

فاعلية الغطاء الزجاجي في مُركِّز شمسي أسطواني قطع مكافئ

L'efficacité du couvert de verre dans un concentrateur solaire cylindro-parabolique (CCP)

محمد البار سوداني ، كمال الدين عيادي و فرحات رحومة

M.E. Soudani¹, K.E. Aiadi^{2*} et F. Rehouma³¹ Département de Sciences de la Matière, Faculté des Sciences et de la Technologie et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000 (Algérie)² Laboratoire LENREZA, Département de Sciences de la Matière, Faculté des Sciences et de la Technologie et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah Ouargla, Ouargla 30000 (Algérie)³ Département de Physique, Institut des Sciences et de Technologie, Centre Universitaire de El-Oued, El-Oued 39000 (Algérie)* aiadik10@gmail.com

مختصر: تعتمد دراستنا على نمذجة رياضية لمجمع شمسي مُركِّز أسطواني قطع مكافئ (CCP) ذي غطاء زجاجي. حيث قمنا بتحقيق موازنة للتبادلات الحرارية المتسلسلة الحادثة بين المانع الناقل للحرارة والأنبوب الماص والظرف الزجاجي المحيط والعاكس الأسطواني المقعر والغطاء الزجاجي والعازل الخارجي. تقيم دراستنا محاكاة تدفق الإشعاع الشمسي الأعظمي الوارد على سطح المجمع الشمسي في المكان والتوقيت المعينين وذلك من شروق الشمس إلى غاية الغروب , من أجل تحديد الوضعية المناسبة لتثبيت المجمع الشمسي . في يوم عادي نُحصل بالمحاكاة على درجات حرارة خروج المانع كل 15 دقيقة من شروق الشمس إلى غاية غروبها. وبعد تحليل النتائج المحصل عليها قمنا بتحديد الابعاد المثلى لغطاء الزجاجي الخارجي , كما قمنا بتحديد تأثير مختلف العوامل على درجة حرارة خروج المانع من أجل الاستفادة الأعظمية من المركز الشمسي.

كلمات دلالية: الطاقة الشمسية , المركزات الشمسية , المجمع الأسطواني القطع مكافئ

RÉSUMÉ :

Notre étude est une modélisation mathématique d'un capteur solaire concentrateur de type cylindro-parabolique (CCP) couvert par une vitre. Nous avons établi un bilan thermique des échanges thermiques enchaînés entre le fluide caloporteur, le tube absorbeur, l'enveloppe du verre, le réflecteur cylindro-parabolique, le couvert de verre et l'isolant extérieur. Nous nous sommes intéressés à la simulation du flux solaire maximale incident en un lieu et en un temps spécifique: du lever jusqu'au coucher du soleil. Nous avons alors obtenu comme résultat, pour une journée typique, la température de sortie du fluide caloporteur. La simulation du processus est effectuée toutes les 15 minutes du lever jusqu'au coucher du soleil. Après l'analyse des résultats nous avons déterminé la position optimale du (CCP), les avantages du couvert extérieur du verre et l'influence des différents facteurs sur la température de sortie du fluide pour une exploitation maximale du concentrateur.

Mots clés : Energie solaire, Concentrateur solaire, Capteur cylindro-parabolique.

1- مقدمة:

إن توليد الطاقة الكهربائية لتلبية الحاجيات البشرية والصناعية والزراعية تنبؤاً مكانة هامة باعتبارها ضرورة من ضروريات الحياة . ومع تزايد الوعي العالمي بمخاطر التلوث البيئي الناتج عن استخدام المصادر التقليدية للطاقة في توليد الكهرباء من جهة وارتفاع احتمالية نضوب هذه المصادر من جهة ثانية خاصة مع الارتفاع المفرط في استهلاك الطاقة, حيث من المتوقع أن تصل احتياجات العالم بحلول 2050 خمسة أضعاف الطاقة التي يتم توليدها حالياً .

كل هذا وذاك يقود إلى التفكير في إيجاد طاقات جديدة كبديل عن المصادر التقليدية , ومن أهمها الطاقة الشمسية الحرارية التي تسهم في توليد الكهرباء من خلال المركبات الشمسية ومن أهم هذه المركبات المركز الأسطواني القطع مكافئ لما يتميز به من مردودية عالية في إنتاج البخار.

2- التبادلات الحرارية :

يستقبل سطح الأنبوب الماص إشعاع شمسي مركز بعد حدوث سلسلة من العمليات الضوئية (النفوذ , الامتصاص , الانعكاس) على سطح الغطاء الزجاجي , الظرف الزجاجي , السطح الماص .
تعطى شدة تدفقه بالعلاقة^[1] :

$$P_T = G_0 C_T \tau_b \tau_g \rho_M^n \alpha_T \quad (01)$$

حيث n : معدل عدد الانعكاسات وتعطى العلاقة التجريبية لـ n بالعلاقة التالية^[1] :
 $n = 1 + 0.07 C_T$
 C_T : التركيز الهندسي للعاكس القطع مكافئ
وعمدود ضوئي^[2]

$$\eta_{optique} = \left[\frac{I_b + \frac{1}{C_T} I_d}{I_b + I_d} \right] \tau_b \tau_g \rho_M^n \quad (02)$$

حيث I_b : شدة تدفق الإشعاع الشمسي المباشر
 I_d : شدة تدفق الإشعاع الشمسي المنتشر

يتبادل السطح الماص الحرارة مع المائع بواسطة الحمل الحراري على شكل حرارة مفيدة , كما يتبادل الحرارة بالتسلسل مع الظرف الزجاجي , العاكس , الغطاء الزجاجي , ثم الهواء الجوي المحيط على شكل ضياع حراري. بمختلف أنماط انتقال الحرارة (الحمل , التوصيل , الإشعاع) .

2-1 سطح الغطاء الزجاجي الخارجي^[3]

$$\frac{m_b C_{pb} \frac{dT_{be}}{dt}}{2S_b} = \frac{P_b}{2} + h_{r,b \rightarrow ai} (T_{ai} - T_{be}) + h_{v,b \rightarrow a} (T_a - T_{be}) + h_{c,b} (T_{bi} - T_{be}) \quad (03)$$

2-2 سطح الغطاء الزجاجي الداخلي

$$\frac{m_b C_{pb} \frac{dT_{bi}}{dt}}{2S_b} = \frac{P_b}{2} + h_{c,b} (T_{be} - T_{bi}) + h_{r,b \rightarrow e} (T_{ee} - T_{bi}) + h_{v,b \rightarrow ai} (T_{ai} - T_{bi}) + h_{r,b \rightarrow m} (T_M - T_{bi}) \quad (04)$$

2-3 سطح الظرف الزجاجي الخارجي

$$\frac{m_e C_{pe} \frac{dT_{ee}}{dt}}{2S_e} = \frac{P_e}{2} + h_{c,e} (T_{ei} - T_{ee}) + h_{r,b \rightarrow e} (T_{bi} - T_{ee}) + h_{v,e \rightarrow ai} (T_{ai} - T_{ee}) + h_{r,m \rightarrow e} (T_M - T_{ee}) \quad (05)$$

2-4 سطح الظرف الزجاجي الداخلي

$$\frac{m_e C_{pe} \frac{dT_{ei}}{dt}}{2S_e} = \frac{P_e}{2} + h_{r,e \rightarrow r} (T_r - T_{ei}) + h_{c,e} (T_{ee} - T_{ei}) + h_{v,e \rightarrow r} (T_{ee} - T_{ei}) \quad (06)$$

5-2 سطح الأنبوب الماص الخارجي

$$\frac{m_r C_{pr} dT_{rs}}{2S_r dt} = \frac{F_r}{2} + h_{c,r}(T_{ri} - T_{rs}) + h_{r,e \rightarrow r}(T_{ei} - T_{rs}) + h_{v,e \rightarrow r}(T_{ae} - T_{rs}) \quad (07)$$

6-2 سطح الأنبوب الماص الداخلي

$$\frac{m_r C_{pr} dT_{ri}}{2S_r dt} = \frac{F_r}{2} + h_{c,r}(T_{re} - T_{ri}) + h_{v,f \rightarrow r}(T_f - T_{ri}) \quad (08)$$

7-2 المائع

$$\frac{m_f C_{pf} dT_f}{2S_f dt} = h_{v,f \rightarrow r}(T_{ri} - T_f) \quad (09)$$

حيث معاملات انتقال الحرارة بالحمل بين الغطاء والظرف الزجاجيين يعطى بالعلاقة [5],[4] :

$$h_{v,b \rightarrow ai} = \frac{NU \cdot \lambda_{air}}{D_e} \quad (10)$$

$$NU = 0.398 \left[\frac{H}{W} \right]^{0.365} * \frac{G_r^{0.1825 + 0.0786008(9-45)}}{1.24 - 0.0660547038(9-45)} \quad (11)$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل بين الظرف الزجاجي والأنبوب الماص يعطى بالعلاقة [6],[4] :

$$h_{v,e \rightarrow r} = \frac{\lambda_{air} NU_{e \rightarrow r}}{r_r \ln \left[\frac{r_e}{r_r} \right]} \quad (12)$$

$$NU_{e \rightarrow r} = 0.18 Gr^{0.25}$$

حيث

$$Gr_{e \rightarrow r} = \frac{\rho \beta (T_r - T_e) \left[r_r \ln \left[\frac{r_e}{r_r} \right] \right]^2}{\nu^2} \quad (13)$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل بين سطح الأنبوب الماص والمائع الناقل للحرارة يعطى بالعلاقة [7],[6]

$$h_{v,r \rightarrow f} = \frac{Nu \lambda_f}{D_{ri}} \quad (14)$$

$$NU = \left[3.66 + \frac{0.0677 (Re Pr D_r / L)^{1.33}}{1 + 0.1 Pr (Re D_r / L)^{0.333}} \right] \left[\frac{\mu_f}{\mu_r} \right]^{0.14} \quad (15)$$

$$Re = \frac{\rho_f v_f D_r}{\mu_f} \leq 2300 \quad \text{في حالة}$$

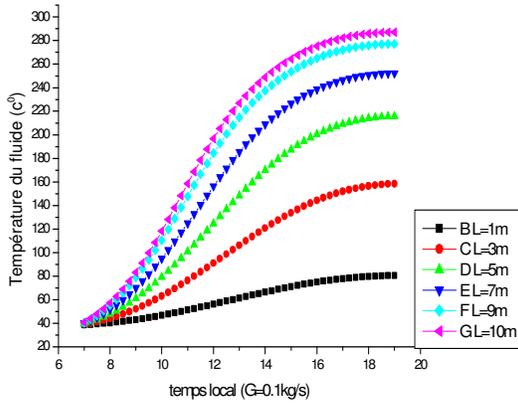
$$NU = 0.037(Re^{0.75} - 180)Re^{0.75} - 180.Pr^{0.42} \left[1 + \left(\frac{D_r}{L} \right)^{2/3} \right] \left[\frac{\mu_f}{\mu_r} \right] \quad (16) \quad \text{و}$$

في حالة $Re > 2300$

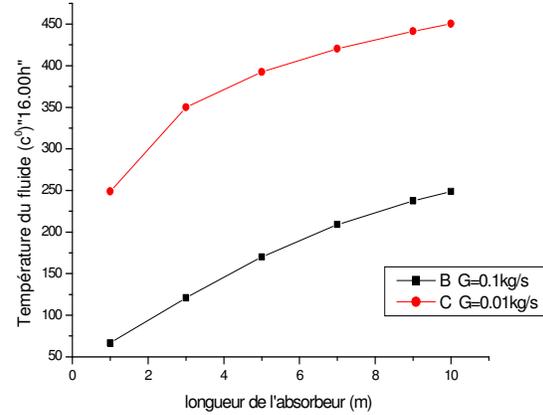
3- مناقشة وتحليل النتائج :

بعد الحل الرقمي لجملة هذه المعادلات في كل 15 دقيقة من شروق الشمس إلى غاية غروبها نحصل على درجات حرارة خروج المائع وذلك اعتمادا على المعطيات الجغرافية والمناخية لمدينة ورقلة . ثم نقوم بدراسة تأثير مختلف العوامل على درجة حرارة خروج المائع .

3-1 تأثير طول الأنبوب الماص



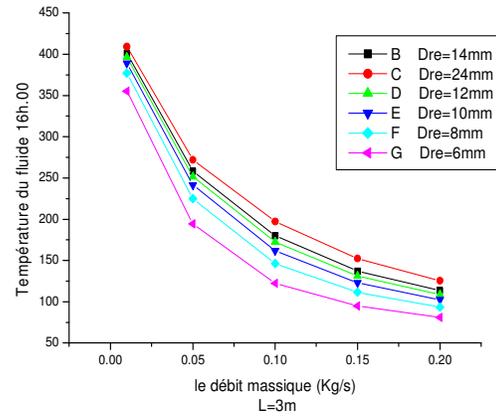
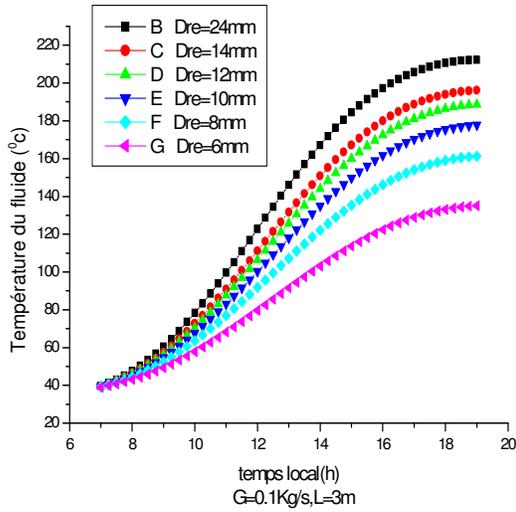
الشكل (1): درجة حرارة خروج المائع بدلالة التوقيت المحلي من أجل قيم مختلفة لطول الأنبوب الماص



الشكل (2): درجة حرارة خروج المائع على الساعة 16h.00 بدلالة طول الأنبوب الماص من أجل تدفقات كتلية مختلفة للمائع

يوضح البيان تزايد درجة حرارة الاستقرار لخروج المائع بتزايد طول الأنبوب الماص، وذلك بفعل تزايد كمية الحرارة المنتقلة عبر الأنبوب إلى المائع على طول الأنبوب (زيادة سطح التبادل الحراري بين المائع والأنبوب)، كما يظهر البيان تناقص الفرق في درجة الحرارة للمائع عند الاستقرار، بتزايد طول الأنبوب، وهذه بفعل الاقتراب من الامتصاص الأعظم للحرارة الواصلة للأنبوب الماص من طرف المائع، أي اقتراب درجة حرارة المائع من درجة حرارة الأنبوب بتزايد الطول وبذلك تناقص التدفق الحراري بين الأنبوب والمائع .

2-3 تأثير قطر الأنابيب الماص

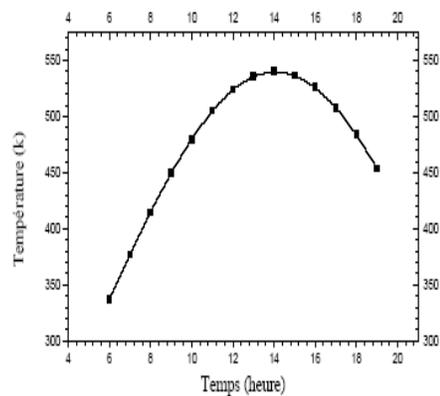
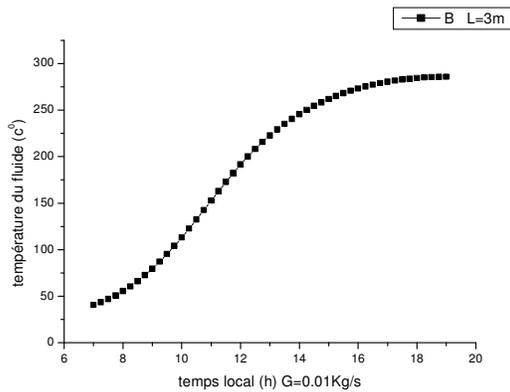


الشكل (3): درجة حرارة خروج المائع بدلالة التوقيت المحلي من أجل قيم مختلفة لقطر الأنابيب الماص

الشكل (4): درجة حرارة خروج المائع بدلالة التدفق الكتلي للمائع من أجل قيم مختلفة لقطر الأنابيب الماص

تؤكد النتائج تزايد درجة حرارة المائع بزيادة قطر الأنابيب , وذلك لأن زيادة القطر يؤدي إلى انخفاض سرعة سريان المائع داخل الأنابيب, ومنه زيادة كمية الحرارة المنتقلة إلى المائع (مع المحافظة على شرط ملائمة المائع لكامل سطح الأنابيب الماص). وتكون فعالية زيادة القطر كبيرة ثم تقل هذه الفعالية مع تزايد القطر, وهذا نظرا للاقتراب من سرعة السريان المناسبة لامتصاص المائع لأقصى كمية حرارة واصله للأنبوب الماص, ويمكننا تعويض الحرارة الضائعة بسبب زيادة التدفق الكتلي للمائع بزيادة قطر الأنابيب الماص .

3-3 تأثير وجود الغطاء الزجاجي

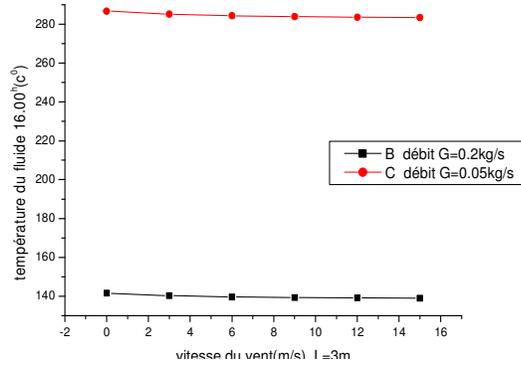


الشكل (5) تغيرات درجة حرارة المائع بدلالة التوقيت الشمسي من أجل (CCP) ذي غطاء زجاجي

الشكل (6) تغيرات درجة حرارة المائع بدلالة التوقيت الشمسي من أجل (CCP) بدون غطاء زجاجي الدراسة [8]

بمقارنة نتائج هذه الدراسة التي تعتمد على وجود الغطاء الزجاجي الخارجي، بنتائج دراسات سابقة تعتمد على عدم وجوده مثل [8]، نلاحظ أن الفرق يتمثل في تراجع درجات الحرارة للمائع ابتداء من الفترة (15h-16h) بشكل ملحوظ في حالة عدم وجود الغطاء الخارجي، بينما في دراستنا تستقر درجة الحرارة للمائع ابتداء من الزوال إلى قبيل الغروب. وهذا الاستقرار بفضل العزل الحراري الذي يوفره الغطاء الزجاجي، وبذلك التقليل من الضياع الحراري الذي يتسبب فيه انخفاض درجة حرارة الجو المحيط بشكل كبير فيما بعد الزوال.

3-4 تأثير سرعة الرياح



الشكل (7): درجة حرارة خروج المائع بدلالة سرعة الرياح من أجل تدفقات كتلية مختلفة

نلاحظ عدم وجود أي تأثير يذكر لسرعة الرياح على درجة حرارة خروج المائع، وهذا من أجل أي تدفق كتلي للمائع، ويعود الفضل في ذلك للغطاء الزجاجي الذي يجعل المائع في عزل حراري محكم، بينما يقتصر تأثير سرعة الرياح على درجة حرارة الهواء المحتبس داخل الغطاء الزجاجي.

خلاصة:

وجود الغطاء الزجاجي الخارجي للمجمع الشمسي يؤدي إلى استقرار درجة حرارة خروج المائع ما بعد الزوال إلى غاية غروب الشمس، كما يؤدي وجوده إلى التقليل من أبعاد المجمع الشمسي الأسطواني المقعر، حيث تقل فعالية زيادة الطول، وهذا بالإضافة إلى دوره الوقائي، حيث يحمي الخواص الضوئية للعاكس الأسطواني المقعر من (الغبار، الرطوبة، التآكسد) التي تسببها الأحوال الجوية، لذا فإن التكلفة المادية لصيانة المجمع في حالة وجود الغطاء سوف تكون أقل مما هي عليه في حالة عدم وجوده وذلك بمراعاة المعطيات السابقة. كما تمكنا النتائج من اختيار القطر المناسب للأنبوب الماص حسب التدفق الكتلي للمائع المستهدف.

المراجع

- [1] R. Oommen and S. Jayaraman; 'Development and performance analysis of compound parabolic solar concentrators with reduced gap losses-versized reflector, energy conversion and management'; Vol. 42, pp 1379-1399, (2001)
- [2] M. Souliotis and Y. Tripanagnostopoulos; 'Study of the distribution of the absorbed solar radiation on the performance of a CPC-type ICS water heater'; Renewable Energy (2007)
- [3] Abdellah El Fadar, Abdelaziz Mimmet, Aniss Azzabakh, Manule Perez Garcia et Jean Castaing; 'Etude numérique du transfert de chaleur et de masse dans un réacteur d'une machine frigorifique à

- adsorption d' ammoniac sur charbon actif chauffé à l'aide d'un caloduc couplé avec un cylindro-parabolique' ; 13^{ème} Journées Internationales de Thermique, France (2007).
- [4] A. Farouk Kothdiwala, B. Norton and P.C. Eames; 'The effect of variation of angle of inclination on the performance of low-concentration-ratio compound parabolic concentrating solar collectors'; Solar Energy, Vol. **55**, N° 4, pp. 301-309, (1995).
- [5] B. Norton, A. F. Kothdiwala and P. C. Eames; 'Effect of inclination on the performance of CPC solar energy collectors'; Ireland Renewable Energy, Vol. **5**, Part I, pp. 357-367, (1994).
- [6] A.S. Nafey, H.E.S. Fath, S.O. El-Helaby and A.M. Soliman; 'Solar desalination using humidification dehumidification processes part I. A numerical investigation'; Energy Conversion and Management, Vol. **45**, pp. 1243-1261, (2004).
- [7] Louis C. Burmeister; 'Convective heat transfer'; second edition, copyright, by John Wiley, Sons, Inc., (1993).
- [8] Wassila Chekirou, Nehmen Boukheit et Tahar Kerbache ; 'Analyse thermique pour l'absorbeur d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique' ; Rev. Energ. Ren.: 12^{ème} Journées Internationales de Thermique (2005).