

Etude et conception d'une installation photovoltaïque industrielle

Samir Arfa ^{#1}, Najeh Ben Abdall ALLAH ^{*2}

[#] *Department genie électrique, ISET de KAIROUAN-DGET-TUNISIA
Campus Universitaire Raccada – BP 3191 Raccada, KAIROAUN, TUNISIA*

¹arfa.samir@gmail.com

Abstract— Dans le cadre de la recherche appliquée et de l'ouverture de l'institut supérieur des études technologiques de Kairouan sur le milieu socio-économique, le présent travail présente une étude et un dimensionnement d'une installation photovoltaïque moyenne tension PV-MT pour une entreprise industrielle. Cette étude permet de déterminer le nombre des panneaux photovoltaïques nécessaires, les grandeurs électriques qui caractérisent le circuit électrique ainsi que le matériel et les composants électroniques nécessaires. La conception de l'installation photovoltaïque à l'aide du logiciel PV SOL permet de concevoir l'architecture de placement 3D des panneaux et le montage des matériels utilisés. Comme résultats, cette étude met en évidence l'économie de l'énergie réalisée grâce à l'utilisation de ce type d'énergie ainsi que son rôle de la protection de l'environnement et la réduction de l'émission du CO₂ qui provoque la pollution.

Keywords—Installation photovoltaïque; PV SOL; Dimensionnement; Installation industrielle MT-3D, impact environnemental;

I. INTRODUCTION

Il est très clair que le danger majeur de la consommation excessive du stock des ressources naturelles (fossiles) réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. De plus, face aux multiples crises économiques et pétrolières provoquées, la recherche scientifique s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de développement technologique.

L'État tunisien a été leader dans le secteur des énergies renouvelables par rapport aux pays arabes et africains. Elle est parmi les premiers pays qui ont créé le cadre juridique pour l'utilisation de ce type d'énergies (Loi N°2015-12 du 11 Mai 2015 [JORT Tunisienne]). Cette loi permet l'autorisation aux consommateurs de l'énergie électrique de produire l'énergie à partir des ressources renouvelables, et la vente d'électricité au réseau national en cas d'excès.

Dans le but de réduire les dépenses de l'électricité d'une entreprise industrielle raccordée au réseau MT, on voulait faire l'étude et le dimensionnement d'une installation PV. Le profil de consommation est défini à l'aide d'une courbe de charge. Il s'agit de concevoir en 3D l'installation en utilisant le logiciel PVSOL. Ensuite, nous mettons en place l'installation en utilisant le logiciel de dessin AutoCAD, et nous terminons par une introduction d'une étude de rentabilité qui sera bien développée dans un autre travail comme perspective.

Le présent travail sera planifié sur plusieurs parties. En premier lieu, ce sera une présentation d'une idée sur le secteur de l'exploitation de l'énergie photovoltaïque PV en Tunisie. Après, il y aurait lieu à une présentation du principe de l'énergie PV. La partie suivante sera consacrée au dimensionnement d'une installation photovoltaïque industrielle. La quatrième partie sera réservé au bilan énergétique annuel de la société. Ensuite, l'étude technoeconomique de l'installation sera présentée dans la partie suivante. La dernière partie sera réservée aux résultats techniques et économiques.

II. EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE EN TUNISIE

La source solaire en Tunisie est très favorable pour la production d'énergie photovoltaïque. Ce secteur est encore non développé et s'est limité uniquement au volet résidentiel domestique à petites échelles. En 2022, un million m² de panneaux photovoltaïques ont été installés. Dans ce secteur d'énergie renouvelable, la Tunisie prévoit d'atteindre une puissance qui doit dépasser la valeur de 1500 MW en 2030 selon le projet de production de l'électricité de la Tunisie 2010-2030 [1].

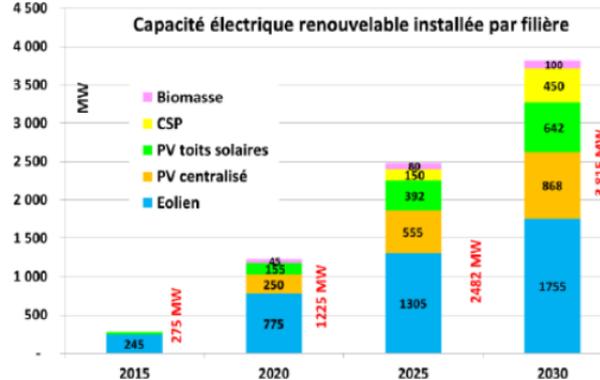


Fig. 1 Stratégie de production de l'énergie pour la Tunisie 2010-2030

Par comparaison à ses premières expériences, la Tunisie est en cours de lancer une stratégie beaucoup plus prometteuse et ambitieuse dans le but de lever le taux d'intégration des installations PV dans la production nationale de l'électricité. Cette stratégie se concentre principalement sur la diversification et la promotion de l'utilisation des sources d'énergie renouvelable, notamment en augmentant la part des énergies renouvelables dans la production nationale d'électricité à 30 % d'ici 2030.

III. ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

L'énergie photovoltaïque provient de la conversion des rayonnements du soleil à l'aide d'un système photovoltaïque.

Une cellule individuelle produit généralement une tension d'environ 0,5 V et une puissance faible, variant de 1 à 3 W. L'assemblage de plusieurs cellules formant un panneau permet une production électrique significative. En connectant les cellules en série, la tension totale augmente, tandis que la mise en parallèle augmente le courant pour une tension donnée. La modélisation d'une cellule photovoltaïque peut être représentée par le circuit électrique suivant [2-3] :

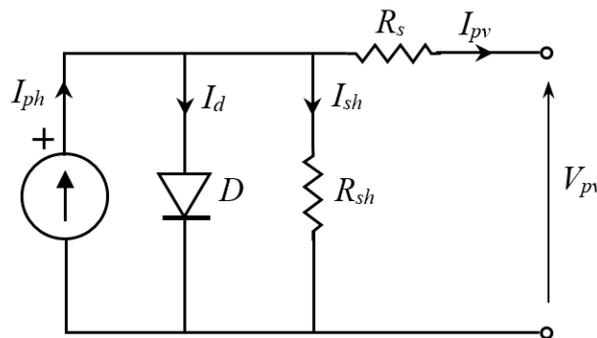


Fig. 2 Modèle électrique de la cellule PV.

L'équation mathématique du modèle électrique d'une cellule PV est présentée par l'équation suivante [4] :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (1)$$

Avec : $V_T = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}{q}$

- ✓ Le photo-courant I_{ph} est proportionnel à l'irradiation.
- ✓ La diode modélise le comportement de la cellule dans l'obscurité.

Les deux résistances sont sources des pertes internes:

- ✓ R_s modélise les pertes ohmiques. Elle est normalement très petite.

- ✓ R_{sh} modélise les courants parasites. Elle est de l'ordre de quelques ohms ($4 \Omega - 30 \Omega$).
- Notés bien que:
- ✓ I_{ph} représente le courant généré par l'ensoleillement (A)
- ✓ I_0 illustre le courant de saturation de D (A)
- ✓ k représente la constante de Boltzmann ($K = 1,38.10^{-23}$)
- ✓ q est la charge de l'électron ($q = 1,602.10^{-19}$ C)
- ✓ T est la température de la cellule ($^{\circ}K$)

IV. ETUDE TECHNIQUE ET DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PV RACCORDÉ

A. Choix du panneau

Le choix du panneau photovoltaïque pour l'installation est très important car il est l'élément basique de l'installation puisque son rôle est la conversion des rayons solaires en électricité.

Parmi les critères du choix du panneau solaire:

- ✓ La puissance maximale du panneau
- ✓ Le rendement énergétique du panneau
- ✓ La constante de la température
- ✓ La surface nécessaire pour l'emplacement

B. Choix de l'onduleur

L'onduleur permet de convertir l'intensité du courant continu produit par les modules PV en un courant alternatif. Les critères du choix de l'onduleur les plus importants sont:

- ✓ La puissance de l'onduleur doit être comprise entre 0,8 et 1,2 de la puissance de champ
- ✓ La plage de tension électrique d'entrée.
- ✓ La tension et la fréquence nominale.
- ✓ Le rendement de l'onduleur.

C. Calcul de la tension et du courant du panneau

L'identification des paramètres caractéristiques électriques nominales du panneau est très importante dans le cas du dimensionnement du l'onduleur et du câble électrique. Ci-dessous, nous présenterons les expressions de ces caractéristiques:

$$V_{oc_{min}} = (V_{oc} \times \alpha \times \Delta T) + V_{oc} \quad (2)$$

$$V_{oc_{max}} = (V_{oc} \times \alpha \times \Delta T) + V_{oc} \quad (3)$$

Tel que:

- ✓ V_{oc} : Tension de sortie du panneau PV
- ✓ α : Coefficient de température (V_{oc}) du panneau
- ✓ ΔT : Déphasage entre la valeur de la température du STC et la température maximale ou minimale de la région (-10° ou 70°).

$$I_{cc_{min}} = (I_{cc} \times \beta \times \Delta T) + I_{cc} \quad (4)$$

$$I_{cc_{max}} = (I_{cc} \times \beta \times \Delta T) + I_{cc} \quad (5)$$

Sachant que:

- ✓ I_{cc} : Courant de sortie du panneau
- ✓ β : Coefficient de température (I_{cc})

Définir les chaînes est obligatoire afin que l'onduleur fonctionne avec son rendement maximal.

D. Nombre des panneaux maximaux en série

$$Np_{max} = \frac{U_{max}}{V_{oc_{max}}} \quad (6)$$

- ✓ Np_{max} : Nombre des panneaux maximaux montés en série pour chaque string.
- ✓ U_{max} : Tension d'entrée maximale pour l'onduleur

E. Nombre de panneaux minimaux en série

$$Np_{min} = \frac{U_{min}}{V_{oc_{max}}} \quad (7)$$

- ✓ Np_{min} : Nombre des panneaux minimaux montés en série pour chaque string.
- ✓ U_{min} : Tension d'entrée minimale pour l'onduleur

F. Nombre de panneaux maximale en parallèle

$$N_{ch_{max}} = \frac{I_{max}}{I_{cc_{max}}} \quad (8)$$

✓ $N_{ch_{max}}$: Nombre des chaînes maximales montées en parallèle
 ✓ I_{max} : Courant maximal pour l'onduleur

V. MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels à fournir ainsi que les caractéristiques électriques et climatiques de l'installation sont décrits dans les tableaux suivants:

TABLE 1 MATÉRIELS UTILISÉS

	Nombre
Nombre des panneaux	*1046
Nombre des panneaux max en série	*25
Nombre des panneaux min en série	*10
Nombre des panneaux max en parallèle	*2 chaînes
Onduleur	*3 SUNNY TRIPOWER CORE 2

TABLE 2 CARACTÉRISTIQUE DU L'ONDULEUR SUNNY TRIPOWER CORE 2

	Caractéristique	Unité	Valeur
DC	Puissance maximale du générateur photovoltaïque	Wc	165000
	Tension d'entrée max.	V	1100
	Plage de tension MPP	V	500 à 800
	Tension d'entrée min. / tension d'entrée de démarrage	V/V	200 / 250
	Courant d'entrée max./courant de court-circuit max. par MPP	I/I	26 / 40
AC	Puissance assignée à tension nominale	W	110000
	Plage de tension AC	V	320 / 460
	Courant de sortie maximal	I	159

TABLE 3 CARACTÉRISTIQUE DU PANNEAU SOLAIRE CS3L-375

Caractéristiques	Symbole	Unité	Valeur
Puissance maximale	P_{max}	Wc	375
Rendement du module	R	%	20.3
Tension à P max	V_{mpp}	Volt(V)	34.3
Courant à P max	I_{mpp}	Ampère(A)	10.94
Tension circuit ouvert	V_{oc}	Volt(V)	41
Courant de court-circuit	I_{cc}	Ampère(A)	11.61
Coefficient de température (P max)	%/C°		-0.34
Coefficient de température (Voc)	%/C°		-0.26
Coefficient de température (Icc)	%/C°		0.05

TABLE 4 DONNÉES CLIMATIQUES

Site	Tunis, TUN (1996 - 2015)
Source des valeurs	Meteororm 8.1
Résolution des données	1 h
Modèles de simulation utilisés:	
Rayonnement diffus à l'horizontale	Hofmann
Irradiation sur la surface inclinée	Hay & Davies

VI. MÉTHODE ET OUTILS UTILISÉS

La conception de l'installation PV est réalisée à l'aide du logiciel PVSOL. C'est un outil très utilisé par les installateurs des installations PV. Ce logiciel permet la conception et la modélisation de l'installation en introduisant les grandeurs électriques trouvées lors du dimensionnement. De plus, au moment de la conception, on doit utiliser des équipements respectant la norme de sécurité et de qualité telle que la technologie des panneaux qui doit être autorisées par l'agence nationale de maîtrise de l'énergie ANME.

La figure ci-dessous est très important, en effet c'est une projection du dessus de l'installation, qui nous trace l'orientation des panneaux selon l'évolution optimale de l'ensoleillement en fonction de l'emplacement géographique de l'entreprise.



Fig. 6 Vue de dessus de l'installation PV MT du client

VII. SCHÉMA DE CÂBLAGES DES PANNEAUX PV

Le schéma réel de câblage des panneaux PV est indiqué par la figure suivante:

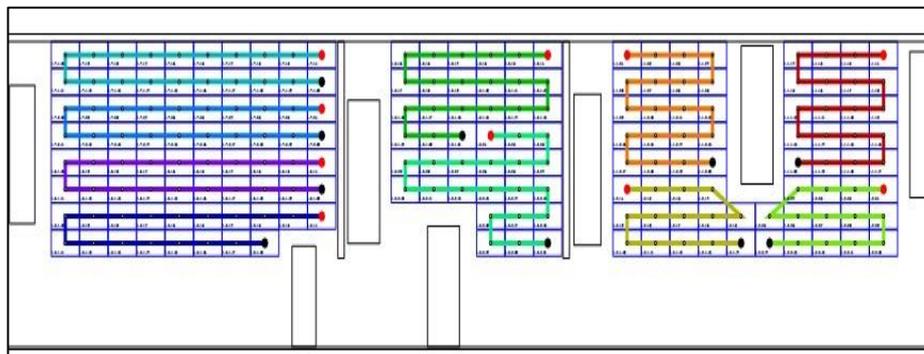


Fig. 7 Architecture de câblage des panneaux PV

La figure actuelle affiche le plan de raccordement détaillé des panneaux et l'ensemble des composants nécessaires.

VIII. BILAN ÉNERGÉTIQUE ANNUELLE DE LA SOCIÉTÉ

Le bilan énergétique annuel est identifié par la figure suivante. Ce bilan présente l'énergie fournie par l'IPV, l'énergie absorbée et la quantité d'énergie revendue par cette installation photovoltaïque.

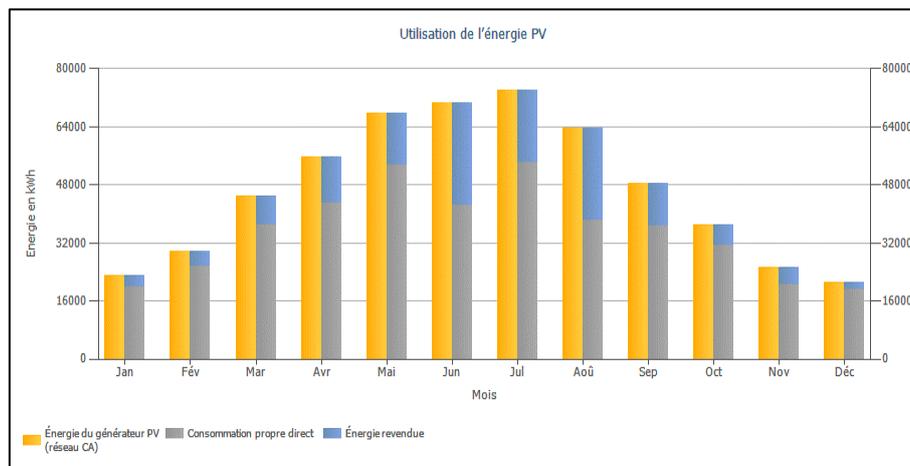
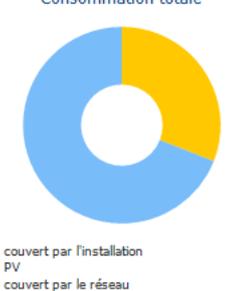


Fig. 8 Bilan énergétique annuelle

IX. RÉSULTATS DE L'INSTALLATION PV

L'étude techno-économique et le bilan énergétique de la production et de la consommation annuelle de cette installation sont donnés par les tableaux suivants:

TABLE 5 BILAN DE LA CONSOMMATION

Consommateurs	1.364.439	kWh/Année	 <p>Fig. 9 Consommation totale</p>
Consommation de veille (Onduleur)	66	kWh/Année	
couvert par l'installation PV	422.590	kWh/Année	
couvert par le réseau	941.915	kWh/Année	
Taux de couverture solaire	31%		

Le bilan énergétique de l'entreprise annuel nous indique l'énergie générée par l'installation photovoltaïque, l'énergie demandée et l'énergie fournie par le distributeur d'énergie en cas d'insuffisance du générateur PV. Ici se montre l'importance de l'utilisation des installations IPV raccordées.

TABLE 6 FACTURE ÉNERGÉTIQUE

	Valeur	Unité
Facture annuelle sans PV	319 629	DT/an
Facture annuelle avec PV	187 153	DT/an
Vente annuelle de l'excédent à la STEG	20 119	DT/an

TABLE 7 COÛT DE L'INSTALLATION IPV

	Valeur	Unité
Coût de l'installation Hors Taxes, Hors Subvention	997 406	DT
Subvention	199 481	DT
Autofinancement	20%	%
Coût net total de l'installation TTC, Subvention comprise)	917 613	DT
Taille de l'installation PV	390	kWc
Région (site PV)	Tunis	
Orientation des panneaux	Sud-ouest	

X. CONCLUSION

Le travail présenté dans ce papier donne la conception d'une installation photovoltaïque raccordée au réseau moyenne tension MT avec autoconsommation au sein de l'entreprise du client. Au début, nous avons donné quelques notions de base sur le domaine de l'énergie photovoltaïque. Puis, nous avons introduit les figures qui décrivent l'installation qui correspond à cet abonné. Un bilan montre que l'installation de l'énergie photovoltaïque peut aider l'industrie à optimiser la facture énergétique et lutter contre la pollution.

L'énergie photovoltaïque en Tunisie est une bonne solution pour produire de l'électricité et pour réaliser des bénéfices économiques face à l'augmentation successive du coût de l'électricité. De plus, un autre point fort pour l'investissement dans ce type d'énergie, c'est qu'en Tunisie nous profitons d'un taux de production un peu élevé grâce à la durée de l'ensoleillement annuel par rapport aux pays européens. Malgré ces avantages, l'investissement dans ce domaine en Tunisie est faible par rapport aux autres pays.

ABRÉVIATIONS UTILISÉES

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
STEG	Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz	DT	Dinar Tunisien
IPV	Installation photovoltaïque	TVA	Taux de la Taxe à la valeur Ajoutée
kW.h	kilo Watt heure	CA	Courant Alternatif
kW.c	kilo Watt crête	LCO E	Coût Moyen Actualisé de l'Énergie

RÉFÉRENCES

- [1] Christopher Gross, 'Projet « Promotion des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en Tunisie', Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH', Le marché photovoltaïque en Tunisie, Juillet 2013.
- [2] Bensaci Wafa, 'Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT', Mémoire master, université kadi Marbah Ouargla, 2012.
- [3] A. Benayad, 'Modélisation des panneaux photovoltaïques par les méthodes de soft computing', mémoire de Magister, Département de Génie Electrique, Université de Béjaia 2011.
- [4] Fatima Zohra Tayaoui, 'Utilisation de composites à base de polymères conjugués dans les cellules photovoltaïques pour la conversion du rayonnement solaire', Mémoire de mastère, Soutenue publiquement le 29- 06 -2013