

Etude et dimensionnement d'un système frigorifique photovoltaïque

Fonctionne en courant continu pour le site de Bou-Ismaïl (UDES).

BERDJA Mohand, LAIDI Maamar, BENHABILES Asmahane, GEURS Sidali, ABBAD Ibrahim.

Résumé Ce travail présente l'étude de la performance d'un réfrigérateur domestique ENIEM d'un volume utile de 160L utilisant un compresseur de type DANFOSS d'une puissance de 65W et fonctionnant en 24VCC. Ce dernier étant alimenté avec un groupe de modules photovoltaïques d'une puissance de 300 Wc relié à un régulateur de charge et des batteries pour le stockage afin d'alimenter notre système pendant l'absence d'ensoleillement. Les différents tests effectués nous ont permis d'évaluer le comportement de notre réfrigérateur. Les valeurs de rayonnements solaires utilisés sont relatives au site d'Alger : Bousmail.

Mots clés: Générateur photovoltaïque; Réfrigérateur domestique; Energie solaire; Froid solaire à compression

I. INTRODUCTION

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agro-alimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte...) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges. Plusieurs travaux ont été réalisés dans ce sens. Thomachan A et al. [1] ont étudiés la performance thermique d'un réfrigérateur domestique photovoltaïque, où ils représentent la performance en refroidissement, en réchauffement et en régime permanent d'un réfrigérateur domestique de 100 W (courant alternatif) muni de panneaux photovoltaïque comme source d'énergie, des batteries et un onduleur. Les auteurs ont montré que la performance ne diminue pas lorsqu'on utilise une source de courant alternatif non sinusoïdal afin de le faire fonctionner.

BERDJA Mohand, Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES, Route Nationale N°11, BP386, Bou-ismaïl, 42415, Tipaza
Email : berdjamohand@yahoo.fr


Dai Y.J et al. [2], ont mené une étude expérimentale sur un réfrigérateur thermoélectrique alimenté par un panneau photovoltaïque, durant lequel ils ont présenté la variation de COP, le courant et la tension de système. Anish M et al. [3] ont analysé économiquement la performance d'un réfrigérateur domestique actionné par une cellule photovoltaïque.

L'objectif principal de cet article est d'étudier le mode de fonctionnement d'un réfrigérateur ENIEM (Marque Algérienne). Un compresseur de type DANFOSS 24 VCC qui sera adapté afin de réduire les coûts du à l'onduleur.

II. PARTIE EXPERIMENTALE

A. Description du réfrigérateur

Tableau 1. DESCRIPTION DU REFRIGERATEUR ENIEM 160l, [4].

Une (01) porte réversible	
Capacité totale	160 L
Thermostat réglable	
Dégivrage semi-automatique	
Éclairage intérieur	
- Alimentation :	24 V
- Consommation d'énergie (kwh/24H)	0,65
- Classe énergétique	C
- Classe climatique	N
- CFC	0 %

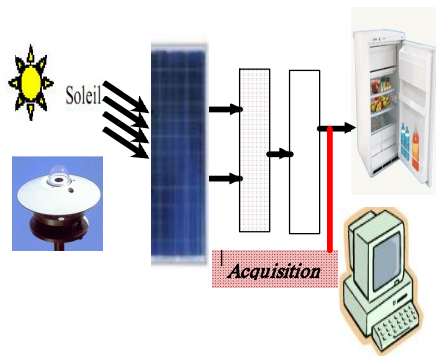


Fig. 1-a: Schémas synoptique

B. Acquisition de données

Les thermocouples ont été placés comme suit : entrée-sortie compresseur, entrée-sortie condenseur, entrée-sortie évaporateur, entrée détenteur, chambre de congélation, chambre inférieur et l'ambient. Les thermocouples utilisés sont de type K. L'acquisition de données a été faite en utilisant Hydra 2700 Datalogger avec un enregistrement toutes les 30s. Les mesures des pressions d'entrée et de sortie du compresseur ont été faites en utilisant deux manomètres haute et basse pression.

III. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

A .Caractéristiques du système photovoltaïque

Le système photovoltaïque assurant l'alimentation en énergie électrique du réfrigérateur ENIEM 160L est de puissance 300Wc ; est de parc de batteries stationnaires de capacité 95Ah.

Ce champ photovoltaïque est composé de six (04) modules photovoltaïques type IS75W/12V. Le calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque est fait en considérant gisement solaire d'une localité située au sud algérien (éclairage moyen de l'ordre de 05 à 06 kWh/m²/jour) et un facteur de performance PR= 0.6.



Figure 1-b: Champ photovoltaïque

B .Parc de batteries stationnaires

Le Parc de batteries solaires est formé de six (04) batteries stationnaires d'une capacité de 95Ah (12V) chacune. L'ensemble de ces quatre batteries est monté de telle façon à avoir une tension de fonctionnement de 24V et une capacité totale de 73Ah. Cette capacité a été calculée pour assurer une autonomie du système de trois (02) jours et une profondeur de décharge de l'ordre de 80%.

C . RETScreen

Le Logiciel d'analyse de projets d'énergies propres RETScreen International est un outil unique d'aide à la décision développé en collaboration avec de nombreux experts de l'industrie, du gouvernement et du milieu académique. Offert gratuitement, il peut être utilisé partout à travers le monde pour évaluer la production et les économies d'énergies, le coût sur le cycle de vie, les réductions des émissions, la viabilité financière et le risque de différentes technologies d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables. Le logiciel inclut des bases de données de produits, de coûts et climatiques, ainsi qu'un manuel de l'utilisateur en ligne, [7].

Le dimensionnement du système consiste en la détermination des deux principales grandeurs à savoir la taille du champ photovoltaïque produisant de l'énergie électrique et la capacité du stockage énergétique (batterie) pour une certaine durée d'autonomie de fonctionnement. D'une manière générale, pour dimensionner un système photovoltaïque, les dimensions des sous-systèmes qui le composent (champs de modules, batteries) sont données en tenant compte de la ressource énergétique solaire existante sur le site où le système est implanté (rayonnement solaire) et du profil de charge du réfrigérateur (c'est-à-dire la consommation journalière moyenne). Il est bien entendu que la fiabilité et l'efficacité du système solaire dépendent étroitement du dimensionnement effectué.

Les résultats de rayonnement global incliné sont obtenus avec une orientation 8° sud. La figure 2 montre la variation journalière du flux solaire mesuré par un Pyranomètre de type CIMEL 5,31 μ V/W/m².

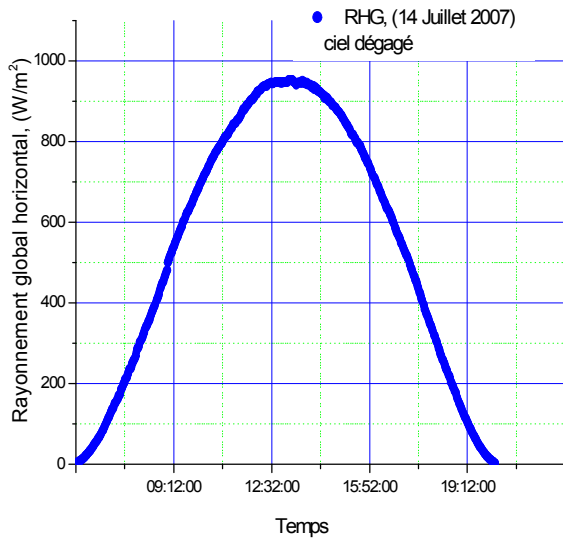
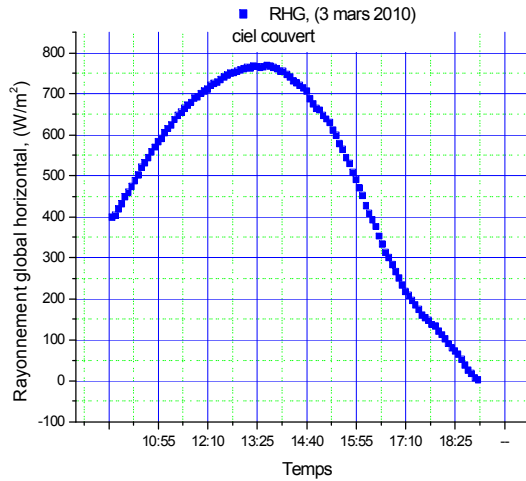


Figure 2. Variation journalière du flux solaire

D. Dimensionnement

La procédure du dimensionnement consiste à déterminer, dans un premier temps, le rayonnement global journalier sur un plan incliné (RIG). En suite, déterminer la taille du champs photovoltaïques (la surface du champs et le nombre de modules en série et en parallèles) et de la capacité de stockage,

Les modèles utilisés dans le dimensionnement sont tirés de l'article [5]. Le calcul de RIGJ est basé sur l'intégration de la fonction de RIGJ. La durée d'ensoleillement a été définie par l'Organisation météorologique mondiale comme le temps pendant lequel le rayonnement solaire dépasse le niveau de 120 W/m², [6]. Le RIGJ employé a été saisi directement de RETScreen[®] International en décembre (cas plus défavorable), [7]. De plus, un autre dimensionnement a été fait avec l'aide du logiciel de dimensionnement photovoltaïque

EASYOS dans le but de comparer les résultats obtenus.

E. Calcul de la taille du générateur PV

Le générateur photovoltaïque est responsable de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Il est constitué de 4 modules photovoltaïques en silicium monocristallin d'une puissance de 75 Wc chacun. La taille du GPV est l'aire occupée par l'ensemble des modules photovoltaïques montés en série et en parallèle, pour satisfaire les besoins énergétiques de l'utilisateur.

$$A = S_{\text{mod}} \times NMP \times NMS \quad (1)$$

$$NMS = VM / VM_{\text{nom}} \quad (2)$$

Considérant le rendement de la batterie et le rendement du onduleur, le rendement du système peut s'écrire [5].

$$\eta_{\text{sys}} = \eta_g \times \eta_B \times \eta_C \quad (3)$$

$$NMP = \left[\frac{FS \cdot CJM}{RHGM \cdot \eta_{\text{sys}} \times S_{\text{mod}} \times NMS} \right] \quad (4)$$

F. Calcul de la capacité du parc de batteries

Pour dimensionner la capacité du parc de batterie, on a adopté la méthode suivante [5, 6, 7]:

- Calculer la consommation journalière moyenne (CJM);
- Déterminer le nombre de jour d'autonomie (J aut) dont on souhaite bénéficier;
- Déterminer la profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie (Dm) d'après le type de batterie utilisée;
- Calculer la capacité (Cacc) de la batterie, en appliquant la formule suivante (5),
Alors:

$$C_{\text{acc}} = \frac{CJM \cdot J_{\text{auto}}}{VB \eta_B \cdot Dm} \quad (5)$$

$$NB = \frac{C_{\text{acc}}}{CB}; \quad NBP = \frac{NB}{NBS};$$

$$NBS = \frac{V_{\text{installation}}}{VB} \quad (6)$$

G. Calcul du besoin énergétique

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est basé sur l'évaluation des besoins en énergie électrique (consommation journalière moyenne CJM) de l'utilisateur. Ces besoins sont des charges, en courant continu, estimées égales 650 Wh/J. Le calcul on a abouti aux résultats suivants :

IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

A. Dimensionnement par EASYOS

L'utilisation de logiciel de dimensionnement de champs photovoltaïque hors réseau EASYOS, nous a permis de déterminer la consommation journalière, ainsi que le nombre de module et de batterie nécessaire pour le fonctionnement de notre réfrigérateur pour une autonomie de 48 heures (pour le nord). Les résultats sont donnés dans ce qui suit :

Tableau 2. Consommation du réfrigérateur ENIEM 160L.

Appareil à alimenter	Nombre	Puissance (W)	Tension (V)	Temps (h)	Consommation (Wh)
Refrigerateur	1	65	24	10	650,00

Avec une consommation totale prévisionnelle : 650,00 Wh/jour,
Soit : 27,08 Ah/jour et une tension du générateur solaire : 24 Volts

Tableau 3. Générateur optimize

Production	Stockage
Puissance totale: 300 Wc Type de module: 75 Wc Quantité: 4 modules Configuration: 2 en série x 2 en parallèles	Tension: 24 Vdc Capacité: 73 Ah c/100 Autonomie: 48 h (2 jours)

B. Temps de marche de compresseur

D'après la figure 5, on constate que, quand le compresseur démarre pour la première fois, il utilise une puissance de démarrage égale à 82W et un courant de démarrage égal à 4,5A, en suite,

il se stabilise rapidement à une puissance constante de 65W (2,7 A).

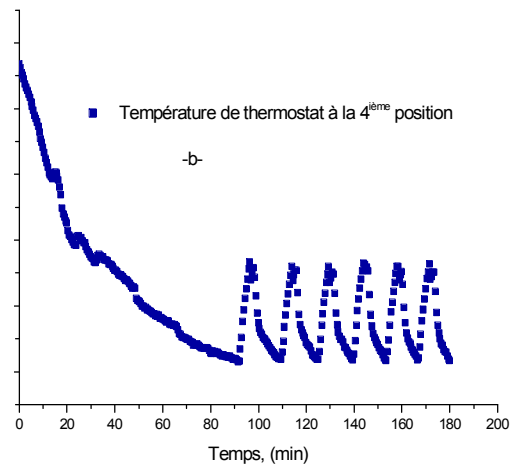
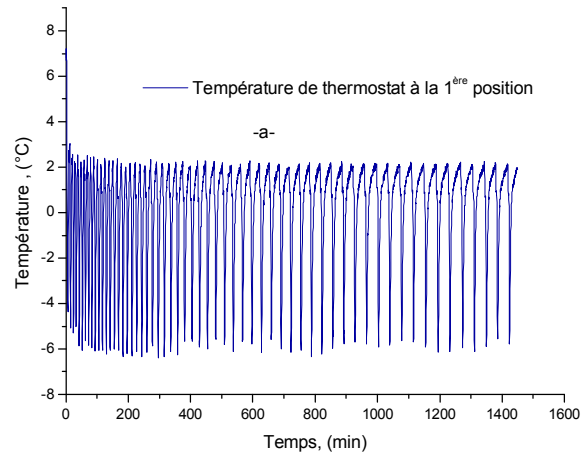


Figure 5. Variation de la température de réfrigérateur ($T_{amb}=17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Le temps de marche de compresseur varie en fonction du besoin, à l'instar de résultats trouvés, on constate que, le temps de marche en position première est approximatives la moite par rapport aux quatrièmes. Le tableau qui suit récapitule les valeurs de temps trouvées au cours de test.

Tableau 4. Temps de marche de compresseur

Position de thermostat	Temps de marche (h/jour)
1	5,5
4	12

C. Test de comportement du compresseur

D'après le diagramme h-log (p) on voit que le réfrigérant entre dans le compresseur à l'état surchauffé à une pression de 1,6 bar et 19 °C, on suite le fluide subit une compression adiabatique, ce qui entraîne une augmentation de pression à 6 bar et 35 °C.

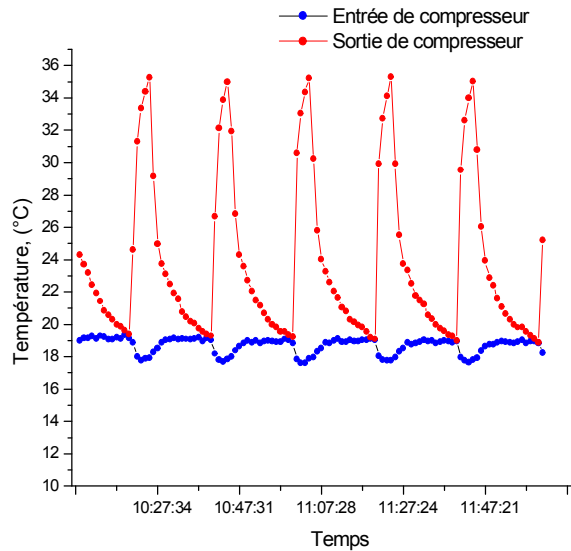


Figure 6. Variation de la température de compresseur ($T_{amb}=17,5\text{ °C}$).

Afin d'examiner le fonctionnement de compresseur en régime permanent, on a tracé le profil de la température à l'entrée et à la sortie de compresseur (fig.6). On a constaté qu'à chaque cycle la température de l'entrée et de sortie atteint la même valeur à l'arrêt du compresseur, ce qui explique l'égalité de la pression d'aspiration et de refoulement. Durant chaque cycle le compresseur fonctionne pendant cinq minutes.

Test de comportement de l'évaporateur et du condenseur

Le but de ce test est la vérification de la surchauffe et le sous-refroidissement, ces derniers sont des renseignements importants sur les conditions de fonctionnement du circuit frigorifique en particulier le compresseur. La surchauffe indique l'écart de température du gaz réfrigérant à la sortie de l'évaporateur (gaz) et la

température d'évaporation lue au manomètre BP, (relations : pression, température). Cet écart représente la qualité de remplissage de l'évaporateur. Une surchauffe convenable est comprise entre 5° C à 8° C. Le sous-refroidissement est l'écart de température du réfrigérant liquide à la sortie du condenseur et la température de condensation. Cet écart représente la qualité de remplissage du circuit frigorifique. Un sous-refroidissement convenable est compris entre 4°C à 7°C.

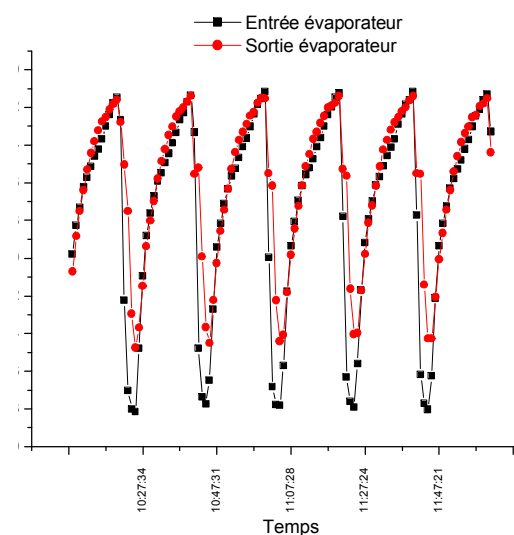


Figure 7. Variation de la température de l'évaporateur ($T_{amb}=17,5\text{ °C}$).

Tableau 4. Propriétés de cycle frigorifique

BP	Température (°C); (Température de vaporisation)	-19
	Pression effective (bar)	0,6
HP	Température (°C); (Température de condensation)	28
	Pression effective (bar)	6
Température de la sortie de l'évaporateur (°C)		-14
Température de la sortie du condenseur (°C)		23

D'après le tableau qui suit, on déduit les valeurs de la surchauffe et le sous-refroidissement sont bien confondues aux valeurs trouvées dans la littérature.

$$\Delta T_{\text{surchauffe}} = 5^{\circ}\text{C}; \quad \Delta T_{\text{sous-refroidissement}} = 5^{\circ}\text{C}$$

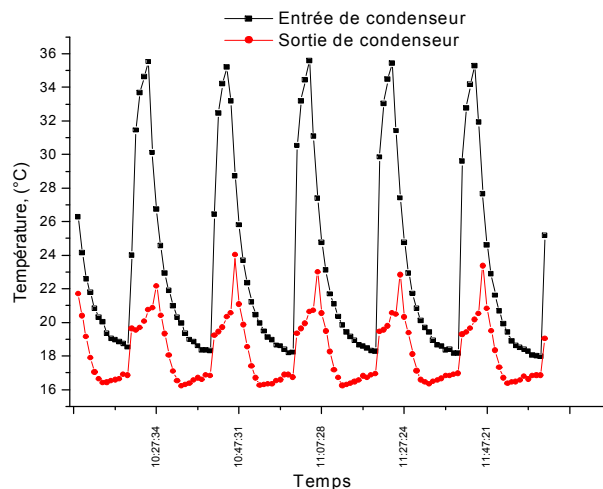


Figure 8. Variation de la température du condenseur ($T_{\text{amb}}=17,5^{\circ}\text{C}$).

Le rôle d'un détendeur dans une machine frigorifique est d'assurer l'alimentation correcte de l'évaporateur pour obtenir les meilleures performances tout en assurant la sécurité du compresseur. La différence de température entre l'entrée et la sortie est 13°C et le réfrigérant entre dans l'évaporateur avec une fraction de 10% de liquide.

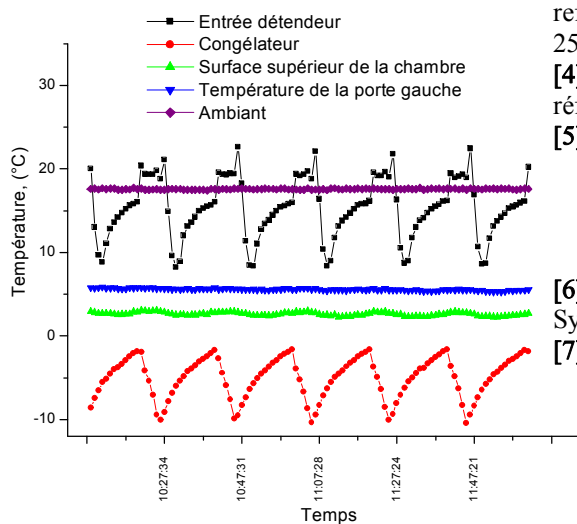


Figure 9. Variation de la température du condenseur

V. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déterminer tous les facteurs et paramètres importants à savoir:

Le rayonnement global journalier incliné reçu sur le site de Bousmail en mois de mars;

- Le temps de marche de compresseur en régime transitoire;
- La taille du générateur photovoltaïque et la capacité de la batterie à installer.

Les résultats trouvés concernant la surchauffe et le sous-refroidissement sont dans les normes ce qui explique le bon fonctionnement de chaque constituant dans notre cycle frigorifique.

References

- [1] A. Thomachan Kattakayam, K. Srinivasan, "Thermal performance characterization of photovoltaic driven domestic refrigerator", International Journal of Refrigeration, 23(2000) 190-196.
- [2] Y.J. Dai, R.Z. Wang, L. Ni, "Experimental investigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells", Renewable Energy 28 (2003) 949-959.
- [3] M. Anish, C. Anirban, V. Bhavesh, M. J. yotirmay, "Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator", Applied Energy 86 (2009) 2583-2591.
- [4] www.eniem.dz, Société de fabrication des réfrigérateur domestique, Algérie.
- [5] J. Royer et al., "Le pompage photovoltaïque", Manuel de cours, Institut de l'Énergie des Pays ayant en commun l'usage du Français, Québec (Canada), 1998.
- [6] Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Book. ISBN 978-0-12-374501-9.
- [7] RETScreen® International, Logiciel d'analyse de projets sur les énergies propres, <http://www.retscren.net/fr/home.php>.