

ÉVALUATION DES PERTES DANS UN SYSTEME DE GENERATION PHOTOVOLTAÏQUE ET OPTIMISATION DE L'IMPLANTATION DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Achille Aimé Bambock¹, J. Yves Effa^{1§}

¹Département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, B.P 454 Ngaoundéré

[§] Auteur de correspondance. Email: effa_jo@yahoo.fr

RÉSUMÉ Le travail présenté dans ce papier concerne le dimensionnement et l'optimisation de l'implantation des panneaux photovoltaïques au bloc administratif de la société anonyme des brasseries du Cameroun à Garoua, en tenant compte des différentes pertes occasionnées dans la chaîne de production et de transformation de l'énergie photovoltaïque. L'objectif étant de réaliser un dimensionnement optimal satisfaisant le rapport qualité-prix, nous avons établi les équations mathématiques des pertes dans les différents équipements de la chaîne de production photovoltaïque afin de les intégrer dans la consommation énergétique de l'installation. Nous avons ensuite validé le modèle du dimensionnement d'une part en utilisant le logiciel de dimensionnement et de simulation de système photovoltaïque PVSyst 5.0 et d'autre part nous avons calculé et intégré les différentes pertes du système dans la consommation en utilisant MATLAB 7.5. Une plate-forme permettant de réaliser un dimensionnement optimale en tenant compte de la technologie des équipements et du site d'implantation a été développée. Les principaux résultats qu'on peut obtenir de cette plate-forme sont : le nombre optimal de panneaux du champ, la surface occupée, la puissance crête du champ, l'ensemble des pertes du système et l'inclinaison optimale des panneaux.

Mots clés - Installation photovoltaïque, dimensionnement, optimisation, pertes

NOMENCLATURE

P_J : Production journalière	V_0 : Tension de seuil	K : Constante de Boltzmann
B_J : Besoins journaliers	\bar{I}_F : Courant moyen dans la diode	q : Charge élémentaire de l'électron
D_C/D_d : Durée de charge/décharge	R_0 : Résistance dynamique	I_0 : Courant à vide
P_C : Puissance crête du champ	I_F : Courant efficace dans la diode	I_{LRMS} : Courant efficace en sortie du hacheur
G : ensoleillement moyen ;	V_{FP} : Forward Peak voltage	I_{SAT} : Courant de saturation
K_1 : Coefficient de correction solaire	\hat{I}_F : Courant maximal dans la diode	t_{fr} : Forward Recovery time
C : Quantité d'énergie à stocker	f : Fréquence du montage	$P_{DC/DC}$: Pertes par conduction dans le hacheur
A_u : Nombre de jour d'autonomie	V_R : Tension inverse	$P_{DC/AC}$: Pertes par conduction dans l'onduleur
K_2 : Coefficient de correction	Q_{tr} : Energie de recouvrement inverse	M : Profondeur de modulation de l'onduleur
τ : Autodécharge	P_d : Profondeur de décharge	V : Tension moyenne
η_b : Rendement de la batterie	P_D : Perte dans la diode	$P_{C,ON}$: Pertes par commutation à la fermeture
S : Section du fil électrique	ϕ : Déphasage de l'onduleur	$P_{C,OFF}$: Pertes par commutation à l'ouverture
L : Longueur du fil	r : Résistance de la diode	I_N : courant nominal en sortie du convertisseur
I : Courant circulant dans le fil	i : Courant efficace de la diode	f_S : Fréquence de découpage du convertisseur
P : Pertes admissible dans le fil	I : Courant moyen	V_D : Tension seuil de la diode
$AM1.5$: Répartition spectrale du rayonnement	η_c : Rendement de charge de la batterie	r_T : Résistance interne du transistor
I_{CC} : Courant de court-circuit	I : Courant de charge de la batterie	I_m : Courant max en sortie du convertisseur
I_{CC0} : Courant de court-circuit à vide	I_{10} : Courant de décharge de la batterie	r_D : Résistance interne de la diode
I_{PH} : Photo courant	EDC : Etat de charge de la batterie	D : Rapport cyclique du hacheur
V_{OC} : Tension à circuit ouvert	Q_{AS} : Capacité avant stockage	V_T : Tension seuil du transistor

N_S : Nombre de cellule en série	Q_{PS} : Capacité après stockage	P_{SW} : Pertes par commutation dans le hacheur
n : Durée de stockage en mois	t_f : Temps de descente du courant dans l'interrupteur	
I_L : Courant moyen en sortie du hacheur	t_{rN} : Temps nominal de recouvrement inverse	
V_m : Tension max découpée par le hacheur	t_r : Temps de montée du courant dans l'interrupteur	
t_{rN} : Temps nominal de montée du courant dans l'interrupteur	T : Température	
t_{rf} : Temps nominal de descente du courant dans l'interrupteur	p_T : Pertes dans le transistor	
Q_{rN} : Charge nominale en recouvrement inverse de la diode	p_D : Pertes dans la diode	
p_{rr} : Pertes par recouvrement		

1. INTRODUCTION

La performance d'un système PV dépend fortement des conditions météorologiques, telles que le rayonnement solaire, la température, la vitesse du vent et aussi du rendement des différents équipements constituant la chaîne de production. Pour fournir l'énergie nécessaire continuellement durant toute l'année, un système PV doit donc être correctement dimensionné [1]. Cela exige une étude assez rigoureuse dans le but de faire le meilleur choix possible qui soit à la fois performant et à coût réduit. Les informations fournies par les constructeurs d'équipements photovoltaïques ne permettent de faire qu'un dimensionnement approximatif du système PV. À notre connaissance, un dimensionnement global intégrant les pertes tout au long du système de génération photovoltaïque n'a encore jamais été réalisé dans le cadre d'un bloc administratif.

L'objectif principal de ce travail est donc de faire un dimensionnement optimal prenant en compte l'ensemble des pertes générées par le système de captage PV et la charge. Les méthodes d'optimisation des générateurs PV sont d'une grande utilité pour les fabricants n'ayant pas des informations détaillées sur les futurs sites d'implémentation de leur produit. En outre, l'évaluation des pertes causées par le système de captage PV et la charge leur donne un aperçu sur le rendement des équipements [1].

2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE GAROUA

La ville de Garoua est située à une altitude de 332 m au-dessus du niveau de la mer ; avec une latitude de 9.30° Nord et une longitude de 13.40° Est. La température moyenne annuelle est de 26,7°C ; l'ensoleillement moyen annuel est de 5,75 kWh/m²/jr ; les vitesses du vent vont jusqu'à 3,5 m/s en moyenne, avec des vitesses maximales de 4 m/s. Les précipitations se regroupent sur cinq mois dont la moyenne est de 83.08 mm³.

Tableau 1

Ensoleillement mensuel de la ville de Garoua [2]

Ensoleillement moyen mensuel Incident sur une Surface horizontale (kWh/m ² /jour)						
Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin
Moyenne 10 ans	6.07	6.36	6.5	6.24	5.78	5.37
Mois	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne 10 ans	4.94	4.83	5.16	5.7	6.17	5.93
Moyenne annuelle	5.75					

3. EVALUATION DES BESOINS

Avant de réaliser le dimensionnement d'une installation, il est important de bien évaluer ses besoins en énergie. Ces besoins ont été estimés en fonction du nombre des puissances des différents équipements installés.

3.1 Bilan Energétique du Bloc Administratif

Le bilan de puissance des équipements installés dans le bloc administratif est consigné sur le tableau 2 ci-dessous. Ce bilan a été estimé en fonction des appareils disponibles dans le bloc administratif au moment de notre enquête.

Tableau 2

Bilan énergétique du bloc administratif de la SABC agence du Nord

Appareils	Consommation
Eclairage	2132 Wh
Climatisation	183769 Wh
Informatique	95637 Wh
Autres	22411 Wh
Total	303950Wh

3.2 Dimensionnement du Parc de Modules Solaires Photovoltaïques

La production journalière du parc de modules photovoltaïques permettant de couvrir l'ensemble des besoins journaliers de l'installation peut se déterminer par l'équation 1 suivante :

$$P_j = \frac{B_j}{(D_c/D_d)} \quad (1)$$

Cependant, pour obtenir un profil qui réponde à nos besoins, nous avons mesuré les puissances appelées chaque heure sur les différentes phases de la ligne triphasée alimentant l'installation pendant une journée de pointe et sur une période de 6 mois. La Figure 1 ci-dessous en donne le profil moyen. De cette figure, il ressort que les pics de consommation sont importants de 9 heures à 11 heures, ce qui représente la plage d'activité intense au service ; puis chutent de 12 heures à 15 heures, ce qui correspond à la pause déjeuner. Les activités redeviennent importantes de 16 heures à 17 heures et rechutent à partir de 18 heures, heure de départ du personnel, jusqu'à 7 heures, heure de retour du personnel dans l'entreprise.

On peut ainsi, à partir de la puissance journalière, déterminer la puissance crête nous permettant de déduire le nombre de panneau à utiliser. La puissance crête du champ de modules photovoltaïques est donnée par l'équation 2 :

$$P_c = \frac{P_j}{(G \times K_1)} \quad (2)$$

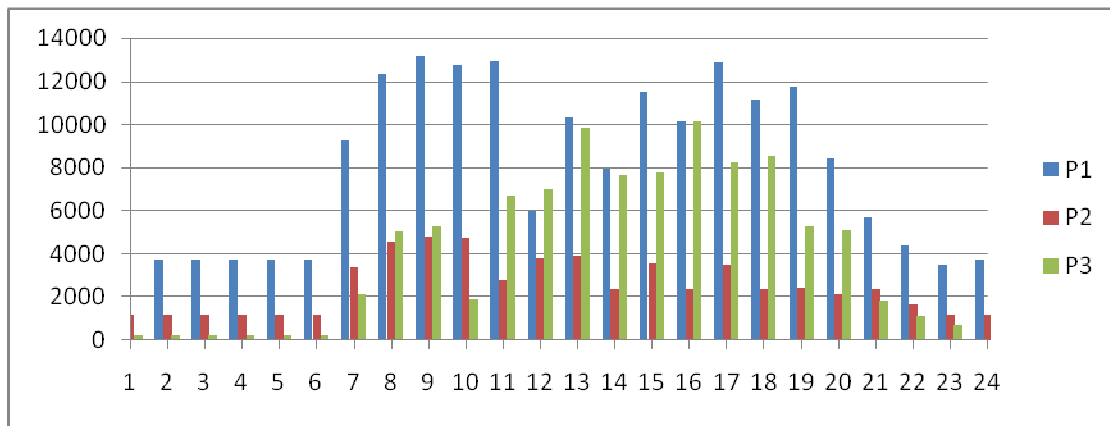


Figure 1. Profil moyen de consommation de la charge sur une journée

3.3 Dimensionnement du Parc de Batteries

La quantité d'énergie à stocker par les batteries est obtenue en appliquant la formule donnée par l'équation 3 suivante :

$$C = \frac{E_j \times Au}{U_b \times \eta_b \times K_2 \times P_d} \quad (3)$$

3.4 Dimensionnement des câbles électriques

La section de fil électrique à utiliser dans une installation photovoltaïque est donnée par l'équation 4 :

$$S = \frac{\rho \times 2L \times I^2}{P} \quad (4)$$

Tableau 3

Dimensionnement du bloc administratif

Module	
Production journalière	284485 Wh
Puissance crête du champ	68369 Wc
Nombre de panneaux de 220Wc	312
Surface d'occupation	468 m²
Batteries	
Capacité des batteries	26940 Ah
Nombre de batteries de 240 Ah	112
Câbles	
Section du câble électrique	18 mm²
Total	303950Wh

L'ensemble des résultats de dimensionnement ainsi calculés est consigné sur le tableau 3 ci-dessus :

4. ESTIMATION DES PERTES D'ENERGIE ET OPTIMISATION

Il est important d'évaluer les pertes tout au long du système de génération photovoltaïque. Cela permet de préciser la quantité d'énergie récupérable et la part fournie par chaque source. On peut ainsi estimer le coût de l'énergie produite dans les conditions de fiabilité raisonnables.

4.1 Pertes au Niveau du Champ Photovoltaïque

Les concepteurs de panneaux photovoltaïques conçoivent les cellules et module avec les caractéristiques définies suivants les conditions de test standard (STC) [3]:

- Eclairement 1000W/m².j
- Spectre AM1.5
- Température 25°C

Ces conditions permettent aux cellules et panneaux de fonctionner de manière optimale. Or, la ville de Garoua où se trouve notre site d'implantation présente les caractéristiques suivantes :

- Eclairement 5,743 kWh/m².j
- Spectre AM1.5
- Température 40°C

Étant donné que ces paramètres jouent principalement sur les caractéristiques électriques du module telles que : la tension à vide V_{oc} , le courant de court-circuit I_{cc} et la puissance crête P_c , une étude de l'influence de ces caractéristiques s'impose.

4.1.1 Influence de l'irradiation

Lorsque l'éclairement diminue, le courant de court-circuit diminue ainsi que la tension à vide (confère équations 5 et 6) [4]. Cela va entraîner la diminution de la puissance du module PV, ce qui induit donc des pertes de puissance.

$$I_{cc} = I_{cc0} \left(\frac{\psi}{1000} \right) \quad (5)$$

$$V_{oc} = N_s \left(\frac{KT}{q} \right) \text{Log} \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \quad (6)$$

4.1.2 Influence de la température

Dans une cellule, l'intensité du courant augmente de 2 mA pour chaque degré Celsius, tandis que la tension diminue de -79 mV et la puissance du module diminue de -0.43% [3].

4.1.3 Autres facteurs

Hormis l'influence de l'irradiation et de la température, d'autres paramètres causent des pertes d'énergie dans les panneaux photovoltaïques. Nous avons entre autre :

- Le facteur d'IAM sur le global ;
- Les pertes dues à la qualité du module qui sont données par le constructeur ;
- Les pertes dues au champ pour appareillage ;
- Les pertes dues à la résistance de câblage ;

- Les pertes dues au fonctionnement du Point Maximum de Puissance (MPP).

4.2 Pertes dans le Régulateur

Dans les zones chaudes, il faut estimer la perte occasionnée par la diode de blocage du régulateur [6]. Pour déterminer la dissipation thermique dans la diode, il faut connaître la puissance dissipée (pertes) dans le composant.

On a donc:

Les Pertes par conduction:

- Pertes à l'état passant (P_c) :

$$P_c = V_0 \times \bar{I}_F + R_0 \times \bar{I}_F^2 \quad (7)$$

- Pertes à l'état bloqué (P_r le plus souvent négligeable)

Les Pertes par commutation:

- Pertes à la fermeture (P_{on}) :

$$P_{on} = \frac{1}{2} \times t_{fr} \times V_{FP} \times \hat{I}_F \times f \quad (8)$$

- Pertes à l'ouverture (P_{off}) :

$$P_{off} = \frac{1}{2} \times V_R \times Q_{rr} \times f \quad (9)$$

Les pertes totales dans le régulateur valent donc :

$$P_D = P_c + P_r + P_{on} + P_{off} = VI + ri^2 \quad (10)$$

4.3 Pertes dans les Batteries

Deux types de rendement sont distingués dans une batterie d'accumulation : le rendement faradique (coulombien) et le rendement énergétique [7].

Le premier rendement concerne la capacité de la batterie à emmagasiner de l'énergie. Il ne fait pas intervenir les pertes par effet joule dans la résistance interne de la batterie.

Le deuxième rendement tient compte du rendement faradique et des pertes par effet joule.

$$\eta_c = 1 - \exp \left[\frac{20.73}{\frac{I}{I_{10}} + 0.55} \times (EDC - 1) \right] \quad (11)$$

avec :

$$EDC = 1 - \frac{Q}{C} \quad (12)$$

Même lorsque la batterie ne débite pas, sa capacité a tendance à diminuer lentement. Cet effet est connu sous le nom d'autodécharge et est défini d'après la relation [5]:

$$\tau(\%) = \frac{Q_{AS} - Q_{PS}}{n \times Q_{AS}} \quad (13)$$

Elle est de l'ordre de 10 % par mois à $T = 20^\circ\text{C}$ et double de valeur tous les 10 °C.

4.4 Pertes dans les Convertisseurs d'Electroniques de Puissance

4.4.1 Pertes par conduction dans l'onduleur

Ces équations sont aussi proposées par Bierhoff et Fuchs (2004) [8]. Tous les transistors et les diodes de l'onduleur triphasé étant identiques et chacun étant soumis à la même forme de courant que les autres, les pertes globales dans l'onduleur peuvent s'exprimer simplement par l'équation 14.

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{V_T I_m}{2\pi} \left(1 + \frac{\pi}{4} M \cos \varphi \right) + \frac{r_T I_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{2M}{3} \cos \varphi \right) \\ P_D &= \frac{V_D I_m}{2\pi} \left(1 - \frac{\pi}{4} M \cos \varphi \right) + \frac{r_D I_m^2}{2\pi} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2M}{3} \cos \varphi \right) \\ P_{dc/ac} &= 6(P_T + P_D) \end{aligned} \quad (14)$$

4.4.2 Pertes par commutation dans l'onduleur

Cette approche suppose que le courant soit sinusoïdal en sortie de l'onduleur et ne prend en considération que les paramètres essentiels. Les pertes par commutation globales dans l'onduleur correspondent à la somme des pertes dues à la mise en conduction des diodes et transistors, des pertes relatives au blocage et des pertes liées au recouvrement inverse [9].

$$\begin{aligned} P_{c,on} &= \frac{1}{8} V_m \times \frac{I_m^2}{I_N} t_{rN} \times f_s \\ P_{c,off} &= V_m \times I_m \times t_{fN} \times f_s \left(\frac{1}{3\pi} + \frac{1}{24} \frac{I_m}{I_N} \right) \\ P_{rr} &= V_m \times f_s \left[\left(\frac{0.8}{\pi} + 0.05 \frac{I_m}{I_N} \right) \times I_m \times t_{rrN} + \left(0.28 + \frac{0.38}{\pi} \frac{I_m}{I_N} + 0.015 \left(\frac{I_m}{I_N} \right)^2 \right) Q_{rrN} \right] \\ P_{DC/AC} &= P_{c,on} + P_{c,off} + P_{rr} \end{aligned} \quad (15)$$

4.4.3 Pertes par conduction dans le hacheur

Les pertes par conduction dans un convertisseur DC/DC de type hacheur survolteur comportant un transistor, une diode de roue libre et une inductance de lissage en sortie sont données par l'équation 16 [9] :

$$\begin{aligned} P_T &= D \times (V_T \times I_L + r_T \times i_{LRMS}^2) \\ P_D &= (1 - D) \times (V_T \times I_L + r_D \times i_{LRMS}^2) \\ P_{dc/ac} &= (D \times V_T + (1 - D) \times V_D) \times I_L + (D \times r_T + (1 - D) \times r_D) \times i_{LRMS}^2 \end{aligned} \quad (16)$$

4.4.4 Pertes par commutation dans le hacheur

La diode dans le hacheur peut être considérée comme idéale pendant les commutations. Les pertes sont ainsi minimisées dans le transistor et ne dépendent que des temps de commutation de celui-ci. L'équation 17 fait ainsi intervenir une seule composante du courant dans l'inductance. Cette relation néglige également les temps de montée et de descente de la tension aux bornes des transistors [9] :

$$P_{sw} = \frac{1}{2} V_m \times I_L \times f_s \times (t_r + t_f) \quad (17)$$

4.5 Pertes dans le Câble Electrique

Le câble ayant une résistance, une partie de l'électricité qu'il transporte se transforme en chaleur « l'effet joule ». Il se produit donc une baisse de tension qui peut poser problème, car la résistance du câble vient s'ajouter aux résistances des autres appareils de l'installation.

En courant continu, comme en courant alternatif, l'équation permettant de déterminer les pertes dans un câble est la suivante :

$$P = R \times I^2 \quad (18)$$

En exploitant les valeurs des paramètres intrinsèques données par le constructeur, l'ensemble des pertes ainsi évaluées est consigné sur le tableau 4. Ces pertes sont estimées en fonction de la puissance nominale de chaque composant utilisé dans le système de génération PV.

Tableau 4
Pourcentage des pertes dans l'ensemble du système P.V

Blocs	Pertes
Champ photovoltaïque	20.5 %
Régulateur	0.8%
Batteries	4.4 %
Convertisseurs	2.5 %
Câbles	1.98%
Total	30,18%

5. DEVELOPPEMENT DE LA FENETRE D'OPTIMISATION SOUS MATLAB

Afin de rendre facile le projet de dimensionnement, une plate forme a été développée. Lorsque l'utilisateur lance la simulation, la fenêtre suivante apparaît (Figure 2). Afin d'optimiser l'installation P.V en tenant compte des pertes du système, l'utilisateur doit faire un choix sur la technologie des panneaux, les équipements constituant le système de captage photovoltaïque, la caractérisation des batteries d'accumulation (capacité, tension d'utilisation, profondeur de décharge, jours d'autonomie), la caractérisation du câble électrique (longueur, type, courant d'utilisation), la caractérisation des panneaux (puissance du module, ville d'implantation, durée de vie), et enfin, entrer les besoins journaliers de l'installation et les coûts des différents équipements.

6. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de dimensionnement et optimisation seront affichés et sauvegardés sur une fiche technique utilisateur (figure 3), cette dernière visualise :

1. La puissance de la charge et la puissance disponible pour la charge ;
2. La puissance crête du champ et l'ensemble des pertes du système ;
3. Le nombre de panneaux et la surface d'occupation ;
4. La capacité et le nombre de batteries ;
5. Le rendement de l'installation et la section du câble électrique ;
6. Le coût global de l'installation.
7. La section du câble à utiliser et l'estimation du coût total de l'installation

La figure 4 quant à elle fait ressortir le profil de consommation de l'installation. Sur cette figure, il ressort que l'installation produira sur toute sa durée de vie 5854,66 Mwh. Cela fait donc sur 25 ans, un coût du Kwh solaire de 49,6878 Fcfa. Comparé au prix local du Kwh, qui est de 70 Fcfa, nous pouvons dire que non seulement les brasseries du Cameroun agence de

Garoua auront une énergie suffisante pour alimenter leur bloc administratif, mais encore, ils pourront à terme, faire des bénéfices.

plateforme
Copyright © 2012. Tous droits réservés

Choix des Technologies des composants

Modules: ☒ Monocristallin ☐ Polycristallin ☐ Amorphe

Besoins journaliers: 284485 **Wh/J**

Devise: Fcfa

Paramètres batteries:

Régulateur: ☒ MLI ☐ MPPT ☐ Série ☐ Parallèle

Batteries: ☒ Plomb-acide ☐ NiMH ☐ NiCD ☐ Li-Ion

Onduleurs: ☒ MPPT ☐ Fixe ☐ MLI ☐ Transfo HF

Paramètres Modules:

Coûts:

Coût du module: 600000

Coût du Régulateur: 350000

Coût de la batterie: 95000

Coût de l'onduleur: 2350000

Coût du Cable: 150000

Coûts divers: 215000

Paramètres câbles:

Types de câbles: ☐ Argent ☒ Cuivre ☐ Aluminium ☐ Nickel ☐ Fer

Durée de vie: ☐ 10 ans ☐ 15 ans ☐ 20 ans ☒ 25 ans

Paramètres batteries (détails):

Jours d'autonomie: ☒ 1 jour d'autonomie ☐ 2 Jours d'autonomie ☐ 3 jours d'autonomie ☐ 4 jours d'autonomie ☐ 5 Jours d'autonomie

Capacité de la batterie: 240 Ah

Profondeur de décharge: 80 %

Puissance crete du module: 220 Watts

Ville d'implantation: Garoua

Tension batterie: ☒ 12 Volts ☐ 24 Volts ☐ 48 Volts

Longueur: 100 m

Intensité: 82 A

Valider

Figure 2. Fenêtre de simulation de l'optimisation de dimensionnement du système P.V

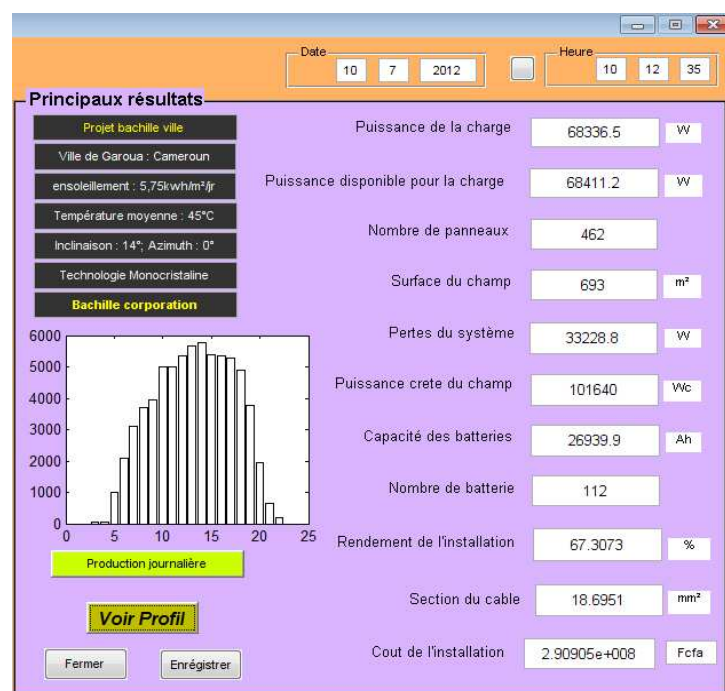


Figure 3. Résultats de simulation

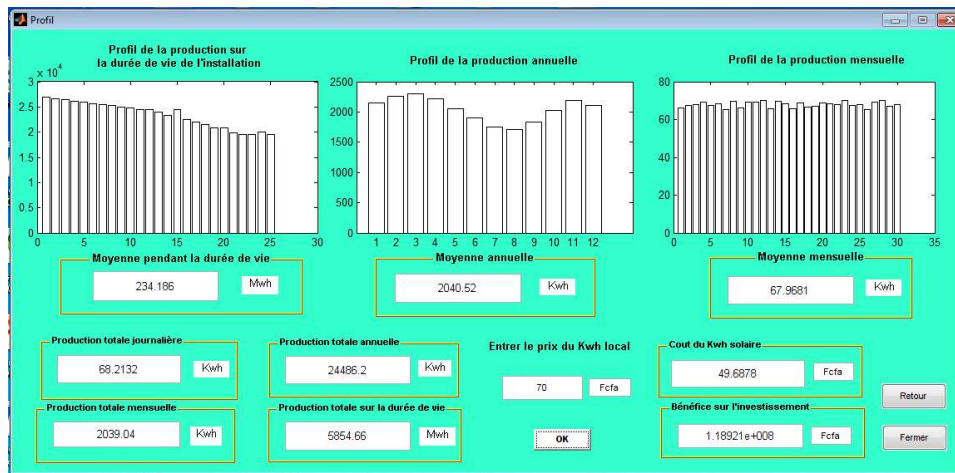


Figure 4. Profil de consommation de l'installation

7. CONCLUSION

Dans ce papier, il était question d'optimiser l'implantation des panneaux photovoltaïques devant alimenter le bloc administratif des brasseries de Garoua, en tenant compte des pertes générées tout au long du système P.V. Cette étude nous a permis d'une part, de dimensionner manuellement l'installation, ensuite, d'intégrer les pertes dans ce dimensionnement en vue de son optimisation. D'autre part, afin de rendre convivial le dimensionnement, une plate forme a été développée. Il ressort de cette étude qu'en dépit de la prise en compte des pertes, bien que le nombre de panneaux à utiliser soit élevé, les coûts d'implantation et d'exploitations restent raisonnables et largement en deçà du coût hydroélectrique. Des travaux sont déjà en cours dans l'optique de transformer cette plate forme en logiciel de simulation.

REFERENCES

- [1] Mellit, A., Benghanem, M. and Kalogirou, S.A. [2007], Modeling and Simulating of a Stand-Alone Photovoltaic System Using an Adaptive Artificial Neural Network: Proposition for a New Sizing Procedure, *Renewable Energy*, Vol. 32, N°2, pp 237 - 258.
- [2] European Commission, available from: <http://sunbird.jrc.it/pvgis/>. [accessed 12 07 2012].
- [3] Francis Domain, [2010], Systèmes solaires photovoltaïques : Technologies, fonctionnement, composants PV, mise en œuvre des installations, Institut National de l'Energie Solaire. Disponible à : <http://www.ines-solaire.com>. [accessed 12 07 2012].
- [4] Riad, K. and Mohamed, M. [2007], Modélisation linéaire et commande dans le référentiel synchrone d'un onduleur de tension pour générateur photovoltaïque connecté au réseau, *In 2IWH 2007 conference, 27-29 October 2007*, Ghardaïa – Algeria.
- [5] Ricaud, A. [2008], Modules et systèmes photovoltaïques, Disponible à : www.cythelia.fr/.
- [6] Tang, C.W. [1986], Two-layer organic photovoltaic cell, *Applied Physics Letters*, Vol. 48, N°2, pp 183-5.
- [7] Teske, S., Zervos, A., Sawyer, S. and De putte, J. V. [2007], Vers un avenir énergétique propre et durable, Greenpeace International et EREC, *Primavera Quint*, Pays-Bas.
- [8] Bierhoff, M.H. and Fuchs, F.W. [2004], Semiconductor Losses in Voltage Source and Current Source IGBT Converters Based on Analytical Derivation, *In Proc. of the Power Electronics Society Conference, IEEE 35th annual*, Vol. 4, pp. 2836-2842
- [9] Lopez, M. [2008] Contribution a l'optimisation d'un système de conversion Eolien pour une unité de production isolée, *Thèse de doctorat*, université de Paris sud-11.