

# RÉALISATION PRATIQUE D'UN SYSTÈME DE PURIFICATION D'EAU UTILISANT LA SOURCE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE AVEC SUIVI DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

MANSOUR ZEGRAR<sup>1</sup>, M'HAMED HOUARI ZERHOUNI<sup>2</sup>, FATIMA ZOHRA ZERHOUNI<sup>3</sup>

**Mots clés :** Osmose inverse ; Photovoltaïque ; Suivi du point de puissance maximale ; Hacheur ; Commande.

Cet article est consacré à la réalisation d'un osmoseur alimenté par un générateur photovoltaïque. L'idée est née pour répondre à un besoin réel que vit notre pays. En effet, l'eau potable est très rare dans les zones rurales et l'absence de réseau électrique n'offre aucune solution pour la purifier. Pour étayer notre travail, nous présentons le montage adopté pour la réalisation de cet osmoseur, l'étude théorique de son alimentation par voie solaire ainsi que la commande pour un fonctionnement au point de puissance optimale. Le banc d'essai réalisé est finalement présenté avec les résultats expérimentaux obtenus.

## 1. INTRODUCTION

Ce présent travail a pour objectif la réalisation expérimentale d'un système de purification d'eau avec comme source d'énergie le générateur photovoltaïque avec commande MPPT (maximum power point tracker). Le traitement de l'eau par osmose inverse est un moyen de filtration pour une eau très chargée en calcaire, pour la production d'eau potable ainsi que pour son dessalement. Des filtres assez fins doivent pouvoir retenir les molécules en suspension dans l'eau, mis à part celles d'eau. En finalité, l'eau obtenue est pure.

Les points faibles de ce type de traitement sont le coût des filtres et sa consommation en énergie. Alimenter par voie photovoltaïque va amortir l'investissement initial et baisser le coût du litre d'eau. L'usage du MPPT permet d'utiliser l'excédent de la puissance disponible dans les conditions optimales, pour charger des batteries de stockage. Cela permet de prolonger la durée d'exploitation de l'osmoseur en l'absence d'ensoleillement et par conséquent compenser le faible débit qu'offre un tel osmoseur.

## 2. OSMOSE INVERSE

C'est un moyen de séparation en phase liquide qui assure l'élimination d'un solvant : eau en général, d'une solution par perméation sélective. Ceci se fait à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de pression (54 bars à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer) [1–3].

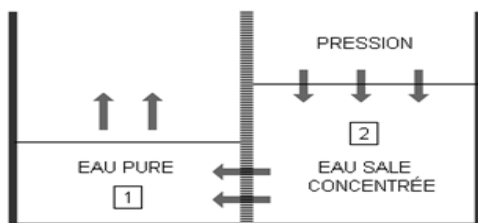


Fig. 1 – L'osmose inverse

## 3. MONTAGE DE L'OSMOSEUR

La Figure 2 montre le système réalisé. L'osmoseur est formé de plusieurs filtres à travers lesquels l'eau va circuler et va être purifiée. Plusieurs étapes se succèdent.

Chacune d'elles a pour objectif de débarrasser l'eau de composants précis pour sa purification. La pièce maîtresse de ce système est la membrane d'osmose inverse. Il y'a :

- un premier filtre à sédiments : Il a pour rôle la rétention des algues, du sable, de la rouille et des particules en suspension. Ce filtre est de 5 microns.
- un filtre charbon : Il empêche les composants chimiques et organiques de passer, comme les pesticides, les herbicides, les insecticides, le chlore et autres produits chimiques ou organiques indésirables présents dans l'eau.
- un autre filtre à sédiments : ce troisième filtre renforce l'action du premier, en rejetant les particules les plus fines restantes dans l'eau. C'est un filtre de 1 micron.
- la membrane d'osmose inverse : c'est la pièce principale de l'osmoseur. Elle est chère voire introuvable. Elle retient tous les composants comme les virus, les bactéries, le fluor, le plomb, le chrome, le mercure...
- Le bac au-dessus de la table sert de réservoir pour l'eau purifiée.



Fig. 2 – Réalisation de la table d'osmose.

La Figure 3 représente la pompe hydraulique utilisée pour produire la pression nécessaire à l'osmoseur. Elle délivre une pression de 72 PSI, soit de 5 Bars pour un débit de 0.8 l/mn. Ceci répond aux conditions d'utilisation de notre membrane qui nécessite une pression comprise entre 4 et 6 bars pour un rendement optimal.

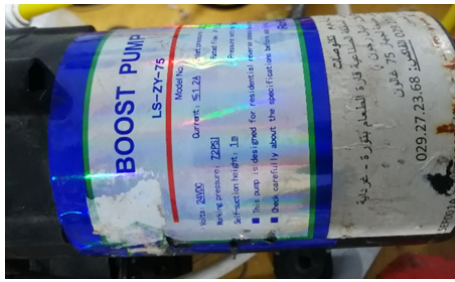


Fig. 3 – Pompe hydraulique.

#### 4 TEST DE L'OSMOSEUR AVEC UNE ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Un banc d'essai réalisé a permis d'effectuer des tests pratiques dans les conditions suivantes :

- L'alimentation en eau se fait directement du robinet ce qui permet de se passer d'une pompe de gavage.
- Les osmoseurs du commerce sont dotés d'un commutateur basse pression. Il permet de régler la pression de rejet pour maintenir la pression adéquate au niveau de la membrane. Sinon le débit obtenu est légèrement affecté.
- Sans les électrovannes qui sont utilisées pour arrêter le système en cas de remplissage du bac de récolte de l'eau purifiée ou dans le cas de manque d'eau d'approvisionnement.

La mise en marche du système a été très concluante. Un TDS (total dissolved solid) est réalisé pour évaluer le degré de pureté de l'eau osmosée. L'eau à traiter présentant un TDS de 1400, a abouti à une eau pure d'un TDS de 100, alors que l'eau rejetée présentait un TDS de 1600.

Sachant que les laboratoires d'analyse sensés travailler avec de l'eau ultra pure (H<sub>2</sub>O exclusivement) se contentent d'une eau dont le TDS est inférieur à 100, on estime que le rendement de l'osmoseur est plus que satisfaisant selon les résultats obtenus.

L'osmoseur étant testé, la suite du travail consiste à remplacer l'alimentation électrique par un générateur photovoltaïque GPV.

#### 5. ADAPTATION DU GPV A LA CHARGE

Le travail consiste à réaliser une source de tension continue de 24 V pouvant délivrer un courant de 1,5 A pour la pompe hydraulique à partir d'un module photovoltaïque. Le module utilisé est de marque ZYTECH. Ses caractéristiques apparaissent sur la plaque signalétique en Fig. 4.

ZYTECH SOLAR		www.zytech.es
Model	ZT180S	
Maximum Power(Pm)	180 W	
Power tolerance	±5 %	
Open-circuit voltage(Voc)	44.28 V	
Short-circuit current(Isc)	5.60 A	
Voltage at Pmax(Vmp)	35.85 V	
Current at Pmax(Imp)	5.05 A	
Weight	16 Kg	
Module dimension	1580×808×35 mm	
Fuse rating	15 A	
Maximum system voltage	1000 V	
Temp coefficient of Voc	-(180 ± 10) mV / °C	
Temp coefficient of Isc	+(0.0065 ± 0.015) % / °C	
Temp coefficient of Power	-(0.5 ± 0.05) % / °C	
All technical data at Standard test condition AM=1.5 E=1000W/m <sup>2</sup> Tc=25°C		
 		IEC61215

Fig. 4 – Plaque signalétique du module utilisé.

#### 6. POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

La puissance maximale du module est de 180 W alors que la puissance requise pour alimenter la pompe est de l'ordre de 36 W. L'exploitation de la puissance maximale permet d'utiliser le surplus de cette puissance pour recharger une batterie de 24 V pouvant se substituer au GPV en l'absence d'ensoleillement (la nuit par exemple). Pour la poursuite du point de puissance maximale [4–11], une méthode simple est de garder le point de fonctionnement près du point de puissance optimale, en adaptant la tension du GPV à une tension de référence. En effet, la variation de la tension optimale  $V_{opt}$  en fonction de  $V_{oc}$  (tension en circuit ouvert du GPV) est linéaire, quelles que soient les conditions de travail [12]. L'approximation est donnée selon :

$$V_{opt} = \frac{75 V_{oc}}{100}. \quad (1)$$

#### 7. DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Un hacheur parallèle, avec un condensateur placé aux bornes du GPV (Fig. 5) en parallèle, va imposer à celui-ci une tension inférieure par rapport à celle en couplage direct à la charge [13]. Cela est dû au fait que la tension du GPV va commuter entre deux valeurs qui sont  $V_{fct}$ : la tension de fonctionnement, lorsque l'interrupteur de puissance est ouvert et la tension  $V_L$  proche du zéro lorsque l'interrupteur est fermé. Comme les deux tensions sont inférieures à  $V_{oc}$  la tension moyenne résultante au niveau du GPV va être d'autant plus faible que le rapport cyclique du hacheur est élevé. En variant le rapport cyclique, on peut donc ajuster la tension moyenne aux bornes du GPV et de la sorte la réguler pour lui imposer une valeur précise.

Plusieurs mesures dans des journées fortement ensoleillées ont permis de constater que le  $V_{oc}$  du module est aux alentours de 40.6 V. Le courant de court-circuit  $I_{cc}$  est de 5.05 A à peu près.

La tension optimale sous laquelle doit fonctionner le module selon l'équation (1) est de 30 V.

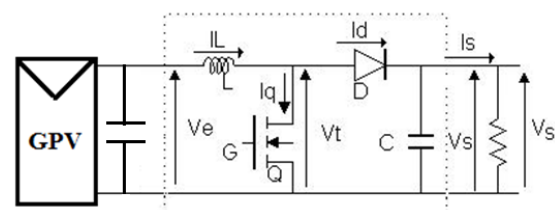


Fig. 5 – Schéma du hacheur parallèle aux bornes du GPV.

- La bobine a été réalisée en bobinant un fil en cuivre vernis autour d'un noyau de récupération en ferrite. Une valeur de 6.2 mH est atteinte. L'inductance L de la bobine a un impact direct sur la qualité de la tension de sortie. En effet, les ondulations de la tension et du courant sont inversement proportionnelles à la valeur de L. La sortie peut toujours être améliorée en augmentant la fréquence de hachage et/ou la capacité du condensateur de filtrage.

- Le Mosfet est le composant le plus rapide parmi les interrupteurs de puissance. Son choix a été dicté par la fréquence qu'exige un système de régulation. En effet, la fréquence de commutation du Mosfet va être imposée par le régulateur de la tension. Un Mosfet de type IRF840 a été utilisé, il peut aller jusqu'à un courant de 8 A sous une tension maximale de 600 V.

- Le condensateur est du type polarisé avec une capacité de 2200 $\mu$ F et une tension maximale de 500 V.
- Une bobine de lissage a été ajoutée à la sortie pour mieux filtrer le courant. Elle a pour inductance 10  $\mu$ H.
- Une diode de roue libre est devenue nécessaire dès l'ajout de la bobine de lissage. Une diode rapide de type BYT12 est utilisée.

Le principe de la régulation de la tension du GPV est basé sur la comparaison de la tension mesurée avec une référence fixe. La sortie du comparateur commute entre Vcc et la masse à chaque fois que la tension mesurée bascule d'un côté ou de l'autre de la tension désirée. Comme un comparateur est sensible à des différences de tension aussi faibles que les  $\mu$ V, ses changements d'état vont être très rapides et la fréquence va rapidement dépasser celle tolérée par le Mosfet. Comme constaté dans les résultats expérimentaux, le Mosfet n'arrive pas à suivre le rythme du comparateur. La Figure 6 montre la forme d'onde du signal de commande obtenu expérimentalement avec un simple comparateur. Une fréquence très élevée (parties sombres de l'oscillogramme) peut facilement dépasser la fréquence de commutation maximale du Mosfet.

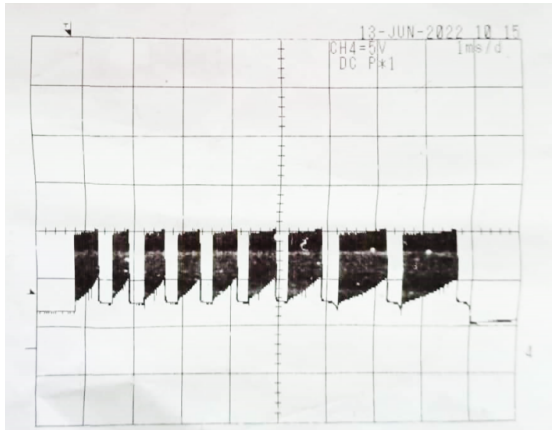


Fig. 6 – Résultat pratique de l'oscillogramme de la tension de commande du Mosfet.

Pour y remédier, un comparateur à hystérésis est utilisé. La Figure 7 montre le principe.

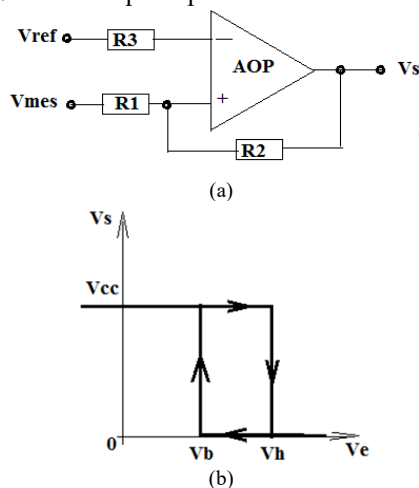


Fig. 7 – Principe d'un comparateur à hystérésis : (a) : montage, (b) ;  $V_s = f(V_e)$ .

Une étude analytique de la relation entre l'entrée et la sortie de l'amplificateur opérationnel montre que la sortie ne passe à l'état bas que si la tension  $V_e$  ( $V_{mes}$  dans ce cas (Fig. 7 a) dépasse le seuil haut ( $V_h$ ) (Fig. 7 b) et reste dans cet état tant que la tension  $V_e$  est supérieure à  $V_h$ . Lorsque

$V_e$  devient inférieure à  $V_h$ , la sortie reste toujours au niveau bas et ne bascule au niveau haut que lorsqu'elle franchit la tension de seuil bas ( $V_b$ ).

Les tensions  $V_b$  et  $V_h$  peuvent être ajustées en utilisant les équations (2) et (3) de manière à englober la valeur moyenne de la tension à réguler (30 V).

Nous avons choisi des résistances de manière à avoir  $V_b = 29.8$  V et  $V_h = 30.2$  V.

Le fait de tolérer ce léger déplacement de la tension de part et d'autre de la tension recherchée permet de ralentir les changements d'état du comparateur et de cette façon, de diminuer la fréquence de commutation du MOSFET.

L'amplificateur utilisé est du type LM339. Ona:

$$V_b = V_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$V_h = V_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{cc} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Le Mosfet présente des capacités parasites entre la grille et la source et entre la grille et le drain. Pour atteindre la tension de seuil d'amorçage du Mosfet, il faut passer par la charge de la capacité grille-source  $C_{gs}$  et cela nécessite un courant. Plusieurs études traitent de la manière optimale de commander un Mosfet. Il faut une tension supérieure à sa tension de seuil et un courant non négligeable. Pour le bloquer, un courant inverse doit pouvoir circuler pour décharger la capacité  $C_{gs}$  en deçà de la tension de seuil.

La Figure 8 représente le montage réalisé pour répondre à toutes ces contraintes. L'amplification en courant est obtenue en utilisant un transistor NPN (2N1711) monté en collecteur commun. Une résistance  $R_g = 47 \Omega$  devant la grille permet de limiter le courant à 0.5 A (obtenu selon  $(V_{cc} - V_{ce})/R_g$ ).

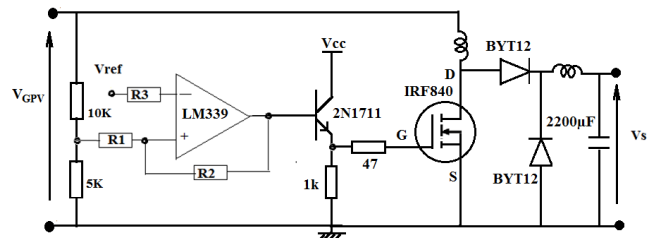


Fig. 8 – circuit de poursuite du point de puissance maximale.

## 8. RÉSULTATS PRATIQUES

Après avoir câblé le montage tel que montré par la Fig. 8, et branché une charge de 60 $\Omega$  à la sortie du hacheur, une mesure de la tension aux bornes du GPV est effectuée. La tension a une valeur moyenne de 30 V qui est la valeur escomptée. La tension de sortie est montée jusqu'à 100 V.

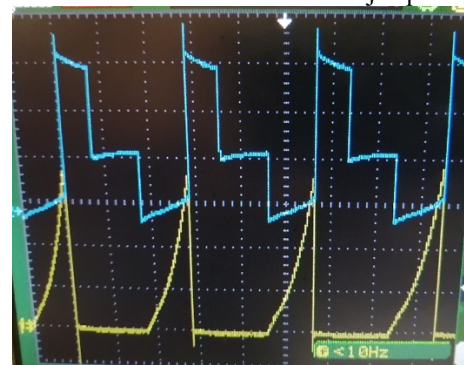


Fig. 9 – Courant et tension du MOSFET (la tension aux bornes du Mosfet en haut (bleu) et du courant le parcourant en bas (jaune).) En bleu : tension : 10 V/d, en jaune : courant 0.5 A/d.

La puissance ( $V^2/s/Rch$ ) consommée par la charge vaut dans ce cas 167 W ce qui avoisine la puissance maximale indiquée par le constructeur et qui est de 180 W (valeur aux conditions standards). Cette légère différence est attribuée à la tolérance de la résistance et aux pertes aux niveaux de la bobine et du Mosfet. La Figure 9 montre les allures de la tension aux bornes du Mosfet (bleu) et du courant le parcourant (jaune).

Si le hacheur parallèle réalisé permet d'imposer la tension  $V_{opt}$  correspondant à la tension du point de puissance optimale aux bornes du GPV, il n'offre aucune possibilité pour le contrôle de sa tension de sortie. Cette tension sera supérieure à celle de l'entrée (30 V).

La pompe hydraulique à alimenter à partir du module photovoltaïque exige une tension de 24 V et un courant de 1.5 A. La tension disponible étant supérieure à 24 V, un hacheur série est utilisé pour l'abaisser.

L'hacheur série permet d'obtenir une tension continue variable à partir d'une tension fixe. La tension de sortie de l'hacheur sera toujours inférieure à celle de l'entrée et proportionnelle au rapport cyclique de commande ( $\alpha$ ) ce qui permet de la contrôler pour lui imposer la valeur souhaitée.

Cependant, la tension d'entrée n'est pas fixe et varie avec la puissance que peut délivrer le GPV. Pour maintenir une tension constante de 24 V à la sortie, une régulation de cette tension est effectuée en ajustant le rapport cyclique selon le résultat de la comparaison entre la valeur mesurée et la valeur désirée. La Figure 10 illustre le montage adopté.

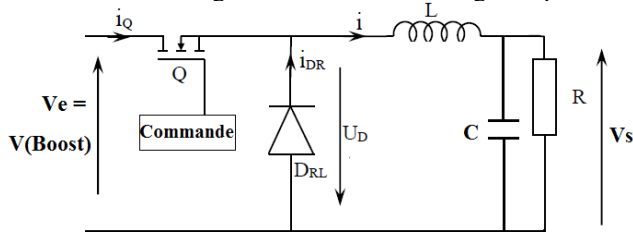


Fig. 10 – Schéma du hacheur série.

Comme pour le hacheur parallèle, une simple comparaison entre la valeur mesurée et une référence provoquerait des commutations à des fréquences qui peuvent facilement dépasser la fréquence de fonctionnement maximale du Mosfet. Un comparateur à hystérésis est utilisé. Le seuil haut est fixé à 24.2 V et le seuil bas à 23.8 V. Un problème est que les masses étant toutes reliées entre elles, le signal de commande ne peut amorcer le Mosfet dont la source se trouve à un potentiel supérieur à celui de la commande (12 V pour la commande alors que 24 V à la source). Pour y remédier une isolation de la masse du circuit de commande s'impose.

Un driver qui en plus de permettre l'isolation des masses fournit le courant et la tension qu'il faut pour une commande optimale des Mosfets et des IGBTs est utilisé. C'est le IR2125. Il permet de délivrer un signal amplifié en courant avec une masse indépendante de celle du signal d'entrée. L'alimentation à sa sortie est assurée par un condensateur qui est chargé en permanence par l'alimentation côté entrée.

La Figure 11 montre le schéma d'utilisation. Les flèches indiquent le chemin emprunté par le courant pour charger le condensateur  $C_b$  appelé 'bootstrap' et qui permet de substituer une alimentation séparée.

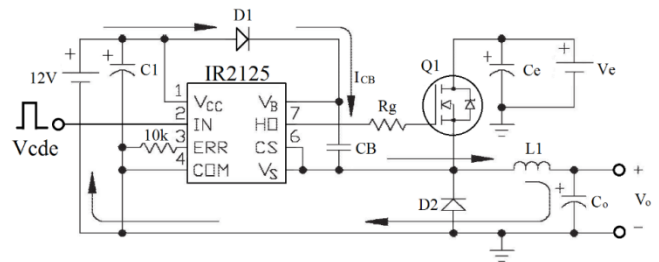


Fig. 11 – Schéma d'utilisation du driver IR2125.

Le montage est finalisé en ajoutant l'hacheur série à la sortie du hacheur parallèle comme le montre la Fig. 12. La mesure de la tension  $V_{oc}$  et le courant de court-circuit  $I_{cc}$  du module photovoltaïque a donné respectivement 40 V et 5 A. Une fois le module branché, sa tension chute à 30 V et c'est exactement le but. La tension à la sortie du hacheur série est de 24 V : tension voulue.

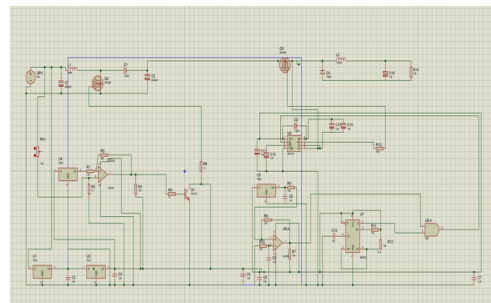


Fig. 12 – Schéma global de la réalisation pratique.

La Figure 13 montre les valeurs expérimentales réelles trouvées au moment des mesures.

La partie électronique étant achevée, l'alimentation de l'osmoseur a été effectuée et a parfaitement marché.

La tension de sortie peut être ajustée grâce à un potentiomètre au niveau du comparateur pour obtenir une tension supérieure à 24 V (26 V par exemple) ce qui permet de charger une batterie de 24 V, si on désire stocker de l'énergie en vue de l'utiliser quand il n'y a pas d'ensoleillement (le soir).

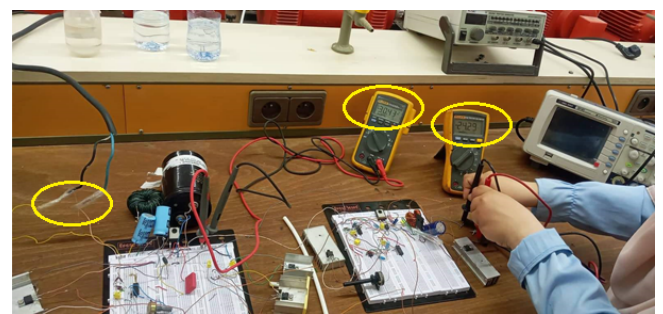


Fig. 13 – Mesure de la tension aux bornes du GPV et de la tension de sortie.

## 9. CONCLUSION

Le travail présenté est un osmoseur fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque. Il a été testé à l'énergie électrique ce qui a permis de voir son comportement dans les conditions nominales d'alimentation en eau et en énergie. La partie électronique a été conçue. Le module photovoltaïque a alimenté la pompe hydraulique de l'osmoseur tout en fournissant sa puissance maximale. L'excédent de la puissance nécessaire à la pompe est utilisé pour charger une batterie de 24 V pouvant servir à alimenter la pompe en

l'absence de soleil. L'usage de deux hacheurs, l'un série, l'autre parallèle, était nécessaire. Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés. Le fonctionnement de l'osmoseur a été effectué en l'alimentant par voie solaire via les deux convertisseurs dc-dc. Le choix d'une implémentation analogique a fortement réduit la complexité et le cout global de l'osmoseur. Le choix du type de MPPT est dicté par la puissance mise en jeu qui est relativement basse et de ce fait on n'est pas obligé de gérer la précision du montage au prix d'une complexité d'implémentation accrue.

Reçue le 23 Aout 2022

## RÉFÉRENCES

1. J. Song, M. Yan, J. Ye, S. Zheng, L.Y. Ee, Z. Wang, J. Li, M. Huang, *Research progress in external field intensification of forward osmosis process for water treatment: A critical review*, Water Research, **222**, (2022).
2. R. Saeed, A.H. Konsowa, M.S. Shalaby, M.S. Mansour, M.G. Eloffy, *Optimization of Integrated Forward – Reverse Osmosis Desalination Processes for Brackish Water*, Alexandria Engineering J., (2022).
3. X. Zhang, J. Jiang, F. Yuan, W. Song, J. Li, D. Xing, L. Zhao, W. Dong, X. Pan, X. Gao, *Estimation of water footprint in seawater desalination with reverse osmosis process*, Environmental Research, **204**, D (2022).
4. N. Kacimi , A. Idir, S. Grouni, M.S. Boucherit, *New combined method for tracking the global maximum power point of photovoltaic systems*, Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. Et Énerg., **67**, 3, pp. 349–354, (2022).
5. M.A. Ozcelik, A.S. Yilmaz, *Modification of the incremental conductance algorithm in grid connected photovoltaic systems*, Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. Et Énerg. **61**, 2, pp. 164–168 (2016).
6. P.S. Sikder, N. Pal, *Incremental conductance based maximum power point tracking controller using different buck-boost converter for solar photovoltaic system*, Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. Et Énerg. **62**, 3, pp. 269–275 (2017).
7. A. Laib, F. Krim, B. Talbi, H. Feroura, A. Belaout, *Hardware implementation of fuzzy maximum power point tracking through sliding mode current control for photovoltaic systems*, Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg. **66**, 2, pp. 91–96, (2021).
8. R. Ramabadrán, M.S.I. Sundaram, *Dichotomous search based algorithm for tracking global peak in partial shaded photovoltaic array*, Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechnique et Énergétique, **65**, 3–4, pp. 211–215 (2020).
9. M.H. Zerhouni, F.Z. Zerhouni, M. Zegrar, A.Tilmatine, *Photovoltaic solar array: Modeling and output power optimization*, Environmental Progress & Sustainable Energy **35**, 5, 1529-1536 (2016).
10. T.H. Van, T.L. Van, T.M.N. Thi, M.Q. Duong, G.N. Sava, *Improving the output of dc-dc converter by phase shift full bridge applied to renewable energy*, Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. et Énerg., **66**, 3, pp. 175–180 (2021).
11. R. Thankakan, E.R.S. Nadar, *A novel dc-dc converter fed by pv source employing improved incremental conductance algorithm under partial shadow conditions*, Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg. , **67**, 3, pp. 145-150, (2022).
12. F.Z. Zerhouni, M.H. Zerhouni, M. Zegrar, M.T. Benmessaoud, A.B. Stambouli, A. Midoun, *Proposed methods to increase the output efficiency of a photovoltaic (PV) system*, Acta Polytechnica Hungarica **7**, 2, pp. 56-70 (2010).
13. F.Z. Zerhouni, M. Telidjane, *Branchement direct d'une pile à combustible à membrane échangeuse de protons à une charge et modelisation*, Rev. Roum. Sci. Techn. –Électrotechn. et Énerg., **60**, 4, pp. 387–396 (2015).

# PRACTICAL REALIZATION OF A WATER PURIFICATION SYSTEM USING SOLAR PHOTOVOLTAIC SOURCE WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING

M.ZEGRAR<sup>1</sup> M.H ZERHOUNI<sup>2</sup> F.Z ZERHOUNI<sup>3</sup>

**Keywords:** Reverse osmosis; Photovoltaic; Maximum power point tracking (MPPT); Chopper; Control.

**This article is devoted to the realization of osmosis with solar power. The idea was born to meet a real need that our country is experiencing. Drinking water is very scarce in rural areas, and since there is no grid, there is no solution to purify drinking water. To support our work, we present the construction of this system, the theoretical investigation of its solar power source, the controls for operation at the optimum power point, and the experimental test bench that we performed. Test results are presented.**