



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes**  
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

## **AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT**

**Monsieur Mokhtar Noman Qasem Mohammed**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

**Spécialité** : Génie Mécanique

**Le Jeudi 19 Septembre 2024 à 10h au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat**

**Intitulé de la thèse**

**Design, Development, and Optimization of a New Device of  
Concentration-based Solar Distiller for Desalination**

**Président :**

Pr. Abdelouahhab SALIH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Mourad TAHA JANAN, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Fatima Zahra CHRIFI ALAOUI, MCH, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir

Pr. Soufiane DERFOUFI, MCH, FST-Tanger, Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan

Pr. Ahmed ALMERS, PES, ENSA-Tanger Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan

**Examineur(s) :**

Pr. Farah ABDOUN, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

**Invité(s) :**

Pr. Samira OTMANI, ENS, Université Mohammed V de Rabat

**Résumé:** Le distillateur solaire est l'une des technologies les plus anciennes et les plus simples pour le dessalement de l'eau salée en utilisant une énergie renouvelable, à savoir l'énergie solaire, son principal problème est le faible rendement en eau douce, au vue de la quantité d'énergie apportée par le soleil.

Dans la présente thèse, une nouvelle conception est développée pour un système de distillation solaire basé sur la concentration solaire afin d'améliorer les performances du distillateur solaire classique, un concentrateur parabolique a été intégré sous le distillateur solaire à double pente, et l'étude de la nouvelle conception du distillateur solaire a été faite dans les conditions climatiques de la région de Rabat au Maroc. Le concentrateur solaire fonctionne en concentrant le rayonnement solaire et en le collectant dans une zone, qui est la ligne focale dans laquelle se trouve le bassin absorbant, ce qui conduit à son chauffage pour atteindre une température élevée.

Un modèle du distillateur solaire a été conçu sur la base de la concentration solaire et du bilan énergétique du système. Il a ensuite été analysé théoriquement, puis les effets de certains paramètres clés sur les performances du système ont été étudiés.

Le dispositif de distillation solaire a été développé avec le concentrateur solaire ainsi que les réflecteurs solaires internes les performances de trois systèmes développés avec celles d'un distillateur solaire conventionnel ont été comparés. L'accent a été mis sur le principal problème des distillateurs solaires, à savoir le faible rendement en eau douce par rapport à la quantité d'énergie apportée par le soleil et sur l'analyse économique. Les résultats ont indiqué que l'utilisation du concentrateur solaire et des réflecteurs internes donnait de meilleures performances par rapport au distillateur solaire conventionnel. Le rendement quotidien en eau douce du distillateur conventionnel, du distillateur à réflecteurs internes, du distillateur à concentrateur solaire et du distillateur à concentrateur solaire et réflecteurs internes était de 1,16 kg/m<sup>2</sup>.jour, 3,60 kg/m<sup>2</sup>.jour, 8 kg/jour. m<sup>2</sup>.jour et 11,48 kg/m<sup>2</sup>.jour, respectivement. L'étude économique a indiqué que le coût de l'eau douce produite à partir du distillateur à réflecteurs internes, du distillateur à concentrateur solaire et du distillateur à concentrateur solaire et réflecteurs internes est réduit respectivement de 58,4%, 51,3% et 62,8% par rapport au coût de l'eau douce produite par le distillateur conventionnel.

Le travail expose une exploration théorique sur l'analyse de l'amélioration de l'énergie, de l'exergie et du potentiel exergetique pour une nouvelle conception d'un distillateur solaire à concentration dépendant des



méthodologies possibles offertes dans les conditions météorologiques de la ville de Rabat, au Maroc. Les équations de bilan énergétique et exergetique ont été formulées et résolues numériquement à l'aide d'un programme développé sous MATLAB pour tous les composants d'une nouvelle conception du système. Les résultats de simulation obtenus sont vérifiés pour garantir la validité du modèle développé. En outre, les sources et principes d'irréversibilité et le potentiel d'amélioration exergetique des différents composants et processus du nouveau système qui conduisent encore à une diminution de l'efficacité énergétique sont également examinés. Il a été conclu que l'efficacité énergétique du nouveau distillateur solaire est supérieure à l'efficacité exergetique. L'efficacité énergétique et exergetique maximale est respectivement de 88,7 % et 3,8 %. La destruction exergetique la plus importante survient dans le bassin absorbant représentait 90,64 % de la destruction exergetique totale, tandis que la couverture en verre présentait la destruction exergetique la plus faible. Le taux maximum de destruction exergetique dans le bassin absorbant, l'eau saumâtre et le couvercle en verre était estimé à 5 126 W, 120,8 W et 408,6 W, respectivement. Une analyse exergetique du potentiel d'amélioration a montré que le potentiel d'amélioration le plus élevé se produit dans l'absorbeur du bassin par rapport au couvercle en verre et à l'eau. Le potentiel d'amélioration maximal pour la couverture en verre, l'eau saumâtre et le bassin absorbant est respectivement de 68,8 W, 334,2 W et 4 451 W.

Après cela, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'influence de divers paramètres sur le rendement en eau douce et l'efficacité d'un nouveau système de dessalement solaire basé sur la concentration. Elle est théoriquement étudiée pour évaluer les performances du système dans les conditions climatiques estivales et hivernales de la ville de Rabat, au Maroc. Les paramètres de conception que sont l'épaisseur du couvercle en verre (2, 4 et 6 mm), de l'épaisseur du bassin absorbant (2, 4 et 6 mm), de la masse d'eau saumâtre (40, 60 et 80 kg) et du matériau du bassin absorbant (aluminium et cuivre), et les paramètres climatiques représentés par la vitesse du vent, la température ambiante et le rayonnement solaire sont considérés. Il a été conclu qu'avec une épaisseur de couverture en verre de 6 mm, une épaisseur de bassin absorbant de 2 mm et une masse d'eau saumâtre de 40 kg, un rendement quotidien en eau douce et une efficacité quotidienne du système sont les plus élevés. Le rendement quotidien maximal en eau douce et l'efficacité quotidienne sont d'environ 11,22 kg/m<sup>2</sup>.jour et 6,86 % pendant la journée d'été, et d'environ 2,59 kg/m<sup>2</sup>.jour et 2,89 % pendant la journée d'hiver. L'augmentation de la valeur du rayonnement solaire entraîne une augmentation du rendement en eau douce et de l'efficacité du système. L'augmentation de la vitesse du vent et la diminution de la température ambiante sur la couverture en verre du système entraînent une augmentation du rendement en eau douce et efficacité du système. L'inverse se produit dans



le bassin absorbant. En outre, l'optimisation géométrique du système développé a également été étudiée par optimisation par essaim de particules (PSO) pour déterminer les paramètres géométriques de la géométrie du distillateur solaire en fonction de la concentration solaire qui permet d'obtenir le rendement et les performances maximaux du système. Les paramètres d'optimisation sont principalement liés au domaine du distillateur solaire (épaisseur du couvercle en verre, épaisseur du bassin, masse d'eau à dessaler, capacité d'absorption du bassin), à la surface et à la réflectivité de la surface du concentrateur solaire. Le choix final de ces variables est soumis à diverses contraintes auxquelles doit répondre l'option optimale (ou optimum). Les résultats ont montré que les paramètres de conception et climatiques ont un impact vital sur les performances du nouveau système. Avec une épaisseur de couverture en verre de 6 mm, une épaisseur de bassin absorbant de 2 mm et une masse d'eau saumâtre de 40 kg, le rendement quotidien en eau douce et l'efficacité quotidienne du système sont élevés. Le rendement quotidien maximal en eau douce et l'efficacité quotidienne étaient d'environ 11,22 kg/m<sup>2</sup>.jour et 6,86 % pendant la journée d'été, et d'environ 2,59 kg/m<sup>2</sup>.jour et 2,89 % pendant la journée d'hiver. Les résultats de l'algorithme PSO proposé ont montré que pour recevoir le rendement quotidien maximal en eau douce de 12,83 kg/m<sup>2</sup>, l'algorithme PSO définit certains paramètres à leurs valeurs maximales telles que (la surface vitrée est de 1 m<sup>2</sup>, la surface parabolique est de 5,9710 m<sup>2</sup>, la capacité d'absorption du bassin est de 0,95 et la réflectivité parabolique est de 0,9497) et règle l'autre à son minimum tel que (la masse d'eau est de 40 kg et la superficie du bassin est de 0,8 m<sup>2</sup>).

**Mots-clés:** Bilan énergétique, Bilan de l'exergie, Concentrateur solaire, Dessalement, Optimisation

**Abstract:** Solar distiller is one of the oldest and simplest technologies for the desalination of salty water using renewable energy, namely solar energy, and its main problem is the low freshwater yield in contrast to the energy amount input from the sun.

In the present thesis, a new design is developed for a solar distillation system based on solar concentration to improve the performance of the classic solar distiller, a parabolic trough concentrator has been integrated under the double slope solar distiller, and the new design study of the system under the climatic conditions of the Rabat region of Morocco is conducted. The solar concentrator works by concentrating the solar radiation and collecting it in one area, which is the focal line in which the absorber basin is located, which leads to its heating to reach a high temperature.

An engineering model of the solar distiller was designed based on the solar concentration and the energy balance in the system. It was then studied theoretically, and then the effect of key on the performance of the system was studied.

The solar distiller device was developed in the solar concentrator as well as the internal solar reflectors and compared the performance of the three developed systems with the one of a conventional solar distiller was studied to overcome the main problem of solar distillers is the low freshwater yield in contrast to the amount of energy input from the sun and the economic analysis was performed for them. The findings indicated that the utilization of the internal reflectors, the solar concentrator, and the solar concentrator and internal reflectors gave better performance compared to the conventional solar distiller. The daily freshwater yield of the conventional distiller, the distiller with internal reflectors, the distiller with a solar concentrator, and the distiller with a solar concentrator and internal reflectors was 1.16 kg/m<sup>2</sup>.day, 3.60 kg/m<sup>2</sup>.day, 8 kg/m<sup>2</sup>.day, and 11.48 kg/m<sup>2</sup>.day, respectively. The economic study indicated that the cost of freshwater produced from the distiller with internal reflectors, the distiller with a solar concentrator, and the distiller with a solar concentrator and internal reflectors are reduced by 58.4%, 51.3%, and 62.8% respectively compared to the cost of freshwater produced from the conventional distiller.

The research provides a theoretical investigation of the energy, exergy, and exergetic potential improvement analysis for a new design of a concentration-based solar distiller dependent on the possible methodologies offered under the meteorological conditions of the city of Rabat, Morocco. Energy and exergy balance equations have been formulated and numerically solved using the MATLAB software package for all components of a new design of the system. The simulation results obtained are checked to ensure the validity of the developed model. In addition, the sources and principles of irreversibilities and the exergetic improvement potential of different components and processes of the new system that still lead to decreasing energy efficiency are also examined. It was concluded that the energy efficiency of the new solar distiller is greater than the exergy efficiency. The maximum energy and exergy efficiency is 88.7 % and 3.8% respectively. The largest exergetic destruction that occurred in the absorber basin was 90.64 % of the total exergetic destruction while the glass cover had the lowest exergetic destruction. The maximum rate of exergy destruction in the absorber basin, brackish water, and glass cover was approximated at 5126 W, 120.8 W, and 408.6 W, respectively. An exergetic improvement potential analysis showed that the highest improvement potential occurs in the basin absorber compared to glass cover and water. The

maximum improvement potential for glass cover, brackish water, and absorber basin are 68.8 W, 334.2 W, and 4451 W, respectively.

After that, the research studies the influence of various parameters on the freshwater yield and efficiency of a novel concentration-based solar desalination system and is theoretically investigated to evaluate the performance of the system under the summer and winter climatic conditions of Rabat City, Morocco. The parameters of glass cover thickness (2, 4, and 6 mm), absorber basin thickness (2, 4, and 6 mm), brackish water mass (40, 60, and 80 kg), and absorber basin material (aluminum and copper) are the design parameters, and the parameters of wind velocity, ambient temperature, and solar radiation are the climatic parameters. It was concluded with a 6 mm glass cover thickness, 2 mm absorber basin thickness, and 40 kg brackish water mass, daily freshwater yield and daily efficiency of the system are high. The maximum daily freshwater yield and daily efficiency are about 11.22 kg/m<sup>2</sup>.day and 6.86% during the summer day and are about 2.59 kg/m<sup>2</sup>.day and 2.89% during the winter day. The increase in the value of solar radiation leads to an increase in the freshwater yield and efficiency of the system. The increase in wind speed and the decrease in the ambient temperature on the glass cover of the system lead to an increase in the freshwater yield and system efficiency. The opposite happens in the absorber basin. Also, geometric optimization for the developed system was studied by particle swarm optimization (PSO) to determine the geometrical parameters of the geometry of the solar distiller based on the solar concentration that allows it to obtain the maximum system yield and performance. The optimization parameters are primarily related to the field of the solar distiller (glass cover thickness, basin thickness, mass of the water to be desalinated, basin absorptivity), the area, and the reflectivity of the solar concentrator surface. The final choice of these variables is subject to various constraints to which the optimal (or optimum) option must respond. The results showed that the design and climatic parameters have a vital impact on the performance of the new system. With 6 mm glass cover thickness, 2 mm absorber basin thickness, and 40 kg brackish water mass, daily freshwater yield and daily efficiency of the system are high. The maximum daily freshwater yield and daily efficiency were about 11.22 kg/m<sup>2</sup>.day and 6.86% during the summer day and were about 2.59 kg/m<sup>2</sup>.day and 2.89% during the winter day. The proposed PSO algorithm results showed that to receive the maximum daily freshwater yield is 12.83 kg/m<sup>2</sup>, the PSO algorithm sets some parameters to their maximum values such as (glass area is 1m<sup>2</sup>, the parabolic area is 5.9710 m<sup>2</sup>, the basin absorptivity is 0.95 and the parabolic reflectivity is 0.9497) and sets the other to their minimum such as (the water mass is 40 kg and the basin area is 0.8 m<sup>2</sup>).

**Keywords:** Desalination, Energy balance, Exergetic balance, Optimization, Solar concentration Solar energy