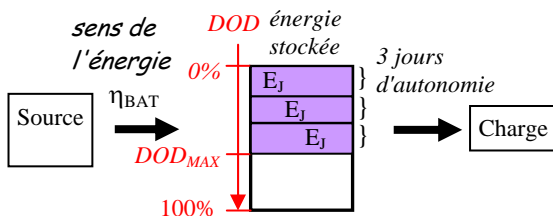


Fig. 2 Energie utilisable dans la batterie.

L'énergie utilisable de la batterie s'exprime par :

$$E_{\text{UTILISABLE}} = E_{\text{TOT}} \cdot DOD_{\text{MAX}} = E_J \cdot J_{\text{AUT}} \quad (2)$$

Pour trouver des caractéristiques pour les batteries : on pourra consulter par exemple les sites [4], [5] ou [6].

On note  $E_{\text{IN}}$  l'énergie minimale à rajouter dans la batterie par jour de beau temps. Elle doit compenser la consommation du jour et permettre de retrouver une fraction de l'autonomie après une période de mauvais temps.

Il faut dans le cas d'une utilisation permanente:

$$E_{\text{IN}} \geq E_J \left(1 + \frac{J_{\text{AUT}}}{J_{\text{REC}}}\right) \quad (3)$$

et, dans le cas d'une utilisation occasionnelle (type week-end) :

$$E_{\text{IN}} \geq E_J \left(\frac{J_{\text{AUT}}}{J_{\text{REC}}}\right) \quad (4)$$

## 2.3 Ressource solaire

Pour utiliser au mieux les panneaux solaires, on les orientera plein Sud avec de préférence une inclinaison généralement voisine de la latitude. Par rapport à un panneau placé horizontalement, cela entraîne une perte maximale d'énergie de l'ordre de 15 % en été mais un gain voisin de 50 % pour décembre et janvier. Pour la suite on prendra même une inclinaison de 60° pour maximiser la production hivernale.

On note  $G$  (exprimé en Wh/m<sup>2</sup>/j) le rayonnement journalier reçu sur le champ de panneaux. Les valeurs moyennes du rayonnement sont établies à partir des mesures du rayonnement reçu sur une surface horizontale, de la course du soleil, de la répartition du rayonnement entre le direct, le diffus et le réfléchi [3]. Pour ce calcul très complexe, on peut utiliser les logiciels gratuits de RETScreen [8] ou celui d'Ines [9] qui fournissent des résultats similaires. Le logiciel Calsol d'Ines a été utilisé pour la suite : (cf. Tab.1) pour la station de Millau.

janvier	2,32
février	2,67
mars	3,84
avril	4,05
mai	4,05
juin	4,52
juillet	4,98
août	4,91
septembre	4,7
octobre	3,35
novembre	2,43
décembre	2,25

Tab. 1 Moyennes mensuelles du rayonnement solaire quotidien exprimées en kWh/m<sup>2</sup>/jour. Inclinaison 60°, azimuth 0°.

## 2.4 Panneaux et régulateur.

Pour établir l'énergie qui va être stockée dans la batterie, on tient compte des rendements "typiques" suivants:

- Rendement de conversion photoélectrique (rendement  $\eta_{\text{PV}}$  12 %),
- Rendement du panneau s'il ne fonctionne pas au point de puissance maximum (rendement  $\eta_{\text{COM}}$  90%).
- Rendement du régulateur (rendement  $\eta_{\text{REG}}$  90%),

- Rendement lié aux pertes dans les lignes (rendement  $\eta_L$  95%).
- Rendement batterie (rendement  $\eta_{BAT}$  70%).

Il nous faut choisir une surface  $S$  ( $m^2$ ) de panneaux telle que l'énergie d'origine photovoltaïque stockable soit, par beau temps, au minimum égale à l'énergie à remettre par jour dans la batterie, soit:

$$GS \eta_{PV} \eta_{COM} \eta_{REG} \eta_L \eta_{BAT} \geq E_{IN} \quad (5)$$

## 2.5 Résultats

Le calcul montre qu'il faut une batterie de 542 Ah sous 12 volts. 6 modules Solar Fulmen à plaques tubulaires (550 Ah en  $C_{100}$  de 2 volts) montés en série sont choisis.

Pour le générateur photovoltaïque, 6  $m^2$  sont nécessaires, soit par exemple : 2 branches en parallèle, composées chacune de 3 panneaux Sharp ND-L3E6E (polycristallin 125 Wc,  $V_{opt} = 17,2V$ ,  $I_{cc} = 8,12A$ , Surf =  $1m^2$ ).

Le régulateur Morningstar TriStar45 ( $V_{in\ max} = 125V$ ,  $I_{in\ max} = I_{out\ max} = 45A$ ,  $V_{out} = 12$  ou  $24V$ ) convient, ainsi qu'un onduleur Mastervolt MassSine 12/1200 ( $V_{in} = 12V$ ,  $I_{in\ max} = 130A$ ,  $P_n = 1200VA$ )

## 3. VERIFICATION.

Dans cette partie on se propose de vérifier la validité du dimensionnement proposé à partir de mesures journalières de l'irradiation. Pour cela, Météo France fournit le relevé journalier sur Millau de l'irradiation exprimée en  $kWh/m^2/j$  sur un sol horizontal. cf. Fig. 3(a)

Les données mensuelles fournis par le logiciel Calsol [In], permettent de calculer mois par mois le ratio ensoleillement à  $60^\circ$  / ensoleillement à  $0^\circ$ . Un polynôme d'ordre 6 décrit correctement la courbe obtenue (cf. Fig. 4, ci-après).

On peut alors utiliser ce polynôme et les points de mesures à l'horizontale pour déduire l'ensoleillement journalier sous une inclinaison de  $60^\circ$  cf. Fig. 3(b).

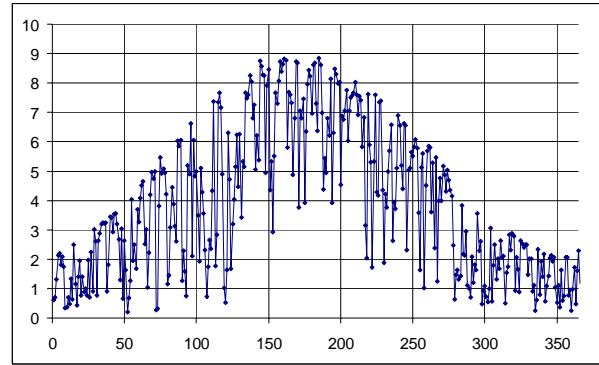
Connaissant la ressource réelle journalière et la consommation journalière, on établit alors un bilan énergétique journalier. En cumulant ce bilan on détermine le niveau d'énergie dans la batterie jour par jour.

Remarques :

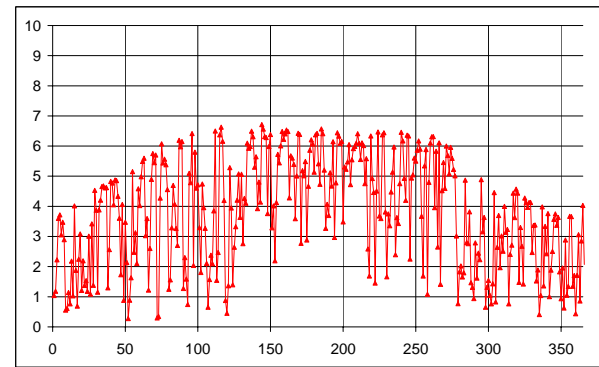
a/ Si la batterie est pleine, le régulateur stoppe la charge en déconnectant les panneaux, on en tiendra compte sur le tableur avec un test pour limiter l'énergie dans la batterie à sa valeur maximale.

b/ Pour ne pas compliquer trop la modélisation, les calculs présentés ne prennent pas en compte l'effet de la température sur les panneaux. Cet effet se traduit par

une diminution du rendement des panneaux lorsque la température augmente (typiquement  $0,5\%/^\circ C$ ). Cela conduit donc à surestimer la production possible de 15 à 20 % au maximum (Le logiciel fourni par Retscreen permet de prendre en compte cet effet sur les données mensuelles).



(a)



(b)

Fig.3 (a). Courbe bleue (données Météo France): Irradiation journalière à Millau 2004 à l'horizontale (en  $kWh/m^2/jour$ ). (b). Courbe rouge (calculée): irradiation à inclinaison  $60^\circ$ , orientation sud.

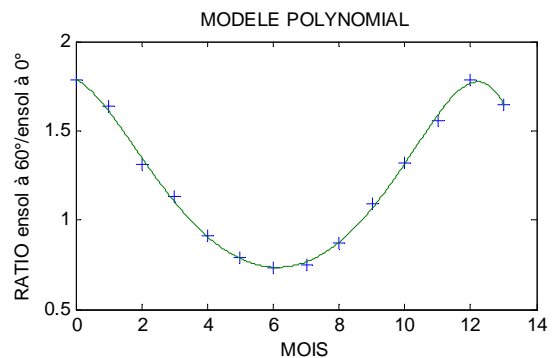


Fig.4. Modèle polynomial pour décrire le ratio ensoleillement à  $60^\circ$  / ensoleillement à  $0^\circ$ .

Les résultats ci-dessous permettent de vérifier que la batterie reste correctement chargée ou qu'au contraire, avec les conditions météorologiques de 2004, le système aurait présenté une défaillance.

La figure 5 présente sur la courbe supérieure (en bleu), l'évolution du niveau de charge de la batterie exprimé en % (ou en abrégé SOC pour *state of charge*, SOC = 1-DOD). La courbe inférieure (en rouge) présente la quantité d'énergie journalière (exprimée en kWh) qui aurait pu être produite et stockée dans la batterie mais qui ne l'a pas été, la charge s'arrêtant dès que la batterie est pleine.

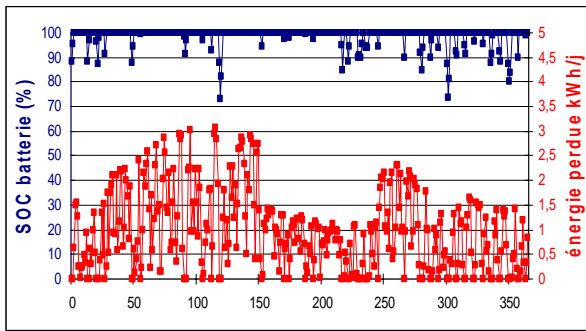


Fig.5 Courbe bleue : SOC batterie (en %), courbe rouge : énergie non produite ( $C=550 \text{ Ah}$ ,  $S= 6\text{m}^2$ ).

Le système s'avère surdimensionné, la batterie reste toujours chargée à quelques jours près (SOC min = 73%) et seulement 38% de ce qui aurait pu être produit l'a été.

Remarque : le cycle journalier n'apparaît pas sur ces graphes mais il représente avec 3 (respectivement 2) jours d'autonomie, une décharge de 20% (resp. 30%) dans le cas extrême d'une consommation exclusivement nocturne.

L'autonomie nécessaire a été exagérée, deux jours d'autonomie en été sont suffisants, on obtient alors avec  $C = 360 \text{ Ah}$  et  $S = 5,4 \text{ m}^2$ , un SOC min de 52% et une utilisation à 50% de l'énergie des panneaux. On peut même diminuer  $S$  jusqu'à  $4,7 \text{ m}^2$  ce qui donne un SOC min de 50% et une utilisation à 50% de l'énergie des panneaux (cf. courbe 6 ci-dessous).

On constate sur cette figure, un mois d'août "difficile" (cf. zoom sur la figure 7) et des cycles d'une semaine en hiver lié à une utilisation du week-end (cf. zoom sur la figure 8).

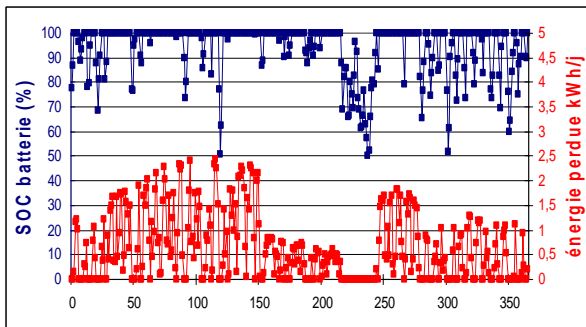


Fig.6 Courbe bleue : SOC batterie (en %), courbe rouge : énergie non produite ( $C=360 \text{ Ah}$ ,  $S= 4,7\text{m}^2$ ).

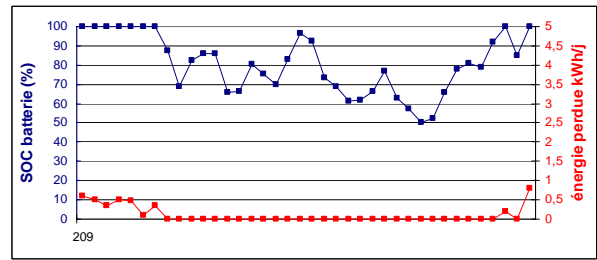


Fig.7 En août, courbe supérieure (bleue) : SOC batterie (en %), courbe inférieure (rouge) : énergie non produite ( $C = 360 \text{ Ah}$ ,  $S = 4,7\text{m}^2$ ).

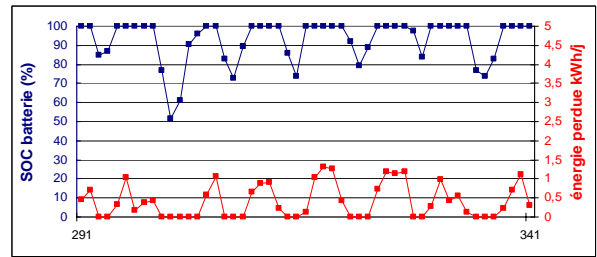


Fig.8 En hiver, courbe supérieure bleue : SOC batterie (en %), courbe inférieure rouge : énergie non produite ( $C = 360 \text{ Ah}$ ,  $S = 4,7\text{m}^2$ ).

#### 4. CONCLUSION.

A partir de données facilement accessibles sur internet ou fournies directement, les étudiants ont réalisé le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome à partir de moyennes mensuelles. Puis, l'exploitation des données journalières réelles a permis de valider et/ou d'optimiser ce premier dimensionnement.

Dans une première approche le nombre de jours d'autonomie nécessaire était fixé plus ou moins arbitrairement mais a pu être adapté judicieusement à partir des données réelles. Il en est de même pour le nombre de jours de recharge.

Bien sûr les données d'une année ne représentent pas le futur et la variabilité de la ressource doit être considérée en prenant une marge de sécurité (d'autant plus que l'influence de la température n'est pas prise en compte dans le modèle de calcul).

Cette étude nous a permis de constater que malgré le prix élevé du kWh photovoltaïque, le système n'est pas complètement exploité, en effet une fraction importante (typiquement **50%**) de l'énergie photovoltaïque qui aurait pu être produite ne l'a pas été. Ce paradoxe apparent s'explique facilement car lorsque la batterie est pleine, la charge s'arrête ... Quel dommage de ne pas valoriser complètement cette énergie. On peut bien sûr augmenter le ratio d'utilisation mais il faut alors plus de batterie ... au détriment du coût total du système.

Une estimation rapide du coût du système en fonction de la consommation souhaitée a montré aux étudiants que l'énergie obtenue n'est pas bon marché du tout. Cela a permis une discussion intéressante sur les modes de consommation de chacun et sur les possibilités de vivre aussi bien en consommant moins ...

Ce travail a permis aussi à un certain nombre d'étudiants de clarifier la différence entre puissance et énergie et les relations qui relient ces grandeurs.

Dans la suite de cette étude, il reste à intégrer le facteur coût d'une façon plus complète (achats, mise en service, entretien, amortissement ...) et à réaliser la comparaison avec les autres modes de production d'énergie électrique.

## 5. BIBLIOGRAPHIE.

[0] "Dimensionnement d'un Système Photovoltaïque", V. Boitier, C. Alonso, CETSI 2005 Besançon"

Ouvrages sur le photovoltaïque :

[1] F. Antony, C. Dürschner, K.H. Remmers, "*Le photovoltaïque pour tous, Conception et réalisation d'installations*", Ed. Observ'ER, ISBN-10:2-913620-38-8, 2006

[2] Anne Labouret, Michel Viloz, "*Energie solaire photovoltaïque, le manuel du professionnel*", Ed. Dunod, 2003.

[3] Jacques Bernard, "*Energie Solaire*", Coll. Génie Energétique, Ed. Ellipses, 2004.

Sites web :

[4] [www.surtec.fr](http://www.surtec.fr)

[5] [matrixenergy.ca](http://matrixenergy.ca)

[6] [www.solarsud.com](http://www.solarsud.com)

[7] [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr)

[8] [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

[9] <http://ines.solaire.free.fr/>