

ÉVALUATION EXPERIMENTALE DE L'IMPACT DU REFROIDISSEMENT PAR CIRCULATION D'EAU SUR LES PERFORMANCES D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE



EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE IMPACT OF WATER COOLING ON THE PERFORMANCE OF A PHOTOVOLTAIC GENERATOR

| Abdoussalam Badrou-Dini ^{1*} | Rabemanantsoa Heriniaina Joslin ² | Rakotoniriana Bona Michel Jimmy | Randriazanamparany Michel Aimé | et | Raminosoa Chrysostôme Roger Raymond |

¹. Université d'Antsiranana | École doctorale thématique, Énergie renouvelable et Environnement | B.P 0 Antsiranana 201 | Madagascar |

². Université d'Antsiranana | École Supérieure Polytechnique | B.P 0 Antsiranana 201 | Madagascar |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11489220> | Received May 30 2023 | Accepted June 04, 2024 | Published June 10, 2024 | ID Article | Ayoub-Ref7-5-18ajiras210524 |

RESUME

Contexte : Le processus de conversion photovoltaïque génère de la chaleur, une réalité qui, sans précaution, peut entraîner une diminution significative de l'efficacité des modules solaires. C'est dans ce contexte que le refroidissement à eau est intéressant en exploitant ses propriétés thermiques. Cela permet d'améliorer le rendement électrique des cellules photovoltaïques. **Objectif :** L'objectif principal est d'évaluer l'impact du refroidissement à l'eau sur les performances d'un panneau solaire, en comparaison avec un panneau sans système de refroidissement. **Méthodes :** Deux panneaux solaires identiques ont été utilisés dans les deux configurations, avec l'un équipé d'un système de refroidissement à eau et l'autre fonctionnant sans refroidissement. Des mesures de tensions et courants, de la température de fonctionnement, et d'autres paramètres importants ont été collectées pendant une période définie. **Résultats :** Les résultats ont montré une amélioration significative du rendement électrique du panneau solaire refroidi à l'eau par rapport à celui non refroidi, notamment lors des périodes de chaleur intense.

Mots-clés: cellules photovoltaïques, température, impact, rendement électrique.

ABSTRACT

Context: The photovoltaic conversion process generates heat, a reality that, without precautions, can lead to a significant decrease in the efficiency of solar modules. It is in this context that water cooling becomes interesting by leveraging the thermal properties of water to maintain the temperature of solar cells at lower levels. This will enhance the electrical efficiency of the photovoltaic cells. **Objective:** The main objective is to assess the impact of water cooling on the performance of a solar panel, compared to a panel without a cooling system. **Methods:** Two identical solar panels were used in both configurations, with one equipped with a water-cooling system and the other operating without cooling. Voltage and current measurements, operating temperature, and other important parameters were collected during a specified period. **Results:** The water-cooled solar panel demonstrated lower average operating temperatures compared to the non-cooled panel. The results showed a significant improvement in the electrical efficiency of the water-cooled solar panel, especially during periods of intense heat.

Keywords: Photovoltaic Cells, Temperature, Impact, Electrical Efficiency.

1. INTRODUCTION

Le rendement électrique des cellules solaires dépend grandement de la température de fonctionnement. Ces pertes peuvent atteindre 15 à 20 % si aucun système de refroidissement des cellules photovoltaïques n'est prévu. De nombreux chercheurs ont effectué des études expérimentales sur les systèmes de refroidissement des panneaux photovoltaïques. La plupart des recherches menées visent à optimiser les conditions de fonctionnement et, par la suite, à évaluer leurs performances.

Adnan Ibrahim et al. (2011) [1] ont réalisé une étude expérimentale sur un système de refroidissement de panneau photovoltaïque constitué d'un tube en acier inoxydable en spirale, dans lequel circulait de l'eau. Ils ont mesuré un rendement électrique de l'ordre de 13 % de l'énergie solaire entrante. Tripanagnostopoulos et al. (2011) [2] ont également effectué un travail expérimental similaire en utilisant un échangeur thermique à eau, sous forme de serpentin, accolé au dos du panneau photovoltaïque. Ils ont aussi constaté que le refroidissement des cellules photovoltaïques permet d'augmenter leur efficacité électrique. Une conception visant à améliorer l'efficacité électrique des panneaux photovoltaïques à l'aide d'un système hybride refroidi à l'eau a été proposée par Alzaabi et al. (2014) [3]. La performance électrique du système a été étudiée dans les conditions climatiques de Sharjah (Émirats Arabes Unis) en avril 2014. Le système est composé d'un panneau photovoltaïque polycristallin avec un système de refroidissement intégré à l'arrière. Les expériences ont été menées avec et sans dispositif de refroidissement pour observer l'amélioration de l'efficacité du panneau photovoltaïque. Les résultats ont montré que la puissance électrique du panneau augmentait de 15 à 20 % lorsque celui-ci était refroidi. Nous avons publié en 2023 les résultats d'une étude numérique d'un système de refroidissement pour un module photovoltaïque [4]. Le système étudié est un canal à section rectangulaire placé à l'arrière du panneau, conçu pour que le fluide caloporteur, pouvant être de l'eau ou de l'air, soit en contact direct avec la face arrière du panneau. Nos

simulations ont révélé que le rendement moyen des cellules refroidies à l'air est supérieur à celui des cellules non refroidies, à condition que la vitesse de l'air dans le canal de refroidissement dépasse celle du vent. Les cellules photovoltaïques refroidies à l'eau maintiennent une température moyenne inférieure à celles non refroidies, quelles que soient les conditions climatiques ambiantes, donc quelle que soit la période de l'année. Le refroidissement à l'eau est donc globalement plus intéressant que celui à l'air. Le présent travail constitue une vérification expérimentale de notre étude précédente. Nous effectuons des mesures comparatives des performances de deux panneaux photovoltaïques identiques, l'un étant refroidi à l'eau et l'autre non, en mettant un accent particulier sur le rendement électrique.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Dispositif expérimental

2.1.1. Panneaux solaires : L'étude a été réalisée sur deux panneaux solaires photovoltaïques identiques de type A-230P, d'une puissance crête de 230 Wc chacun. Les caractéristiques techniques des panneaux sont présentées dans le Tableau 1. Les panneaux solaires utilisés pour l'étude sont identiques. Leurs caractéristiques sont indiquées dans le tableau 1. Ils sont reliés à des charges identiques elles aussi. Le panneau 1 n'est pas équipé d'un système de refroidissement, tandis que le panneau 2 l'est (figure 1). Les deux panneaux sont placés au même endroit et sont donc soumis, au même instant, aux mêmes conditions climatiques d'Antsiranana (Madagascar), caractérisée par un climat tropical. Dans cette étude les mesures effectuées sont : la distribution de la température au niveau des cellules photovoltaïques, le courant de sortie, la tension aux bornes de la charge, la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du canal de refroidissement.

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des panneaux solaires.

Paramètre	Valeur
Type de module	A-230P
Puissance crête (Wc)	230
Tension en circuit ouvert (V)	37,40
Courant de court-circuit (A)	8,12
Tension Vmp (V)	32,20
Courant Imp (A)	7,62



Figure 1 : Dispositif expérimental.

2.1.2. Système de refroidissement : Le panneau 2 était équipé d'un système de refroidissement à eau. Celui-ci se compose d'un canal de refroidissement à l'arrière du panneau, avec une entrée et une sortie permettant la circulation de l'eau. Deux configurations de ce système de refroidissement ont été testées :

Configuration 1 : circulation de l'eau en circuit fermé, l'eau sortant du canal retourne directement dans le réservoir d'alimentation (Figure 3).

Configuration 2 : circulation de l'eau avec refroidissement préalable de l'eau avant réinjection dans le circuit (Figure 4).

2.1.3. Montage électrique : Les deux panneaux solaires étaient connectés à une charge dans un circuit fermé, composée de trois résistances en série de 100 W chacune (Figure 2).

2.1.4. Disposition des panneaux : Les deux panneaux solaires ont été installés côte à côte, orientés plein sud avec une inclinaison de 30° par rapport à l'horizontal. Cette configuration représente les conditions typiques d'installation d'un système photovoltaïque dans la région d'Antsiranana à Madagascar.

2.2. Paramètres mesurés

Pendant les essais, les paramètres suivants ont été mesurés et enregistrés toutes les 15 minutes :

- Tension de sortie des panneaux (V),
- Courant de sortie des panneaux (A),
- Température de surface des panneaux (°C)
- Débit et température de l'eau en entrée et sortie du système de refroidissement (L/min, °C),
- Ensoleillement incident (W/m²),

- Température ambiante ($^{\circ}\text{C}$),
- Vitesse du vent (m/s).

Les mesures ont été effectuées à l'aide de capteurs appropriés (pyranomètre, thermomètres infrarouges, débitmètres, anémomètre) et d'un système d'acquisition de données.

2.3. Procédure expérimentale

Les essais ont été réalisés sur une journée ensoleillée typique, de 8h à 18h, dans les conditions climatiques de la région d'Antsiranana à Madagascar.

Pour le panneau 2 équipé du système de refroidissement, deux configurations ont été testées :

Configuration 1 : circulation de l'eau en circuit fermé,

Configuration 2 : circulation de l'eau avec refroidissement préalable.

Les panneaux solaires sont connectés à une charge dans un circuit fermé, composée de trois résistances en série, chacune ayant une puissance nominale de 100 W. La figure 2 représente le schéma du montage. Dans nos séries d'essais, nous avons réalisé deux configurations différentes du circuit de refroidissement. Pour la première, dite "configuration 1" l'eau de refroidissement s'écoule de manière continue en circuit fermé (figure 3). C'est-à-dire que l'eau sortant du canal de refroidissement retourne directement dans le réservoir d'alimentation. Dans la deuxième, dite "configuration 2", on laisse l'eau se refroidir pour reprendre la température ambiante avant de la réintroduire dans le circuit (figure 4). Pour mesurer les différentes températures nous avons utilisé un thermomètre infrarouge de type << TF-600 >> de résolution : 0,02 $^{\circ}\text{C}$. Les valeurs du rayonnement global et de la température ambiante ont été recueillies dans les sites de données climatiques d'Antsiranana [5]. Nous avons utilisé des multimètres digitaux pour mesurer les différentes grandeurs électriques des deux panneaux dans le but de les comparer. Les relevés ont été effectués toutes les 15 minutes.

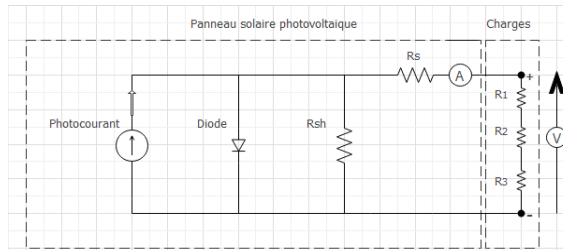


Figure 2 : Schéma électrique équivalent du système étudié.

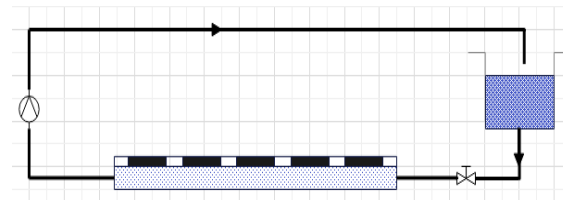


Figure 3 : Schéma hydraulique de la configuration 1.

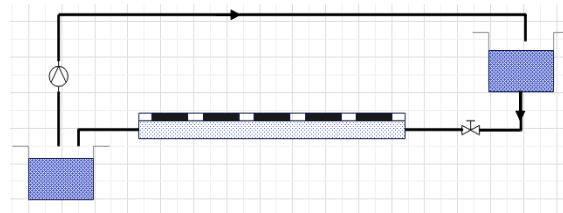


Figure 4 : Schéma hydraulique de la configuration 2.

3. RESULTATS

3.1 Refroidissement selon la configuration 1 en circuit fermé

Les tableaux 2 et 3 présentent, les rayonnements solaires, les températures ambiantes, les températures moyennes des panneaux solaires, ainsi que les tensions, courants et puissances des panneaux solaires.

On peut observer que lorsque le rayonnement solaire augmente dans la matinée, atteignant un maximum vers 11h30-12h, la puissance de sortie du panneau augmente également, passant de 144 W à 154 W. Cependant, durant cette même période, la température moyenne des cellules photovoltaïques augmente de façon significative, passant de 48,7 $^{\circ}\text{C}$ à 62,2 $^{\circ}\text{C}$. Cette augmentation de température a un impact négatif sur le rendement du panneau, qui diminue légèrement de 62,75%

à 61,26% entre 10h00 et 12h00. Ces résultats montrent bien l'importance d'un système de refroidissement pour maintenir les performances du panneau solaire, en particulier lorsque les conditions d'ensoleillement sont élevées.

Tableau 2 : Valeurs mesurées sur le panneau sans refroidissement.

Heures (H)	Rayonnement (W/m ²)	Ta (°C)	Tension (V)	Courant (A)	Tpv _{moy} (°C)	Puissance (W)	Rendement (%)
10:00	569	30	28,3	5,1	48,7	144,33	62,75
10:15	569	30	28	5,1	55	142,8	62,08
10:30	638	30	27,7	5,3	57,8	146,81	63,83
10:45	680	30	27,5	5,5	58,8	151,25	65,76
11:00	738	31	27,4	5,6	59,5	153,44	66,71
11:15	738	31	27,2	5,6	60	152,32	66,22
11:30	795	31	27,1	5,7	60,7	154,47	67,16
11:45	795	31	27,1	5,6	61	151,76	65,98
12:00	661	30	27,1	5,2	62,2	140,92	61,26

L'analyse des données du Tableau 3, montre les mêmes grandeurs que le Tableau 2, mais cette fois pour un panneau solaire équipé d'un système de refroidissement selon la configuration 1. On peut observer que malgré l'augmentation du rayonnement solaire au cours de la matinée, atteignant un maximum de 795 W/m² vers 11h30-11h45, la température moyenne des cellules photovoltaïques (Tpv_{moy}) reste beaucoup plus basse que dans le cas sans refroidissement. En effet, la température des cellules oscille entre 38°C et 44°C, soit une diminution de 15°C à 20°C par rapport au panneau sans refroidissement. Cette meilleure régulation de la température a un impact positif sur les performances du panneau :

- La puissance de sortie reste élevée, autour de 160-165 W, soit une augmentation d'environ 10 W par rapport au panneau sans refroidissement.
- Le rendement du panneau demeure stable, aux alentours de 67-68%, soit une amélioration de 2 à 3 points de pourcentage par rapport au cas sans refroidissement.

Ces résultats montrent clairement l'intérêt d'un système de refroidissement pour maintenir les performances d'un panneau solaire, en particulier dans des conditions de fort ensoleillement.

Tableau 3 : Valeurs mesurées sur le panneau refroidi selon la configuration 1.

Heures (H)	Rayonnement (W/m ²)	Ta (°C)	Te (°C)	Ts (°C)	Tension (V)	Courant (A)	Tpv _{moy} (°C)	Puissance (W)	Rendement (%)
10:00	569	30	31	37,2	29,3	5,2	41,4	152,36	66,24
10:15	569	30	32	37,3	30,1	5,3	42,2	159,53	69,36
10:30	638	30	35,5	40	29,5	5,5	45,7	162,25	70,54
10:45	680	30	36,8	40,5	29,4	5,6	48,1	164,64	71,58
11:00	738	31	37,7	41	29,2	5,7	50,2	166,44	72,36
11:15	738	31	39	42,4	28,8	5,7	52,2	164,16	71,37
11:30	795	31	39,3	42,8	28,4	5,8	52,5	164,72	71,61
11:45	795	31	39,9	42,9	28,2	5,7	53,1	160,74	69,88
12:00	661	30	40,2	43,8	27,9	5,5	53,5	153,45	66,71

On constate que :

- La température de l'eau dans le réservoir augmente au fil du temps ;
- Lorsque le rayonnement atteint une valeur maximale de 795 W/m², la valeur du courant atteint aussi une valeur maximale de 5,7 A ;
- La température moyenne du panneau refroidi est inférieure à celle non refroidi ;
- Lorsque la température moyenne des panneaux augmente, la tension diminue ;
- La puissance électrique instantanée du panneau refroidi est supérieure à celle du panneau non refroidi ;
- L'écart relatif moyen entre les rendements des deux panneaux est de 8,25%.

Nous comparons respectivement sur les figures 3, 4, 5 et 6 les variations horaires de la température moyenne des cellules, de la tension aux bornes des panneaux, du courant et du rendement. On remarque sur la figure 3 que les cellules refroidies ont une température moyenne inférieure à celle des cellules non refroidies. Les figures 4 et 5 montrent que le panneau

refroidi produit une tension et un courant de sortie plus élevés que celui non refroidi. Comme le montre la figure 6, il en résulte logiquement que le panneau refroidi a un meilleur rendement.

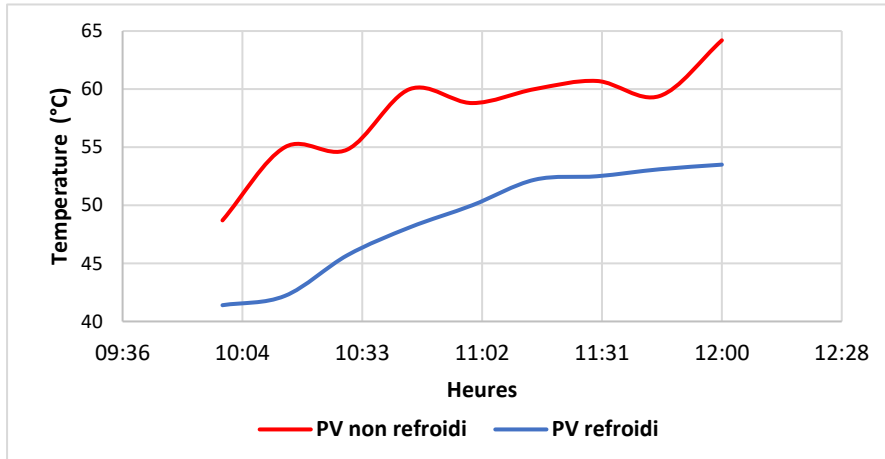


Figure 3 : Variations horaires de la température moyenne des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 1.

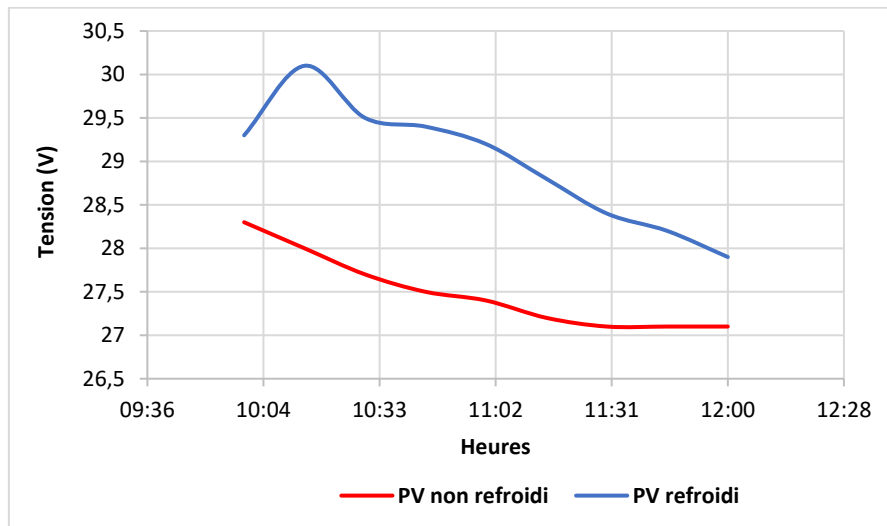


Figure 4 : Variations horaires de la tension des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 1.

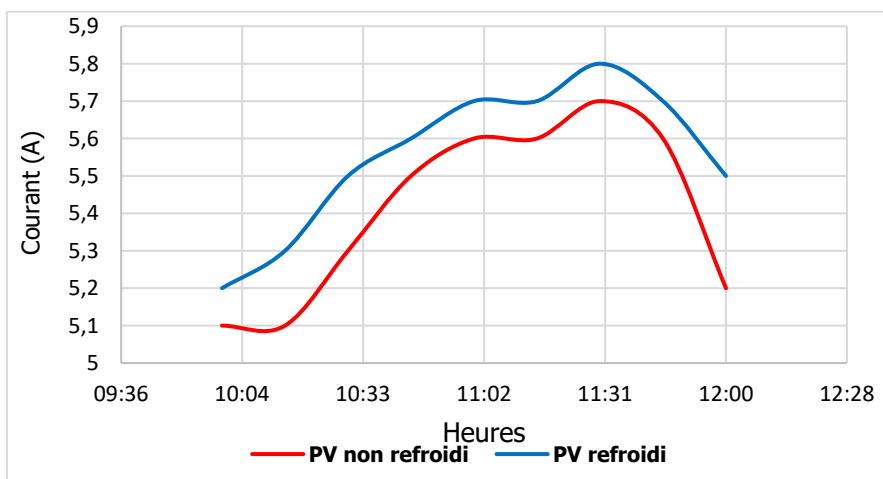


Figure 5 : Variations horaires de l'intensité des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 1.

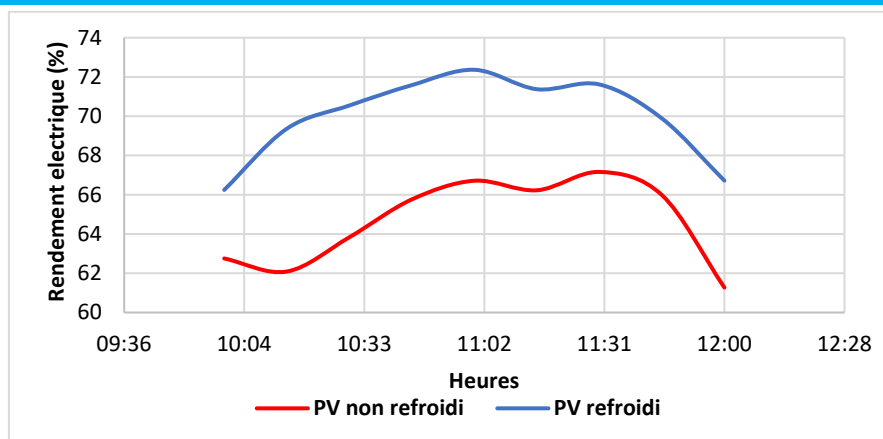


Figure 6 : Variations horaires du rendement électrique des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 1.

3.2 Refroidissement selon la configuration 2

Comme nous l'avons déjà expliqué, ici on laisse l'eau se refroidir avant de la réinjecter dans le circuit de refroidissement. L'eau dans le réservoir d'alimentation est ainsi constamment à la température ambiante. Suite à cela, on peut voir sur le tableau 5 que les températures des cellules sont plus basses que pour le refroidissement en circuit fermé (configuration 1). Les tableaux 4 et 5 ainsi que les figures 7, 8, 9 et 10 illustrent les mêmes constatations que pour l'essai précédent. Mais, cette fois-ci, la performance du panneau refroidi s'est encore améliorée. En effet l'écart relatif des rendements du panneau refroidi et celui non refroidi est ici de 14,64 % au lieu de 8,25 % dans le cas précédent.

On peut en déduire que la configuration en circuit ouvert contribue de manière plus significative à l'efficacité du système en maintenant des conditions thermiques plus favorables.

Tableau 4 : Valeurs mesurées sur le panneau sans refroidissement.

Heures (H)	Rayonnement t (W/m ²)	Ta (°C)	Tension (V)	Courant (A)	Tpv _{moy} (°C)	Puissance (W)	Rendement (%)
11:00	620	30	28,2	5,2	57,2	146,64	63,75
11:15	650	30	28,1	5,3	57,5	148,93	64,75
11:30	785	30	27,5	5,4	58,1	148,5	64,56
11:45	795	31	27,3	5,6	58,6	152,88	66,46
12:00	800	31	27,2	5,6	59,2	152,32	66,22
12:15	810	31	27,1	5,7	59,5	154,47	67,16
12:30	800	31	27,1	5,7	59,6	154,47	67,16
12:45	795	30	27	5,5	59,9	148,5	64,56

Le tableau 5 fournit des informations sur les performances d'un panneau solaire équipé d'un système de refroidissement selon une configuration différente de celle du Tableau 3. Principales observations :

- **Températures:**

La température ambiante (Ta) reste stable autour de 30-31°C.

La température d'entrée de l'eau de refroidissement (Te) augmente progressivement de 33,1°C à 36,1°C au cours de la période de mesure.

La température de sortie de l'eau (Ts) est maintenue aux alentours de 33,9-42,5°C, soit une élévation de température de l'eau de refroidissement d'environ 5-10°C.

La température moyenne des cellules photovoltaïques (Tpv_{moy}) augmente de 43,5°C à 49,5°C, mais reste toujours inférieure de 10 à 15°C par rapport au panneau sans refroidissement.

- **Performances électriques:**

La puissance de sortie du panneau oscille entre 169 W et 176 W, soit une amélioration de 10 à 15 W par rapport au panneau sans refroidissement.

Le rendement du panneau varie de 73,65% à 76,66%, ce qui représente une amélioration de 6 à 10 points de pourcentage par rapport au cas sans refroidissement.

- **Comparaison avec la configuration 1:**

Les températures des cellules sont légèrement plus élevées avec la configuration 2, mais restent dans des niveaux acceptables. Les performances électriques (puissance, rendement) sont sensiblement meilleures avec la configuration 2

qu'avec la configuration 1. En effet, le Tableau 5 montre que le système de refroidissement de la configuration 2 permet d'obtenir de meilleures performances du panneau solaire, en maintenant une température des cellules dans une plage optimale. Cela se traduit par une augmentation notable de la puissance et du rendement électrique du panneau.

Tableau 5 : Valeurs mesurées sur le panneau refroidi selon la configuration 2.

Heures (H)	Rayonnement (W/m^2)	Ta ($^{\circ}C$)	Te ($^{\circ}C$)	Ts ($^{\circ}C$)	Tension (V)	Courant (A)	Tpv _{moy} ($^{\circ}C$)	Puissance (W)	Rendement (%)
11:00	620	30	33,1	33,9	30,8	5,5	43,5	169,4	73,65
11:15	650	30	33,9	38,5	30,7	5,6	44,4	171,92	74,74
11:30	785	30	34,2	39,2	30,5	5,7	45,1	173,85	75,58
11:45	795	31	34,4	39,8	30,4	5,8	47,4	176,32	76,66
12:00	800	31	34,9	40,2	30,2	5,8	47,8	175,16	76,15
12:15	810	31	35,6	41,2	30,2	5,8	48,5	175,16	76,15
12:30	800	31	35,8	41,5	30,1	5,8	48,9	174,58	75,90
12:45	795	30	36,1	42,5	29,8	5,6	49,5	166,88	72,55

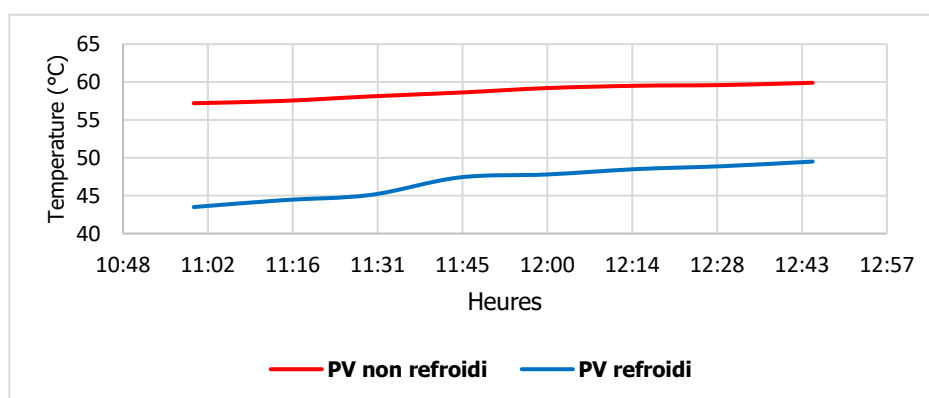


Figure 7 : Variations horaires de la température moyenne des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 2.

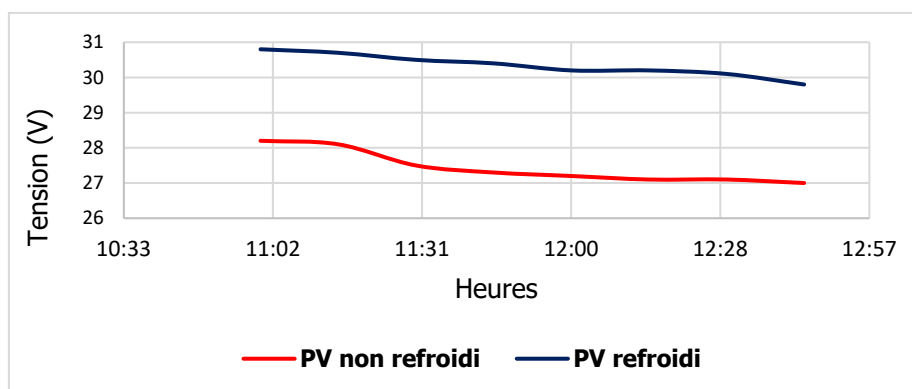


Figure 8 : Variations horaires de la tension des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 2.

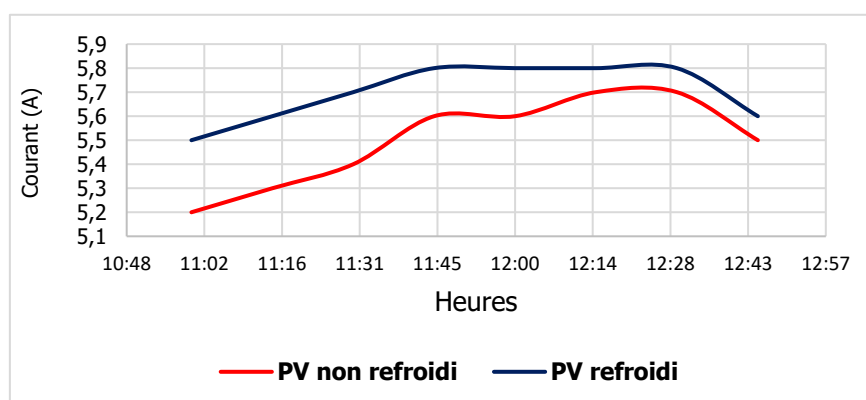


Figure 9 : Variations horaires de l'intensité des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 2.

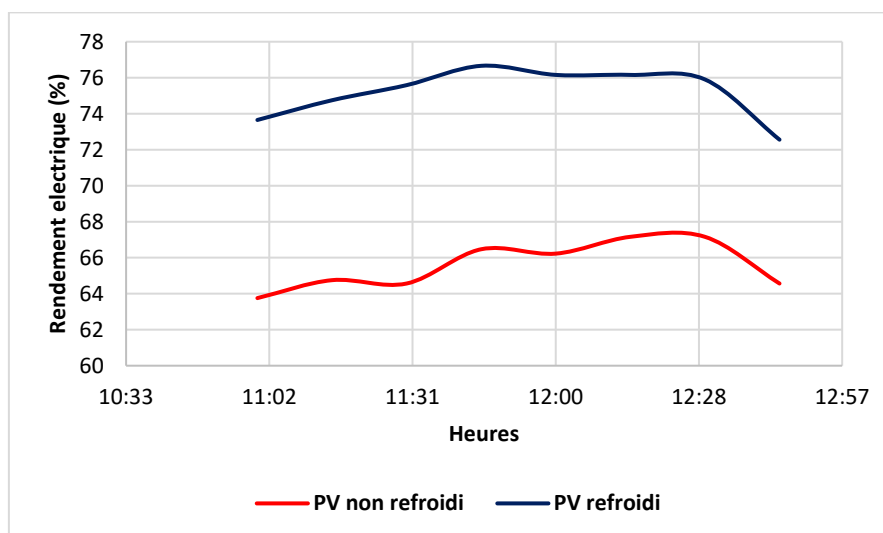


Figure 10 : Variations horaires du rendement électrique des cellules PV non refroidies et refroidies selon la configuration 2.

4. DISCUSSION

La présente étude expérimentale apporte des résultats intéressants sur l'impact du refroidissement à l'eau sur les performances d'un module photovoltaïque. Nous voulons réaliser une comparaison rigoureuse entre un panneau solaire refroidi à l'eau et un panneau sans système de refroidissement, en mesurant divers paramètres clés tels que la tension, le courant, la température de fonctionnement, etc. Les résultats montrent de manière claire et convaincante que le refroidissement à l'eau permet d'améliorer significativement le rendement électrique du panneau solaire, notamment lors des périodes de forte chaleur. Ces observations sont en accord avec les études antérieures menées par Adnan Ibrahim (2011) [1], Tripanagnostopoulos (2011) [2] et Alzaabi (2014) [3], qui ont également démontré les bénéfices du refroidissement actif des modules photovoltaïques. Nos résultats sont cohérents avec les données numériques présentées de l'étude menée par Badrou-dini (2023) [4]. Le fait de combiner une approche de modélisation et des validations expérimentales permet d'asseoir solidement les conclusions de cette recherche. Les présentes études montrent de manière convaincante que le refroidissement à l'eau peut apporter des gains significatifs en termes de rendement électrique des modules photovoltaïques, en particulier dans les conditions de forte chaleur. Cela a des implications importantes pour l'optimisation de la production d'électricité solaire dans les régions à fort ensoleillement et températures élevées.

Cependant, d'un point de vue pratique, l'intégration d'un système de refroidissement à eau aux installations photovoltaïques à grande échelle soulève quelques défis techniques et économiques à prendre en compte. Tout d'abord, le coût d'investissement initial est plus élevé avec l'ajout d'un système de refroidissement, ce qui peut être un frein dans certains contextes. Une analyse approfondie du rapport coût/bénéfice sera donc nécessaire. De plus, le refroidissement à l'eau implique une consommation d'eau non négligeable, ce qui peut poser problème dans les régions arides. Des solutions de recyclage ou d'utilisation d'eau de pluie devront être envisagées pour limiter cet impact. Par ailleurs, le système de refroidissement nécessite une maintenance régulière (pompes, circuits hydrauliques, etc.) qui ajoute de la complexité à l'exploitation des installations photovoltaïques. Enfin, son intégration architecturale doit être soigneusement étudiée pour éviter les problèmes d'encombrement et d'esthétique.

Malgré ces défis, les gains de performance potentiels sont tels que le refroidissement à eau mérite d'être sérieusement étudié pour les grands parcs solaires dans les régions chaudes. Des analyses technico-économiques approfondies seront nécessaires pour en évaluer la faisabilité et les bénéfices à long terme.

Il existe plusieurs exemples concrets de réalisations réussies d'intégration du refroidissement à l'eau dans des parcs solaires à grande échelle. Tout d'abord, le parc solaire de Noor Energy 1 à Dubaï, aux Émirats Arabes Unis, d'une capacité de 950 MW, comprend un système de refroidissement à l'eau intégré dès la conception. L'eau de refroidissement est pompée depuis un canal d'irrigation proche et recyclée en circuit fermé. Ce système a permis d'augmenter le rendement des modules photovoltaïques de près de 5% par rapport à un parc sans refroidissement. Ensuite, le parc solaire de Bhadla Solar Park en Inde, d'une capacité de 2,25 GW, utilise également un système de refroidissement à l'eau développé spécifiquement. L'eau est prélevée dans un lac artificiel et recirculée après passage dans des tours de refroidissement. Cette solution a permis d'améliorer le rendement de 3 à 4% tout en limitant la consommation d'eau grâce au recyclage. Enfin, le parc solaire de Tengger Desert Solar Park en Chine, avec 1,5 GW de capacité, est l'un des plus grands parcs solaires refroidis à l'eau au monde. Le système de refroidissement utilise l'eau de puits artésiens présents sur le site, permettant des gains de

rendement atteignant jusqu'à 7% dans les conditions de forte chaleur. Ces différents exemples démontrent l'intérêt et la faisabilité de l'intégration du refroidissement à l'eau dans les parcs solaires à grande échelle, permettant d'améliorer significativement leur performance.

5. CONCLUSION

Dans cette étude expérimentale, nous avons évalué les performances électriques des deux panneaux solaires identiques. L'un est refroidi à l'eau tandis que l'autre ne comporte aucun système de refroidissement. Le refroidissement a été effectué en faisant circuler de l'eau dans un échangeur, ayant la forme d'un canal à section droite rectangulaire, adossé à l'arrière du panneau. Ces modules étaient en circuit fermé, connecté à une charge composée de trois résistances en série, chacune ayant une puissance nominale de 100 W. Nous avons réalisé deux configurations de refroidissement : la première consistait à diriger immédiatement l'eau chaude sortie du canal de refroidissement dans le réservoir de stockage, tandis que pour la deuxième on laisse l'eau chaude issue du canal se refroidir à l'air ambiant avant de la réinjecter dans le réservoir de stockage. Les résultats de nos expériences révèlent que, quelle que soit la configuration utilisée, la température moyenne des cellules refroidies à l'eau est inférieure à celle des cellules non refroidies. Les performances électriques des cellules refroidies sont supérieures à celles des cellules non refroidies. De plus, il a été observé que le fait de laisser refroidir à l'air ambiant l'eau issue du canal avant de la réinjecter dans le système, améliore significativement les performances électriques des cellules solaires.

Nomenclature

I :	courant (A),	e :	eau à l'entrée,
R :	résistance de la charge (Ω),	moy :	moyenne,
Rs :	résistance série du module (Ω),	pm :	puissance maximale,
Rsh :	résistance shunt du module (Ω),	pv :	panneau photovoltaïque,
T :	température ($^{\circ}\text{C}$),	s :	eau à la sortie,
V :	tension (V),		
A :	ambiant,		

6. REFERENCES

1. Adnan I, Mohd Yusof O, Mohd Hafidz R, et al. Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15:352-365.
2. Dubey S, Tripanagnostopoulos Y, Tzavellas D, et al. Hybrid PV/T systems with dual heat extraction operation. Proceedings of the 17th European PV Solar Energy Conference. Munich, Germany. 2011;2515-2518.
3. Hind OA, Hantoush AK, Hamid AA, Alzaabi N, Badawiyeh K. Electrical/thermal performance of hybrid PVT system in Sharjah, UAE. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. 2014;3:385-389.
4. Badrou-dini A, et al. Étude d'un système de refroidissement d'un module photovoltaïque. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. 2023;17(3):160-175.
5. Rayonnement solaire à Diego-Suarez (Madagascar) [Internet]. Tutiempo.net. [cited 2024 Jun 5]. Available from: <https://fr.tutiempo.net/radiation-solaire/diego-suarez.html>



How to cite this article: Abdoussalam Badrou-Dini, Rabemanantsoa Heriniaina Joslin, Rakotoniriana Bona Michel Jimmy, Randriazanamparany Michel Aimé et Raminosa Chrysostôme Roger Raymond. ÉVALUATION EXPERIMENTALE DE L'IMPACT DU REFROIDISSEMENT PAR CIRCULATION D'EAU SUR LES PERFORMANCES D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 18(6): 23-31. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11489220>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>