

## دراسة نظرية للتوازنات الطاقوية في مقطر شمسي مزدوج

(بالاحتباس الحراري للبيت الزجاجي – الخاصية الشعيرية للماء).

### Etude théorique des bilans énergétiques dans un distillateur solaire couplée (effet de serre – Distillateur à Film Capillaire)

Mohammed Mustapha BELHADJ\*, Hamza BOUGUETTAIA, Djamel BECHKI  
et Yacine MARIF

Laboratoire des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Aride et Saharienne (LENREZA),  
Faculté des Sciences et de la Technologie et des Sciences de la Matière,  
Université de Kasdi-Merbah Ouargla, Ouargla 30000 (Algérie).

\*E-Mail : [mhmu.belhadj@yahoo.com](mailto:mhmu.belhadj@yahoo.com)

#### الملخص:

نبرز من خلال هذه الدراسة النظرية أهم المعادلات الطاقوية في المقطر الشمسي المزدوج والذي يتكون في الأساس من اندماج لجهازي تقطير مختلفين . الأول ذو الحوض الأفقي ويتميز بفعل الاحتباس الحراري بالبيت الزجاجي، أما الثاني: ذو الحوض العمودي، ويمتاز بالخاصية الشعيرية للماء. وتكمن أهمية الربط بين الجهازين في الاستفادة من الفائض الطاقوي الناتج من حوض التبخير الأفقي للمقطر الأول، ومن جهة أخرى زيادة عدد سطوح التكثيف وبالتالي زيادة معدل الإنتاج اليومي للماء المقطر.

الكلمات الدالة: الطاقة الشمسية ؛ الماء ؛ المقطر الشمسي المزدوج؛ تحليه بالطاقة الشمسية؛

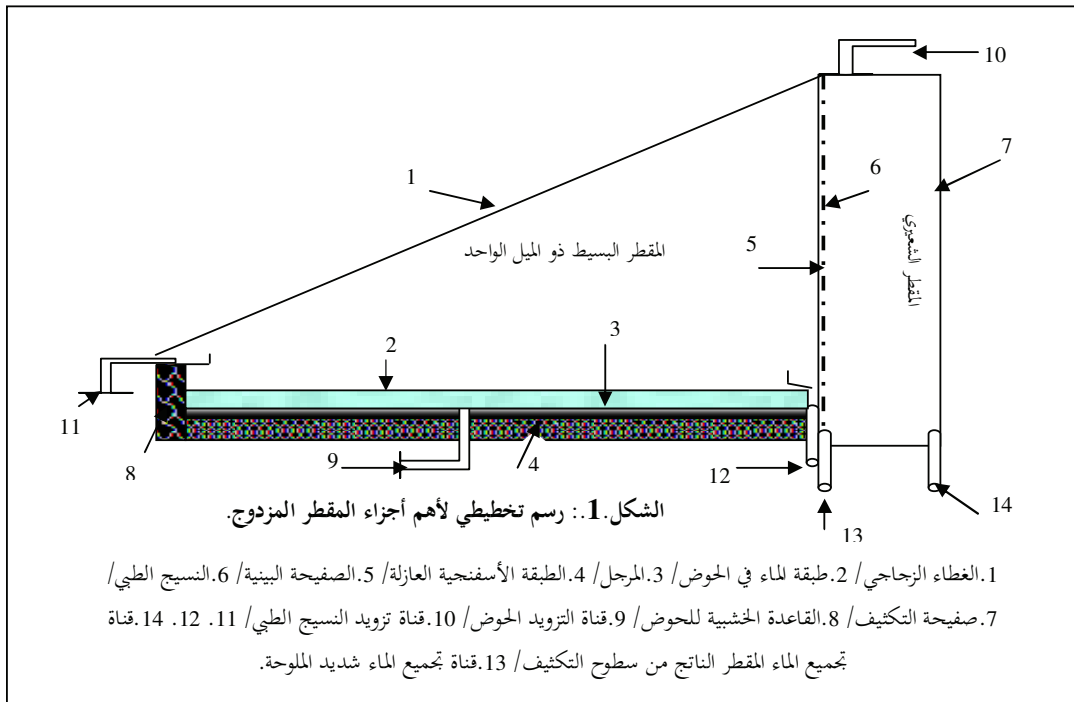
#### 1. مقدمة:

التقطير هو الأسلوب الناجع لعملية تصفية المياه المالحة / الصرف الصحي/ المستعملة في الري، لتدويرها للاستعمالات اليومية من جديد. وعملية التقطير الشمسي هو إنتاج للماء المقطر الذي يستعمل في عدة مجالات حيوية منها مثلا في شحن بطاريات السيارة، وفي القطاع الصناعي، وعديد مخابر الصيدلة... الخ. وهذه التقنية عرفت منذ القدم، والبحوث العلمية لازالت في التقدم والتطوير لهذا الأسلوب، وذلك بابتكار العديد من النماذج ومن التصاميم التي أدارت عجلة التقدم في هذا المجال: منها المقترح من طرف Cooper et al. [1]، علاوة على ذلك [2] Tiwari أعطى دفعة قوية خلال السنوات القليلة الماضية 1982-1992 في تحسين التقطير بواسطة المقطرات البسيطة بالبيت الزجاجي. أما فيما يخص المقطرات من النوع الذي يشبه المقترح من طرف [3] Ouahas، ومثل العمل المنجز من طرف [4] Bouchekima، قدموا بتصميمهم فكرة ربط النموذجين، والاستفادة من جهة بحوض التبخير الأفقي، بالإضافة لسطح التكثيف للصفحة البينية المشتركة بين غرفتيه.

أثبت العمل التجريبي على مثل هذا النموذج الحديث، كفاءة ونتائج جد مرضية وهذا ينعكس على مدى فعالية الفرق الحراري لسطوح التكثيف (نظرا للظروف المواتية لمناخ منطقة ورقلة جنوب الجزائر)، بالإضافة لشدة الإشعاع الشمسي الواردة، وكذلك مدة التشميس المعتبرة والتي تمتد حوالي 8 ساعات شتاء، و 10 ساعات صيفا. ويصل أقصى معدلات الإشعاعات الواردة حوالي 700-1000W/m<sup>2</sup>.

## 2. مبدأ العمل للمقطر الشمسي المزدوج:

الشكل 1. يصف أبرز الانتقالات الحرارية الحادثة على مستوى كل جزء من أجزاء المقطر. إن الفكرة وليدة العصر، وأول من قام بتجسيدها نظرياً الباحث [5] Tanaka، حيث اقترح مثل هذا النموذج الرياضي، معتبراً إمكانية الاستفادة من التبريد الحراري على مستوى الغطاء الزجاجي. وكالعمل المنجز من طرف الباحث [6] M.S.Maalem، حيث حاول الاستفادة من هذه التبريد بربط صفيحة معدنية مصنوعة من الألمنيوم ملصوق خلفها نسيج خشب ينساب عليه الماء من أجل عملية التبريد. فمحاولة منا في تجسيد الفكرة واقعا، يمكننا بهذا الربط العملي والمثمل في الشكل أدناه وضع المعادلات الطاقوية والخاصة بالتوازن الحراري للمقطر الشمسي المزدوج. ولتسهيل الأمر وفهم الظواهر الفيزيائية الحادثة على مستوى كل عنصر من المقطر، يمكن تقسيم المقطر الشمسي المزدوج إلى غرفتين كما هو واضح في الشكل 1.

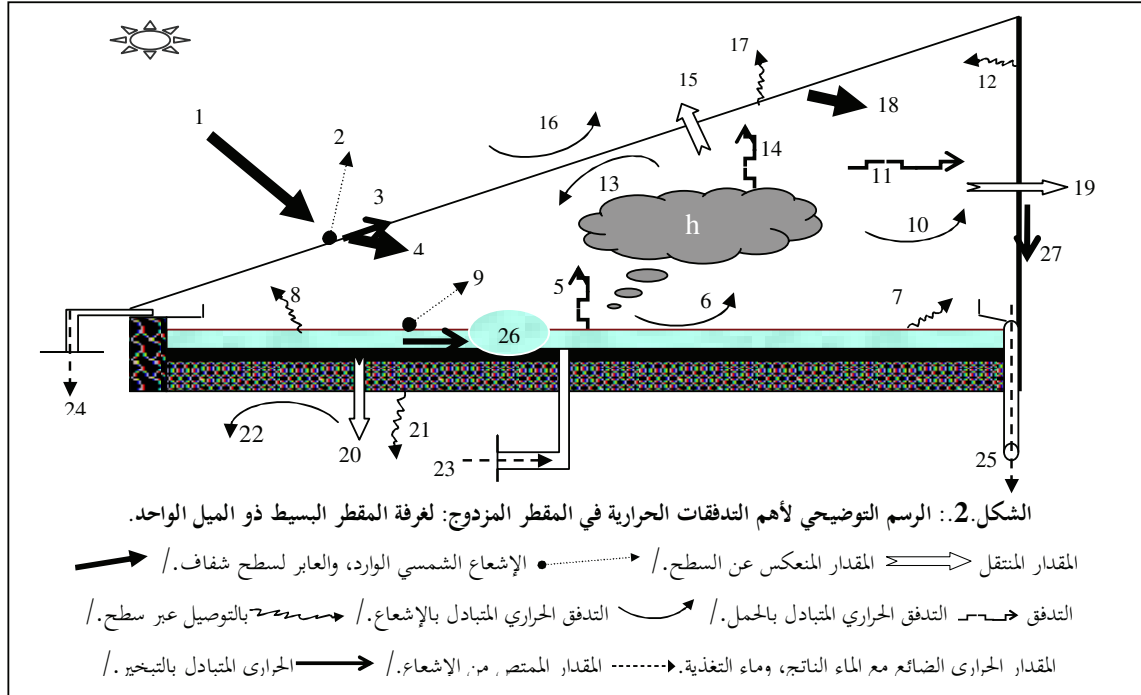


## 3. المقطر الشمسي البسيط الذي يعمل بفعل الاحتباس الحراري للبيت الزجاجي:

### 3.1. المقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد:

هذا النموذج يشبه النموذج المقترح من طرف الباحث [6] M.S.Maalem؛ ومن بين أهم التدفقات الحرارية الحادثة والمشار إليها في الشكل 2. ولتبسيط العمل سنعالج كل مستوى حراري على حدة، ونبين التبادلات الحرارية الحادثة معتمدين في ذلك بتشابه العملية بالقوانين الكهربائية، وبالأخص بقانون كيرشوف للعقد الذي ينص على: التيارات الداخلة لعقدة تساوي التيارات الخارجة منها

$$(\sum I_{ent} = \sum I_{sor})$$



التوازن الحراري بالمستويات:

1. المستوى الأول: الغطاء الزجاجي.

السطوح الجانبية للغطاء الزجاجي، تساهم بشكل معتبر في عملية التقطير مقارنة بالمقطر البسيط ذو الميل الواحد، المقترح من طرف

P.I.Cooper [1]

$$(1) \quad \frac{m}{S_g} C_p \cdot \frac{dT}{dt} = \left( Q_{e,hg} + Q_{c,hg} + Q_{r,P(com)g} + Q_{r,wg} + (\alpha_g - \tau_g)G^* \right) + \left( Q_{r,ga} + Q_{e,ga} \right) \quad (W / m^2)$$

2. المستوى الثاني: المنطقة المسدودة (بين الحوض والغطاء يتجمع فيه البخار قبل تكثفه).

نظرا للبعد بين مستوى سطح الماء المالح في الحوض، والغطاء الزجاجي فإن بخار الماء المتصاعد يتجمع أولا في هذه المنطقة، ثم منها نحو سطوح التكثيف، بما أن المنطقة تحمل هواء-بخار وبالتالي التدفق الحراري المتبادل يكون بالحمل، وبالتبخير الناتج من الحوض.

$$(2) \quad (Q_{c,wh} + Q_{e,wh}) = (Q_{c,hg} + Q_{c,hP(com)} + Q_{e,hg} + Q_{e,hP(com)}) \quad (W / m^2)$$

3. المستوى الثالث: مستوى سطح الماء المالح في الحوض.

$$(3) \quad \frac{m_w}{S_w} C_{P_w} \cdot \frac{dT_w}{dt} = (\alpha_w + \alpha_{ab} \tau_w) \tau_g G^* - (Q_{e,wh} + Q_{c,wh} + Q_{r,wg}) + (Q_{d,is(1)} + Q_{d,ab}) \quad (W / m^2)$$

4. المستوى الرابع: الصفيحة الماصة في الحوض.

$$(4) \quad \frac{m_{ab}}{S_{ab}} C_{P_{ab}} \cdot \frac{dT_{ab}}{dt} = \alpha_{ab} \tau_{ab} \tau_g G^* - (Q_{d,ab} + Q_{e,abh} + Q_{c,abh} + Q_{r,abg} + Q_{r,abP(com)}) \quad (W / m^2)$$

5. المستوى الخامس: الطبقة العازلة تحت مستوى الحوض.

$$(5) \quad Q_{d,ab} = Q_{c,isa} + Q_{r,isa} \quad (W / m^2)$$

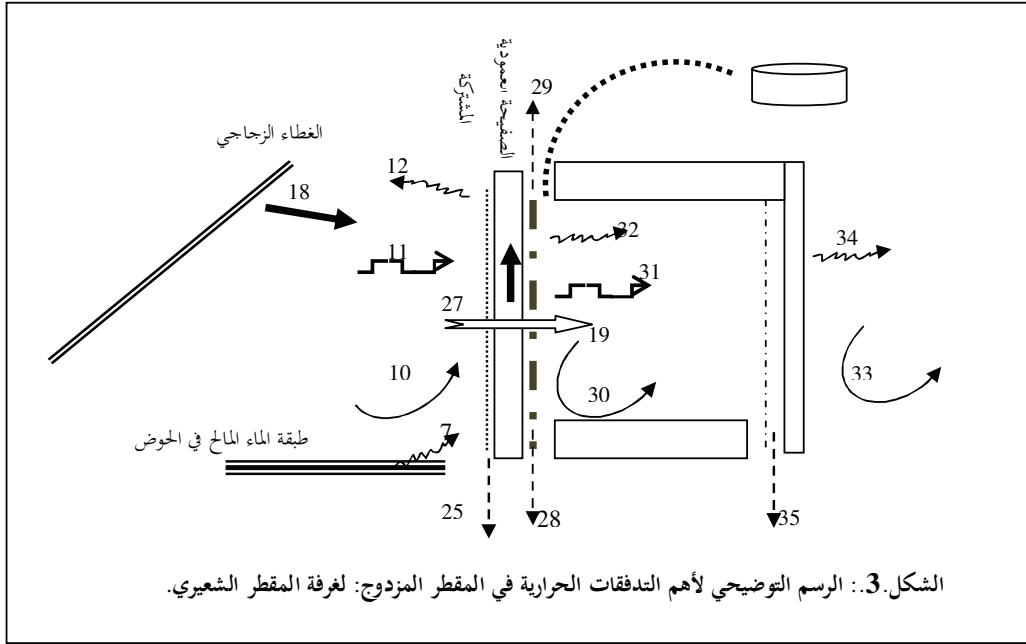
6. المستوى السادس: الصفيحة العمودية المشتركة بين الغرفتين الوجه المكثف.

$$(6) \quad \frac{m_{P(com)}}{S_{P(com)}} C_{P_{P(com)}} \cdot \frac{dT_{P(com)}}{dt} = (Q_{e,hP(com)} + Q_{c,hP(com)} + Q_{r,wP(com)} + (\alpha_{P(com)} + 1) \tau_g G^*) - (Q_{d,P(com)} + Q_{dis,P(com)} + Q_{r,P(com)g}) \quad (W / m^2)$$

الحصيلة الطاقوية التي تنتج من هذه الغرفة والتي تجتاز الصفيحة العمودية المشتركة بالتوصيل الحراري، تصل الغرفة الثانية الخاصة بالمقتر الذي يعمل بالخاصية الشعيرية للماء، ومنه تنشأ الظواهر الفيزيائية، والتي سنستعرضها داخل هذه الغرفة، وتنبع نفس الخطوات التي اتبعناها فيما يخص الغرفة الأولى المتعلقة بالمقتر الذي يعمل بفعل البيت الزجاجي.

### 3.2. المقطر الذي يعمل بفعل الشريط الشعيري للماء: (DIFICAP) Distillateur à Film Capillaire

وسمي بهذا الاسم للخاصية التي تميزه، وهي فعل الشريط الشعيري للماء، وقد جمع الحرفين الأوليين من كل كلمة باللاتينية تحت DIFICAP؛ وهذه أهم التدفقات الحرارية التي تتعرض لها الصفيحة المشتركة العمودية، خلافا للنموذج المقترح من طرف P.I. Cooper .et. J.A. Appleyard [7]، فإن الإشعاع الذي تتعرض لها الصفيحة المبخرة فقط بالإشعاع الشمسي الوارد والذي يجتاز الغطاء الزجاجي، لكن في هذا النموذج إضافة إلى الإشعاع الشمسي الوارد والذي يجتاز الغطاء الزجاجي، التبادلات الحرارية الآتية من سطح الماء المالح في الحوض، والمنطقة المسدودة. ومن بين أهم التدفقات الحرارية الحادثة والمشار إليها في الشكل 3.



التوازن الحراري بالمستويات:

1. المستوى الأول: الصفحة المشتركة بين الغرفتين الوجه المبخر.

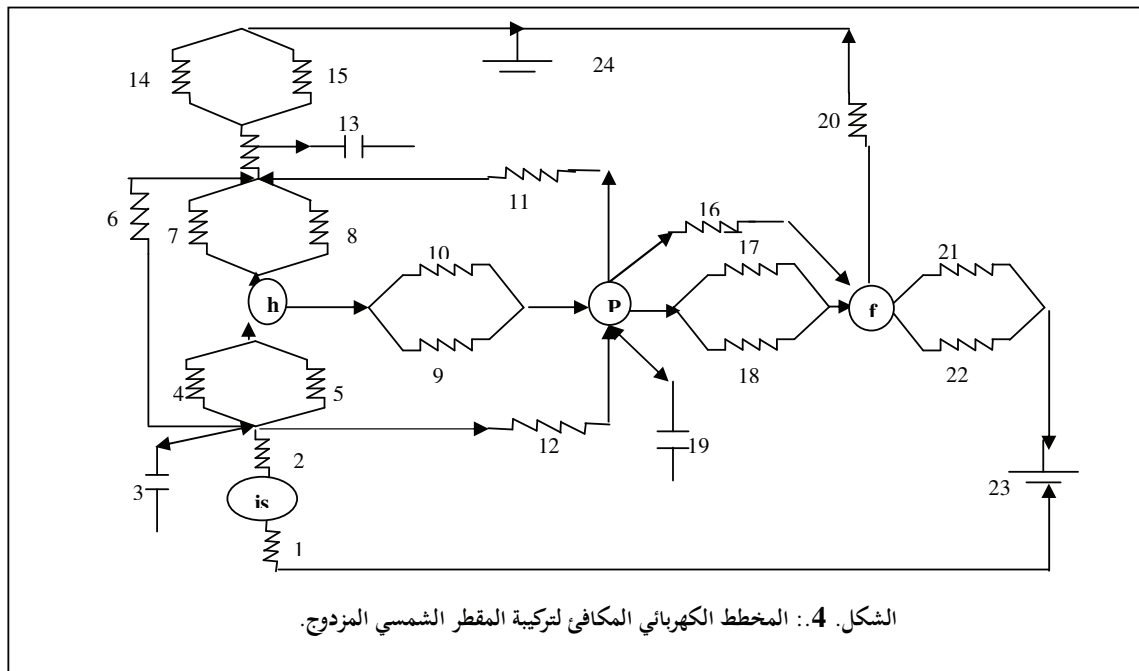
$$(7) \quad Q_{result} = \left( Q_{e,hP(com)} + Q_{c,hP(com)} \right) + Q_{r,wP(com)} + (\alpha_{P(com)} + 1) \tau G_g^* + \left( -Q_{r,P(com)g} + Q_{dis,P(com)} + \frac{m_{P(com)}}{S_{P(com)}} C_{P(com)} \cdot \frac{dT_{P(com)}}{dt} \right) \quad (W/m^2)$$

2. المستوى الثاني: الصفحة المكتفة الوجه الداخلي.

$$(8) \quad Q_{r,P(com)f} + Q_{e,P(com)f} + Q_{c,P(com)f} = \left( Q_{r,fa} + Q_{c,fa} \right) - Q_{dis,f} \quad (W/m^2)$$

بعد ما وصفنا كل جزء من المقطر المزدوج، وبرزنا أهم التدفقات الحرارية التي يتعرض لها كل جزء منه، يكفي أن نجمع كل هذا في مخطط حراري بالمشاهدة بالمخططات الكهربائية ( الشكل 4)، وذلك باعتبار المقاومات المشار إليها في المخطط أدناه تعبر عن مقلوب معاملات الحرارة الداخلة في المعادلات الحرارية المذكورة اعلاه.

4. المخطط الكهربائي المكافئ للتركيبية : (Schéma Électrique Équivalent)



الشكل 4. : المخطط الكهربائي المكافئ لتركيبية المقطر الشمسي المزدوج.

5. المعادلات الطاقوية الكلية للمقطر الشمسي المزدوج:

1. معادلة التوازن الحراري للمقطر الشمسي البسيط ذو الميل الواحد:

$$\begin{aligned}
 \frac{m_w}{S_w} C_{p_w} \frac{dT_w}{dt} + \frac{m_g}{S_g} C_{p_g} \frac{dT_g}{dt} = & \left( \alpha_w + \alpha_{db,w} \tau + \alpha_{P(com)} + \alpha_g \right) \tau G_g^* - \left( Q_{r,w,g} + Q_{is(0)} + Q_{d,ab} \right) + \\
 & + \left( Q_{e,h,g} + Q_{c,h,g} + Q_{r,P(com)g} + Q_{r,w,g} \right) - \left( Q_{r,g,a} + Q_{c,g,a} \right) + \\
 & + \left( Q_{e,h,P(com)} + Q_{c,h,P(com)} + Q_{r,w,P(com)} \right) + \\
 & - \left( Q_{r,P(com)f} + Q_{c,P(com)f} + Q_{e,P(com)f} + Q_{dis,P(com)} \right) \quad (W / m^2)
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

2. معادلة التوازن الحراري للمقطر الشمسي بالشريط الشعيري:

$$\begin{aligned}
 \left( Q_{e,h,P(com)} + Q_{c,h,P(com)} \right) + \left( Q_{r,w,P(com)} + (\alpha_{P(com)} + 1) \tau G_g^* \right) - \left( Q_{r,P(com)g} + Q_{dis,P(com)} \right) + \\
 - \left( \frac{m_{P(com)}}{S_{P(com)}} C_{p_{P(com)}} \frac{dT_{P(com)}}{dt} \right) = \left( Q_{su,P(com)} + Q_{fw2,P(com)} \right) + \\
 + \left( Q_{r,f,a} + Q_{c,f,a} \right) - \left( Q_{is(1)} + Q_{dis,f} \right) \quad (W / m^2)
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

6. المردود الطاقي ( الداخلي  $\eta_i$ ، والكلبي  $\eta_0$  ) للمقطر الشمسي المزدوج ( Effet énergétique ):

$$(11) \quad \eta_i = \frac{Q_{e,w,h}}{\alpha_{w,eff} G^*}, \quad \eta_0 = \frac{Q_{e,w,h}}{G^*} = \alpha_{w,eff} \cdot \eta_i$$

7. معامل الفعالية اللحظي (Facteur de Performance Instantané):

$$(12) \quad F.P.I = \frac{\dot{m}}{\alpha_{w,eff} G_h^* S}$$

8. الخلاصة:

من خلال إبراز أهم المعادلات الرياضية، ووصف الانتقالات الحرارية الحادثة على مستوى الأجزاء المهمة في المقطر المزدوج، يمكن توقع مدى فعالية هذا النموذج، وذلك بحساب المعاملات الخاصة بأهم الانتقالات الحرارية والتي تخص الانتقالات بالتوصيل و بالإشعاع وبالتبخير.

9. جدول الترميز:

المقدار	الاصطلاح	الدليل السفلي	الاصطلاح
$C_p (J / Kg . ^\circ C)$	السعة الحرارية	$a$	المحيط الخارجي
$Q (W / m^2)$	مقدار التدفق الحراري	$ab$	حوض التبخير
$T (^\circ C)$	درجة الحرارة	$g$	الغطاء الزجاجي
$t (s)$	الزمن	$h$	الحيز بين الغطاء والماء في الحوض
$S (m^2)$	مساحة السطح	$w$	الماء الراكذ في حوض التبخير
$m (Kg)$	الكتلة	$dis$	الماء المقطر
$\alpha$	معامل الامتصاص	$su$   $is$	العوازل   ماء شديد الملوحة
$\tau$	معامل الإمرار الإشعاعي	$P(com)$	الصفحة البينية بين غرفتي المقطر المزدوج
$\eta$	المردود الطاقي	$f$	صفحة التبريد للمقطر الشعيري

دراسة نظرية للتوازنات الطاقوية في مقطر شمسي مزدوج (بالاحتباس الحراري للبيت الزجاجي - الخاصية الشعرية للماء).

Etude théorique des bilans énergétiques dans un distillateur solaire couplée (effet de serre - Distillateur à Film Capillaire).

BELHADJ M. M., BOUGUETTAIA H., BECHKI D. et MARIF Y.

## 10. المراجع:

[1]	P.I. Cooper; Solar Energy. Vol. 12. pp. 313-331, (1969)
[2]	H. Tanaka, T. Nosoko et T. Nagata ; Desalination 130 pp.279-293, (2000)
[3]	R.C. Ouahes et P.I. Le Goff ; Desalination 67 pp.43-52, (1987)
[4]	B. Bouchekima, B. Gros, R. Ouahahes et M. Djiboun ; Desalination, 116 158, (1998)
[5]	A. K. SINGW, G. N. TIWARIT, P. B. SHARMA et EMRAN KHAN ; Energy Convers. Vol. 36, No. 3, pp. 175-187, (1995)
[6]	M. S. MALEM; Mémoire de magister ; USTHB Alger (1983).
[7]	P.I. Cooper et J.A. Appleyard ; Sun at Work, Vol. 12 pp.4-8 (1967).