

Étude expérimentale de l'optimisation du mode d'utilisation d'un distillateur solaire plan à multiples effets

Dobet Dago D. I. N'drin*, Siaka Touré, Adingra Paul A. Kouassi

Laboratoire des Sciences de la Matière de l'Environnement, et de l'Énergie Solaire (LASMES), UFR des Sciences des Structures de la Matière et Technologie, Université Félix Houphouët Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Reçu : 06 Octobre 2025 / Reçu sous sa forme révisée : 21 Novembre 2025 / Accepté : 10 Mars 2026

Résumé :

Ce travail analyse expérimentalement l'influence du mode d'utilisation sur la productivité d'un distillateur solaire plan à cinq compartiments. Trois modes sont comparés : (1) tous compartiments actifs, (2) seul le compartiment central actif, (3) seuls les compartiments latéraux actifs. Un paramètre directionnel original, l'angle moyen absolu entre la trajectoire solaire et le plan vertical Est-Ouest, est introduit. Les analyses de Spearman montrent que la productivité est fortement corrélée à la chaleur utile ($\rho_s = 1$) et à la température moyenne de l'eau ($\rho_s = 0,94$). Le Mode 1 offre la meilleure productivité ($4,82 \text{ kg m}^{-2} \text{ j}^{-1}$), suivi du Mode 3 ($2,51 \text{ kg m}^{-2} \text{ j}^{-1}$), puis du Mode 2 ($< 0,9 \text{ kg m}^{-2} \text{ j}^{-1}$). La chaleur utile dépend significativement de l'irradiation journalière ($\rho_s = 0,97$) et de l'angle solaire ($\rho_s = -0,66$). Pour les régions équatoriales, les performances maximales sont obtenues à irradiation élevée (fin saison sèche) et lorsque le soleil est proche du plan vertical Est-Ouest (équinoxes). Le Mode 2, bien que moins productif, est adapté aux composés photosensibles.

Mots-clés : Distillateur solaire ; Optimisation opérationnelle ; Productivité ; Angle solaire.

Abstract:

This work experimentally investigates the influence of the operating mode on the productivity of a five-compartment flat plate solar still. Three modes are compared: (1) all compartments active, (2) only the central compartment active, (3) only the lateral compartments active. An original directional parameter, the mean absolute angle between the solar trajectory and the vertical East-West plane, is introduced. Spearman analyses show that productivity is strongly correlated with useful heat ($\rho_s = 1$) and mean water temperature ($\rho_s = 0.94$). Mode 1 yields the highest productivity ($4.82 \text{ kg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), followed by Mode 3 ($2.51 \text{ kg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), and then Mode 2 ($< 0.9 \text{ kg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). Useful heat depends significantly on daily irradiation ($\rho_s = 0.97$) and on the solar angle ($\rho_s = -0.66$). For equatorial regions, maximum performance is achieved under high irradiation (end of dry season) and when the sun is close to the vertical East-West plane (equinoxes). Mode 2, although less productive, is suitable for photosensitive compounds.

Keywords: Solar still; Operational optimization; Productivity; Solar angle.

*Auteur correspondant:

Adresse e-mail : ivesisrael15@gmail.com (D.D.D.I. N'drin)
<https://doi.org/10.70974/mat10126012>

1. Introduction

À l'échelle mondiale, le problème d'accès à l'eau pour les besoins humains est davantage lié à la qualité de la ressource qu'à sa disponibilité quantitative. En effet, la planète dispose d'importantes réserves hydriques, notamment les océans, les mers, les fleuves et les lacs. Toutefois, une part significative de cette eau est impropre à la consommation sans traitement préalable, en raison de sa salinité [1, 2].

Le dessalement de ces ressources constitue une solution pour l'approvisionnement en eau potable. Néanmoins, les procédés conventionnels sont fortement énergivores, ce qui pose des défis en matière de production et de gestion de l'énergie. La distillation solaire apparaît ainsi comme une alternative durable, répondant simultanément aux enjeux de l'accès à l'eau potable et de la consommation énergétique. L'exploitation moderne de l'énergie solaire pour la distillation de l'eau salée a débuté en 1872 dans le nord du Chili, avec la mise en service d'un distillateur solaire de type bassin, qui a assuré pendant plusieurs années l'approvisionnement en eau d'une communauté locale [3, 4].

Depuis, divers types de distillateurs solaires ont été développés. Parmi les technologies existantes, les distillateurs solaires plans à effets multiples offrent un potentiel intéressant d'amélioration de la productivité. Dans ce contexte, la présente étude décrit un distillateur solaire à cinq compartiments et ses trois principaux modes de fonctionnement, puis identifie expérimentalement le Mode le plus favorable à sa productivité.

2. Matériels et méthodes

2.1. Description du distillateur [5]

La figure 1 donne une représentation dans l'espace du distillateur solaire étudié et les différentes vues (directions et sens d'observation) selon lesquelles sont observées les coupes du distillateur.

La figure 2 et les figures 3(a) et 3(b) présentent respectivement : le schéma de la vue d'une coupe du distillateur suivant un plan horizontal, le schéma de la vue 1 dans le plan de symétrie suivant l'axe $1 \leftrightarrow 2$ (ou axe Nord-Sud) et le schéma de la vue 4 dans le plan de symétrie suivant l'axe $3 \leftrightarrow 4$ du distillateur (Figure 1).

Le distillateur solaire présente deux plans de symétrie verticaux et orthogonaux. L'intersection du premier plan de symétrie avec un plan horizontal donné forme l'axe $1 \leftrightarrow 2$ et l'intersection du second plan avec ce plan horizontal forme l'axe $3 \leftrightarrow 4$ (ou axe Est-Ouest) (Figures 1 à 3).

Le distillateur présente au total cinq compartiments (Figures 1 et 2) :

- Le compartiment central est étanche et couvert successivement du haut vers le bas par les vitres V_5 , V_6 et V_7 . Il est surmonté d'un panneau réflecteur mobile placé en position verticale face opposée au soleil, réfléchissant les rayons solaires passant au-dessus du distillateur vers l'entrée du compartiment central, au fond duquel se trouve l'absorbeur central. Ce compartiment central est assimilable à une cuisinière solaire de type *box*.

L'objectif de ce panneau réflecteur est d'augmenter la température de l'absorbeur central [6].

Bien que l'angle entre le panneau réflecteur et l'horizontale dépende de la latitude et de l'heure de la journée, les travaux de Sharma *et al.* [7], ont montré qu'un angle proche de 81° produit une amélioration significative de la température de l'absorbeur. Dans cette étude, cet angle a été fixé à 90° . Selon les conditions expérimentales, deux fonctions ont été attribuées à ce panneau pour le chauffage de l'eau au niveau de l'absorbeur.

- Pour la contribution du compartiment central au chauffage de l'eau, le panneau réflecteur est fixé en position verticale le matin sur le bord Ouest du compartiment central et le soir sur le bord Est. La face réfléchissante de ce panneau est orientée vers le soleil afin de réfléchir une partie des rayons solaires passant au-dessus du distillateur vers l'entrée du compartiment central.
- Pour la non-contribution du compartiment central au chauffage de l'eau, ce réflecteur est positionné horizontalement pour couvrir la vitre supérieure du compartiment central, empêchant ainsi les rayons solaires de pénétrer dans ce compartiment.
- Les compartiments 1 et 2 sont étanches et couverts respectivement par les vitres V_1 et V_2 . Ces vitres peuvent être recouvertes chacune par un couvercle en contreplaqué amovible. Au fond des compartiments 1 et 2 se trouvent respectivement les bacs 1 et 2 destinés à contenir la solution à distiller.
- Les compartiments 3 et 4, étanches, communiquent avec le compartiment 1 par les fentes F_{1-3} et F_{1-4} , et avec le compartiment 2 par les fentes F_{2-3} et F_{2-4} . Ces compartiments sont couverts respectivement par les vitres V_3 et V_4 . Ces vitres sont recouvertes chacune par un couvercle en contreplaqué fixe.

Le bloc absorbeur *bac 1 + absorbeur central + bac 2* est construit à partir d'une tôle d'acier inoxydable dont le dessus a été revêtu d'une peinture noire non réfléchissante. Les bacs 1 et 2 sont des récipients de forme parallélépipédique, de mêmes dimensions. Ces deux bacs chauffent les solutions à distiller qu'ils reçoivent, favorisant leur évaporation.

Les couvercles vitrés V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 , V_6 et V_7 isolent physiquement les cinq compartiments, transmettent le rayonnement solaire dans ces compartiments, favorisent l'effet de serre ou constituent des surfaces de condensation de la vapeur.

Par ailleurs, le châssis et les parois latérales du distillateur sont construits à base d'isolants thermiques. Ils permettent de réduire les pertes de chaleur par conduction thermique vers l'extérieur.

Le tableau 1 présente les valeurs des conductivités thermiques de certains matériaux.

Les isolants thermiques utilisés pour ce distillateur sont le contreplaqué et le polystyrène expansé. Ces

matériaux ont été choisis pour leur faible conductivité thermique, leur faible coût, leur disponibilité et leur résistance à l'usure. Les travaux de Khalifa et Hamood [8] ont montré que la productivité d'un distillateur solaire à simple pente dépend fortement de l'épaisseur de l'isolation thermique en polystyrène expansé sous l'absorbeur. La productivité augmente avec l'épaisseur d'isolation, atteignant un optimum pour une épaisseur d'environ 4 cm. Au-delà de 4 cm, l'augmentation de la productivité reste négligeable (inférieure à 3%) [8]. Pour ce distillateur, les épaisseurs de polystyrène utilisées sont supérieures à 4 cm.

La disposition et les dimensions de ces deux isolants dépendent de la position des parois externes du distillateur :

- Pour réduire les pertes thermiques au niveau des quatre parois externes latérales (parois ver-

tales), on retrouve la même disposition de l'intérieur vers l'extérieur : un bloc de polystyrène d'épaisseur 7,5 cm recouvert d'un revêtement en feuille d'aluminium, puis un contreplaqué d'épaisseur 1,5 cm [5].

- Pour réduire les pertes thermiques vers le bas (châssis), l'isolation a été constituée de : contreplaqué d'épaisseur 15 cm servant de support à l'ensemble *bac 1 + absorbeur central + bac 2*; feuille de polystyrène d'épaisseur 15 cm; et un autre contreplaqué d'épaisseur 1,5 cm en contact avec l'extérieur [5].

2.2. Dimensions de certains éléments constitutifs du distillateur

Le [tableau 2](#) présente le récapitulatif des dimensions des parties constitutives du distillateur solaire.

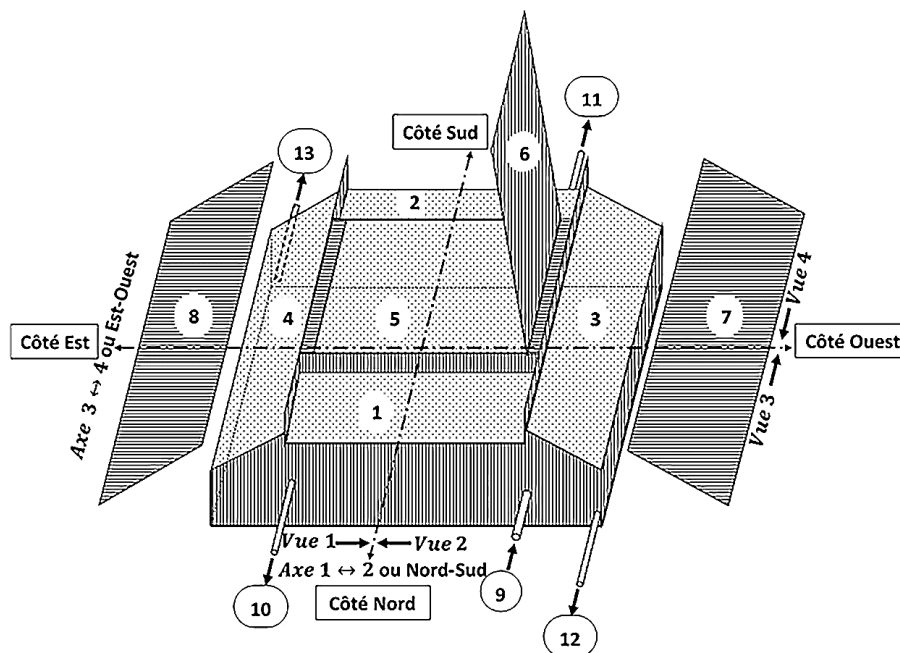


Fig. 1. Vue en trois dimensions du distillateur [5].

Légende

- | |
|---|
| <p>1 : Compartiment 1 couvert par la vitre 1 (V_1).</p> <p>2 : Compartiment 2 couvert par la vitre 2 (V_2).</p> <p>3 : Compartiment 3 couvert par la vitre 3 (V_3).</p> <p>4 : Compartiment 4 couvert par la vitre 4 (V_4).</p> <p>5 : Compartiment de l'absorbeur central couvert au-dessus par la vitre 5 (V_5).</p> <p>6 : Réflecteur solaire.</p> <p>7 : Couverture fixe en contre-plaqué recouvrant toujours la vitre 3.</p> <p>8 : Couverture fixe en contre-plaqué recouvrant toujours la vitre 4.</p> <p>9 : Entrée du conduit d'alimentation en solution à distiller.</p> <p>10 : Sortie du distillat D_1 obtenu au niveau du compartiment 1.</p> <p>11 : Sortie du distillat D_2 obtenu au niveau du compartiment 2.</p> <p>12 : Sortie du distillat D_3 obtenu au niveau du compartiment 3.</p> <p>13 : Sortie du distillat D_4 obtenu au niveau du compartiment 4.</p> |
|---|

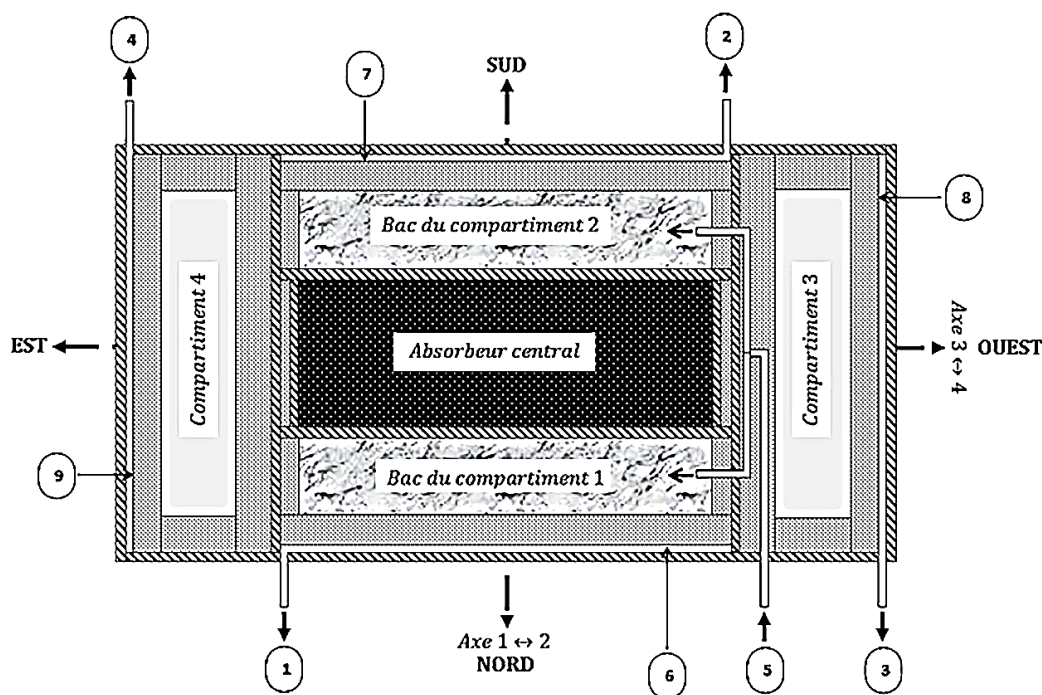


Fig. 2. Vue de dessus d’une coupe horizontale du distillateur solaire [5].

Légende

| | |
|---|--|
| | : Matériaux en contre-plaqué. |
| | : Matériaux en polystyrène expansé. |
| | : Revêtements en papier aluminium. |
| | : Solution à distiller. |
| | : Distillat. |
| | : Peinture noire. |
| 1 | : Sortie du distillat obtenu au niveau du compartiment 1. |
| 2 | : Sortie du distillat obtenu au niveau du compartiment 2. |
| 3 | : Sortie du distillat obtenu au niveau du compartiment 3. |
| 4 | : Sortie du distillat obtenu au niveau du compartiment 4. |
| 5 | : Entrée du conduit d’alimentation en saumure du distillateur. |
| 6 | : Gouttière G ₁ du compartiment 1. |
| 7 | : Gouttière G ₂ du compartiment 2. |
| 8 | : Gouttière G ₃ du compartiment 3. |
| 9 | : Gouttière G ₄ du compartiment 4. |

2.3. Principe de fonctionnement du distillateur [5]

L’absorbeur central est chauffé par le rayonnement solaire transmis à travers les vitres, effet accentué par l’effet de serre. Du fait que l’absorbeur central et les deux bacs sont constitués d’une même tôle d’acier inoxydable, cette chaleur est transférée par conduction à l’intérieur de la tôle, de l’absorbeur central vers les deux bacs. À cette chaleur transférée par conduction aux bacs s’ajoute la chaleur due au rayonnement solaire transmis par chaque vitre des compartiments 1 et 2 à l’eau et aux bacs 1 et 2 (Figure 4). Il s’ensuit une évaporation de la solution à distiller dans les bacs 1 et 2. Ces vapeurs s’élèvent par convection naturelle vers les vitres V_1 et V_2 .

Une partie des vapeurs des compartiments 1 et 2 se condense sous ces vitres en gouttelettes, puis est collec-

tée par des gouttières, formant ainsi les distillats issus des compartiments 1 et 2. L’autre partie de la vapeur du compartiment 1 est déviée à travers les fentes F_{1-3} et F_{1-4} vers les compartiments 3 et 4. De même, l’autre partie de la vapeur du compartiment 2 est déviée à travers les fentes F_{2-3} et F_{2-4} vers les compartiments 3 et 4. Ces vapeurs provenant des compartiments 1 et 2 vers les compartiments 3 et 4 se condensent sous leurs vitres, formant les distillats issus des compartiments 3 et 4.

2.4. Instrumentation

2.4.1. Pyranomètre et enregistreur de tension

Les figures 5 et 6 présentent le pyranomètre et l’enregistreur de tension utilisés pour cette étude.

Le pyranomètre de marque *EPPLEY PsP* permet de mesurer l’ensoleillement reçu sur une surface horizontale avec une précision de 10 W m^{-2} .

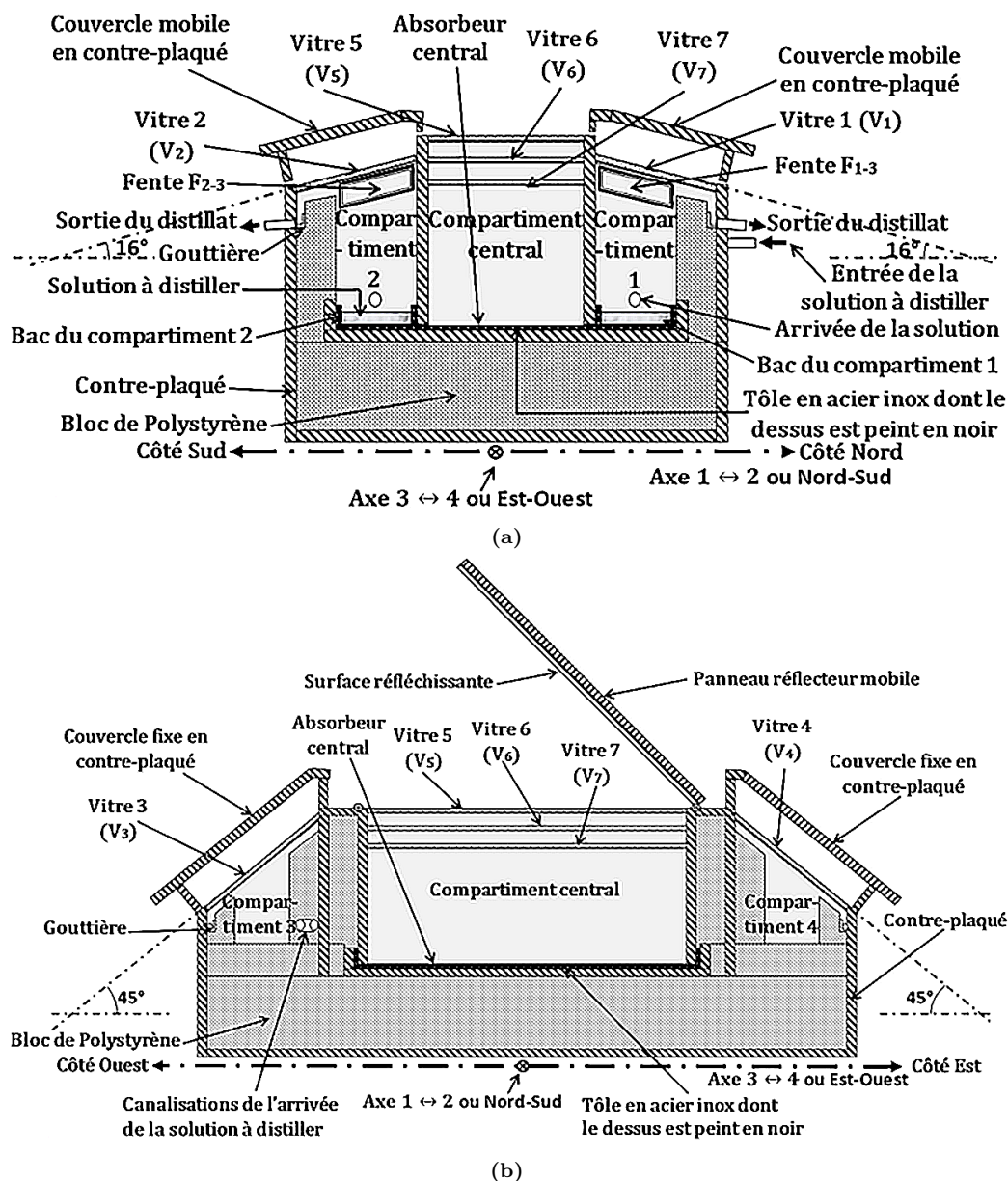


Fig. 3. (a) Vue 1 de la coupe suivant l'axe 1 ↔ 2; (b) Vue 4 de la coupe suivant l'axe 3 ↔ 4 [5].

Tableau 1

Conductivités thermiques λ de matériaux isolants thermiques [9–11].

| Catégories | Matériaux | λ ($W m^{-1} K^{-1}$) |
|-----------------------|--|---------------------------------|
| Isolants synthétiques | Polystyrène expansé | 0,032–0,039 |
| | Polystyrène extrudé | 0,029–0,036 |
| | Polyéthylène | 0,022–0,026 |
| Isolants minéraux | Laine de verre | 0,033–0,045 |
| | Laine de roche | 0,034–0,040 |
| Isolants naturels | Liège expansé | 0,040–0,050 |
| | Fibre de bois de moyenne densité | 0,040–0,060 |
| | Paille compressée | 0,050–0,080 |
| Bois et dérivés | Bois tendre sec (résineux) | 0,12–0,14 |
| | Bois dur sec | 0,16–0,20 |
| | Contreplaqué | 0,15–0,18 |
| | MDF (panneau de fibres de moyenne densité) | 0,25 |

Tableau 2

Dimensions des parties du distillateur.

| Élément | Description | Longueur (cm) | Largeur (cm) | Épaisseur (cm) |
|---|-------------------------------|---------------|--------------|----------------|
| Vitrage | Vitres V_1 et V_2 | 153 | 29 | 0,5 |
| | Vitres V_3 et V_4 | 105 | 34,5 | 0,5 |
| | Vitres V_5 , V_6 et V_7 | 149,5 | 44 | 0,5 |
| Couvercles en contreplaqué | Compartiments 1 et 2 | 163 | 39 | 1,5 |
| | Compartiments 3 et 4 | 115 | 35,5 | 1,5 |
| Absorbeur central, bacs et panneau réflecteur | Bac 1 et bac 2 | 149,5 | 22,5 | 4 |
| | Absorbeur central | 149,5 | 44 | 4 |
| | Panneau réflecteur | 150 | 45 | 1,5 |
| Isolations thermiques latérales | Revêtement en aluminium | – | – | 0,0001 |
| | Polystyrène expansé | – | – | 7,5 |
| | Contreplaqué | – | – | 1,5 |
| Isolations thermiques de la base | Support en contreplaqué | 149,8 | 88,3 | 1,5 |
| | Polystyrène expansé | – | – | 15 |
| | Contreplaqué | – | – | 1,5 |

Le pyranomètre délivre une tension de l'ordre du millivolt, proportionnelle à l'éclairement reçu, selon la relation suivante :

$$E = \frac{V}{k} \quad (1)$$

où E est l'éclairement reçu par le pyranomètre en $W\ m^{-2}$, V est la différence de potentiel délivrée par le pyranomètre en mV, et $k = 10,41 \times 10^{-3}\ mV\ m^2\ W^{-1}$ est le coefficient de proportionnalité du pyranomètre.

L'enregistreur de tension utilisé est de marque *PICO* avec un câble USB pour la connexion à un ordinateur. La [figure 7](#) présente le dispositif expérimental aménagé sur le toit du bâtiment du site d'expérimentation.

2.4.2. Détermination des masses des distillats

Les masses des distillats ont été déterminées à l'aide d'une balance électronique de marque *SF-400C* avec une précision de 0,01 g.

2.4.3. Thermocouples et enregistreur de températures

La [figure 8](#) présente un brin de huit thermocouples de type K ayant chacun deux mètres de longueur.

Toutes les températures sont mesurées à l'aide de ce type de thermocouple avec une précision de 0,1 °C ; ces thermocouples sont placés en différents points du distillateur.

La [figure 9](#) présente l'enregistreur de températures de marque *Applent* sur lequel sont branchés les brins de thermocouples.

Le [tableau 3](#) présente les symboles des températures sur l'absorbeur central et leurs significations. La [figure 10](#) présente les positions des thermocouples sur le bloc *bac 1 + absorbeur central + bac 2* qui mesurent les températures du [tableau 3](#).

2.5. Protocoles expérimentaux

2.5.1. Modes d'utilisation du distillateur

Le distillateur solaire est positionné de sorte que son axe 3 ↔ 4 soit aligné avec l'axe Est-Ouest. Ainsi, le compartiment 1 se trouve du côté Nord, le compartiment 2 du côté Sud, le compartiment 3 du côté Ouest et le compartiment 4 du côté Est du compartiment central. Ce distillateur solaire est utilisé selon trois modes principaux.

- **Mode 1.** Le compartiment de l'absorbeur central est muni de son réflecteur (en position verticale). Le matin, la surface réfléchissante du réflecteur est orientée vers l'Est (face au soleil) ; l'après-midi, elle est orientée vers l'Ouest. Les couvercles en contreplaqué des compartiments 1 et 2 sont retirés.
- **Mode 2.** Les compartiments 1 et 2 sont couverts avec leurs couvercles en contreplaqué pour empêcher les rayons solaires de pénétrer dans ces compartiments. Le compartiment de l'absorbeur central n'est pas couvert et est muni de son réflecteur de la même manière que dans le premier Mode.
- **Mode 3.** Le compartiment de l'absorbeur central est couvert avec son réflecteur pour empêcher le rayonnement solaire de pénétrer dans ce compartiment. Les couvercles en contreplaqué des compartiments 1 et 2 sont retirés.

2.5.2. Enregistrement des données

- L'éclairement et les températures sont enregistrés chaque minute de manière synchronisée.
- La masse du distillat recueilli est mesurée 2 h 30 min après le début de l'expérience, puis toutes les heures jusqu'à la fin de l'expérience.
- Les expériences sont toutes réalisées pendant la journée sur une durée de dix heures trente minutes.

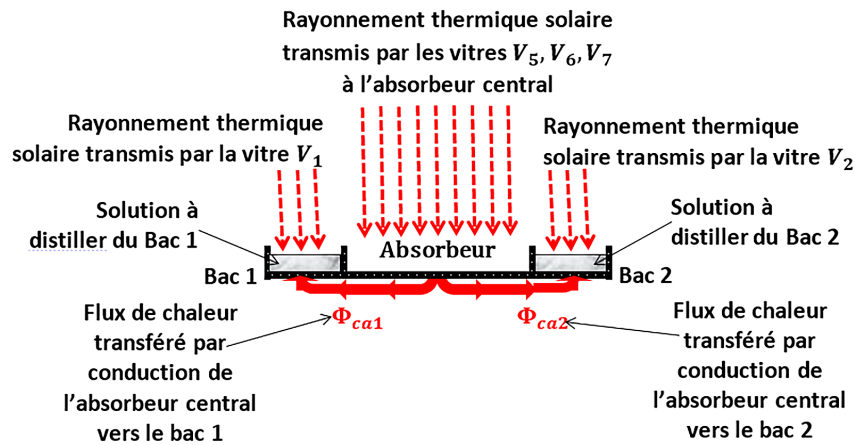


Fig. 4. Conduction thermique entre l'absorbeur central et les deux bacs 1 et 2 [5].



Fig. 5. Pyranomètre.



Fig. 6. Enregistreur de données (tension électrique).

Tableau 3

Températures sur l'absorbeur central et les bacs.

| Symboles des températures | Significations |
|---------------------------|---|
| T_{ac} | Température au centre de l'absorbeur central |
| T_{a1} | Température du cote Nord de l'absorbeur central (vers le bac 1) |
| T_{a2} | Température du cote Sud de l'absorbeur central (vers le bac 2) |
| T_{a3} | Température du cote Ouest de l'absorbeur central (vers le compartiment 3) |
| T_{a4} | Température du cote Est de l'absorbeur central (vers le compartiment 4) |
| T_{b1} | Température du bac 1 |
| T_{b2} | Température du bac 2 |
| T_{W1} | Température de l'eau dans le bac 1 |
| T_{W2} | Température de l'eau dans le bac 2 |

2.5.3. Irradiation journalière

L'irradiation solaire journalière I est l'énergie solaire reçue par unité de surface sur toute la durée $\Delta t = t_f - t_i$ de l'expérimentation du jour, de l'instant initial t_i (première mesure) à l'instant final t_f (dernière mesure). La durée de l'expérimentation est $\Delta t = 10 \text{ h } 30 \text{ min} = 10,5 \text{ h}$. Cette irradiation est donnée par la formule :

$$I = \int_{t_i}^{t_f} E(t)dt \tag{2}$$

où I est en Whm^{-2} , et $E(t)$ est l'ensoleillement à l'instant t en W m^{-2} .

2.5.4. Productivité

La productivité P_r en kg m^{-2} est la masse totale d'eau recueillie par unité de surface des bassins d'eau [12] :

$$P_r = \frac{m_d}{2 \times S_1} \tag{3}$$

où m_d est la masse totale d'eau recueillie des compartiments du distillateur en kg, S_1 est la surface de l'un des bacs en m^2 , et $2 \times S_1$ est la surface des deux bacs.

2.5.5. Flux de chaleur utile et chaleur utile

On définit le flux de chaleur utile Φ_u en Wm^{-2} . C'est le flux de chaleur utilisé par le distillateur pour

chauffer les eaux des bacs 1 et 2. Il est la somme algébrique :

- du flux de chaleur Φ_{2ab} transmis par conduction de l'absorbeur central vers les deux bacs, donné par :

$$\Phi_{2ab} = \Phi_{ca1} + \Phi_{ca2} \quad (4)$$

où Φ_{ca1} et Φ_{ca2} sont les flux de chaleur échangés par conduction de l'absorbeur central vers le bac 1 et vers le bac 2 (Figure 4) ;

- du flux de chaleur $2 \times E \times \tau_v \times \alpha_e \times S_1$ absorbé par les eaux des deux bacs et provenant du rayonnement solaire transmis par les vitres des compartiments 1 et 2, où τ_v est le coefficient de transmission de la vitre et α_e est le coefficient d'absorption de l'eau ;
- du flux de chaleur $2 \times E \times \tau_e \times \alpha_{ab} \times S_1$ transmis aux eaux par leurs bacs, ces deux bacs étant réchauffés par le rayonnement solaire transmis par les vitres et les eaux des compartiments 1 et 2, où τ_e est le coefficient de transmission de l'eau et α_{ab} est le coefficient d'absorption des bacs.

Le flux de chaleur utile s'exprime en fonction des modes d'utilisation du distillateur.

- **Pour le premier Mode d'utilisation :**

$$\Phi_u = \Phi_{2ab} + 2 \times E \times \alpha_{\text{eff}} \times S_1 \quad (5)$$

où α_{eff} est le coefficient d'absorption effectif défini par :

$$\alpha_{\text{eff}} = \tau_v \times \alpha_e + \tau_e \times \alpha_{ab} \quad (6)$$

- **Pour le deuxième Mode d'utilisation :**

$$\Phi_u = \Phi_{2ab} \quad (7)$$

- **Pour le troisième Mode d'utilisation :**

$$\Phi_u = \Phi_{2ab} + 2 \times E \times \alpha_{\text{eff}} \times S_1 \quad (8)$$

La chaleur utile Q_u en Wh est l'énergie thermique due au flux de chaleur utile Φ_u sur la durée de l'expérimentation $\Delta t = t_f - t_i = 10,5$ h. On a :

$$Q_u = \int_{t_i}^{t_f} \Phi_u dt \quad (9)$$

2.5.6. Repérage de la direction du soleil [5]

Les figures 11(a) et 11(b) présentent le repère cartésien local (O, X, Y, Z) en trois dimensions lié au compartiment central avec la hauteur h du soleil et l'azimut a , puis en deux dimensions sur l'absorbeur central.

On considère les vecteurs \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} comme les vecteurs directeurs unitaires respectifs de ces axes. Dans ce repère, les coordonnées $(x; y; z)$ du vecteur directeur unitaire \vec{u} de la droite passant par le point O , par le

centre du soleil et orienté vers le soleil sont telles que :

$$\begin{cases} x = \cos h \times \cos a \\ y = -\cos h \times \sin a \\ z = \sin h \end{cases} \quad (10)$$

ou encore :

$$\begin{cases} x = \cos \delta \times \sin L \times \cos W - \cos L \times \sin \delta \\ y = -\cos \delta \times \sin W \\ z = \cos \delta \times \cos L \times \cos W + \sin L \times \sin \delta \end{cases} \quad (11)$$

Les figures 12(a) et 12(b) présentent le vecteur \vec{u}_{xz} , projection du vecteur \vec{u} dans le plan (OXZ) , et le vecteur \vec{u}_{yz} , projection du vecteur \vec{u} dans le plan (OYZ) . On définit les mesures d'angle suivantes :

$$\begin{cases} \alpha_x = \text{Mes} \left(\widehat{\vec{i}, \vec{u}_{xz}} \right) & \text{et } \alpha_x \in [0^\circ; 180^\circ] \\ \alpha_y = \text{Mes} \left(\widehat{\vec{i}, \vec{u}_{yz}} \right) & \text{et } \alpha_y \in [0^\circ; 180^\circ] \end{cases} \quad (12)$$

De plus,

$$\begin{cases} \cos \alpha_x = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}} \\ \sin \alpha_x = \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}} \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \cos \alpha_y = \frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}} \\ \sin \alpha_y = \frac{z}{\sqrt{y^2 + z^2}} \end{cases} \quad (13)$$

Au cours de l'année, la trajectoire du soleil change de position par rapport au plan vertical passant par l'axe Est-Ouest. Pour un observateur placé en un point de l'équateur, on fait les observations suivantes. À partir du 21 septembre, la trajectoire du soleil quitte ce plan vertical et passe du côté Sud de ce plan jusqu'au 21 décembre. Puis cette trajectoire revient dans ce plan le 21 mars et passe du côté Nord de ce plan jusqu'au 21 juin, pour revenir dans ce plan le 21 septembre (Figure 13). L'angle que fait la direction du soleil avec la verticale au midi solaire est de $+23^\circ 27'$ le 21 juin et de $-23^\circ 27'$ le 21 décembre [13].

2.5.7. Angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ et proximité de la trajectoire du soleil avec le plan passant par l'axe Est-Ouest [5]

L'écart angulaire entre la direction du soleil et le plan vertical passant par l'axe Est-Ouest est caractérisé par la mesure d'angle définie par $\alpha_{xz} = \text{Mes} \left(\widehat{\vec{u}_{xz}, \vec{k}} \right)$ pour $\alpha_x \geq 0$ pendant la journée (Figure 14). On a :

- si les angles sont mesurés en radians :

$$\alpha_{xz} = \frac{\pi}{2} - \alpha_x \quad (14)$$

- si les angles sont mesurés en degrés :

$$\alpha_{xz} = 90 - \alpha_x \quad (15)$$

Il apparaît que :

- si $\alpha_{xz} > 0$, le soleil est du côté Sud du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest ;

- si $\alpha_{xz} = 0$, le soleil est dans le plan vertical passant par l'axe Est-Ouest ;
- si $\alpha_{xz} < 0$, le soleil est du côté Nord du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest.

Ainsi, pour caractériser la proximité de la trajectoire apparente du soleil avec le plan vertical passant par l'axe Est-Ouest sur toute la durée des mesures, on définit l'angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ comme la valeur absolue de la moyenne de α_{xz} relative à toute la durée

des mesures, pour les valeurs de $\alpha_x \geq 0$ (pendant le jour). On a :

$$\bar{\alpha}_{ax} = |\text{moyenne}(\alpha_{xz})| = \begin{cases} \left| \text{moyenne} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_x \right) \right| \\ \text{ou} \\ \left| \text{moyenne} (90 - \alpha_x) \right| \end{cases} \quad (16)$$

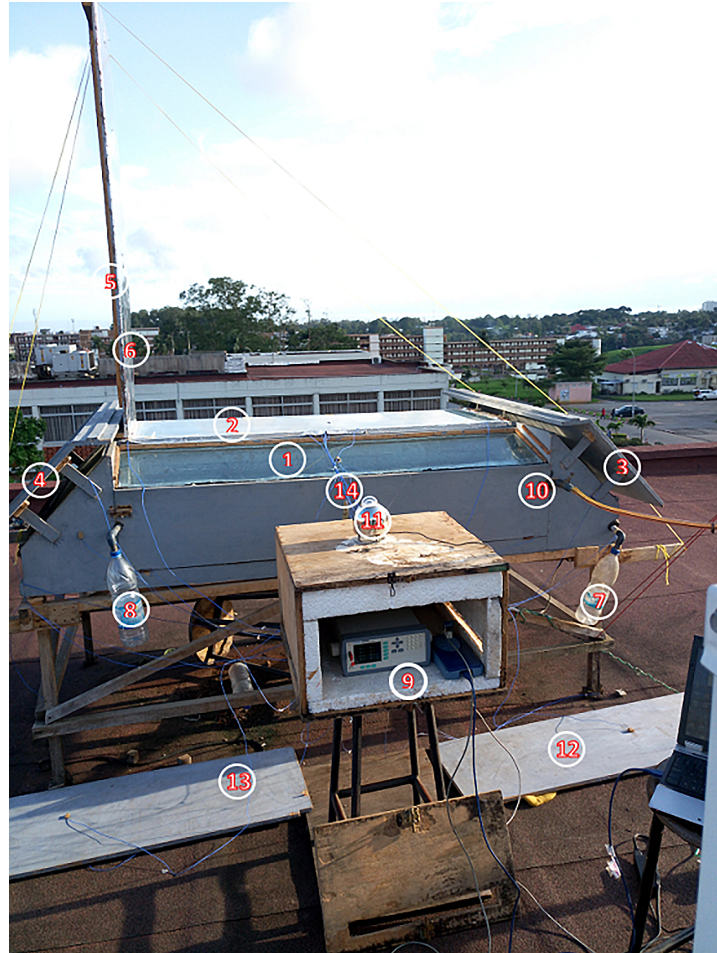


Fig. 7. Dispositif expérimental.

Légende

- | |
|---|
| 1 : La vitre V_1 du compartiment 1 |
| 2 : La vitre V_5 du compartiment central |
| 3 : Le couvercle fixe du compartiment 3 |
| 4 : Le couvercle fixe du compartiment 4 |
| 5 : Le panneau réflecteur |
| 6 : Le revêtement réfléchissant |
| 7 : La bouteille de la gouttière du compartiment 3 |
| 8 : La bouteille de la gouttière du compartiment 1 |
| 9 : L'unité d'enregistrement |
| 10 : L'arrivée de la solution à distiller |
| 11 : Le pyranomètre |
| 12 : Le couvercle amovible du compartiment 1 |
| 13 : Le couvercle amovible du compartiment 2 |
| 14 : Des thermocouples |

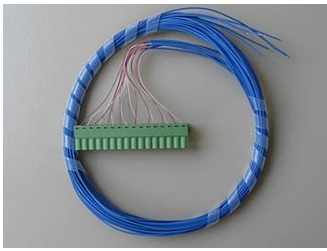


Fig. 8. Brin de huit thermocouples de type K.

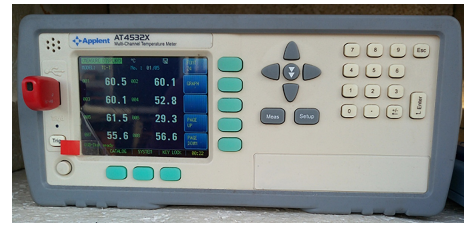


Fig. 9. Enregistreur de température de marque Applent avec une clé USB (en rouge).

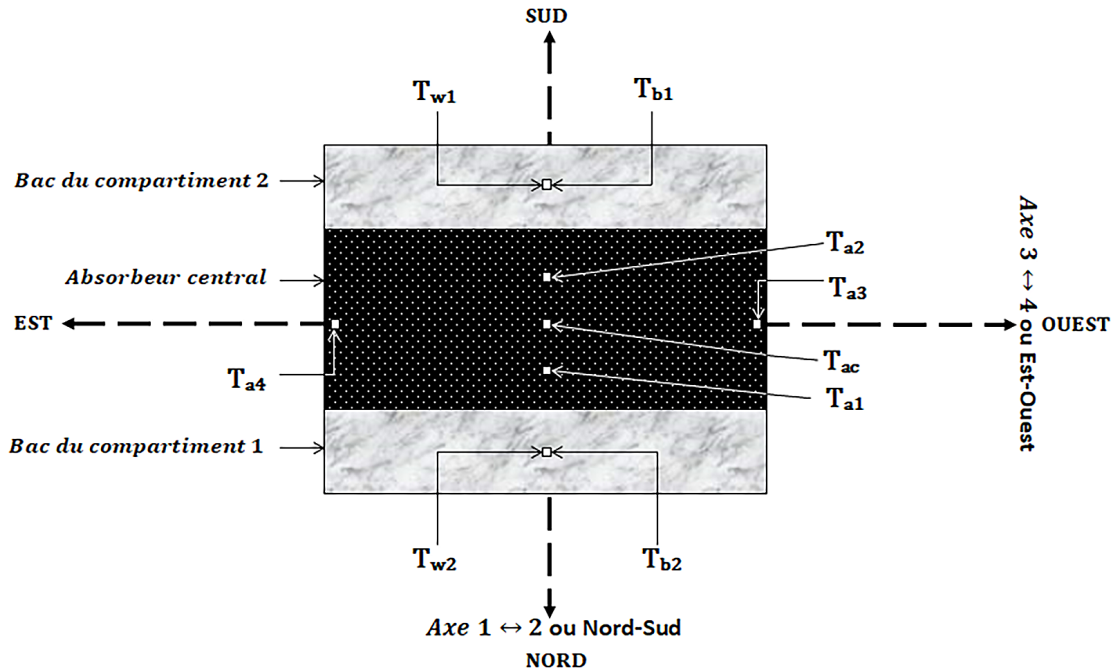


Fig. 10. Positions des extrémités des thermocouples sur l'absorbeur central et les bacs.

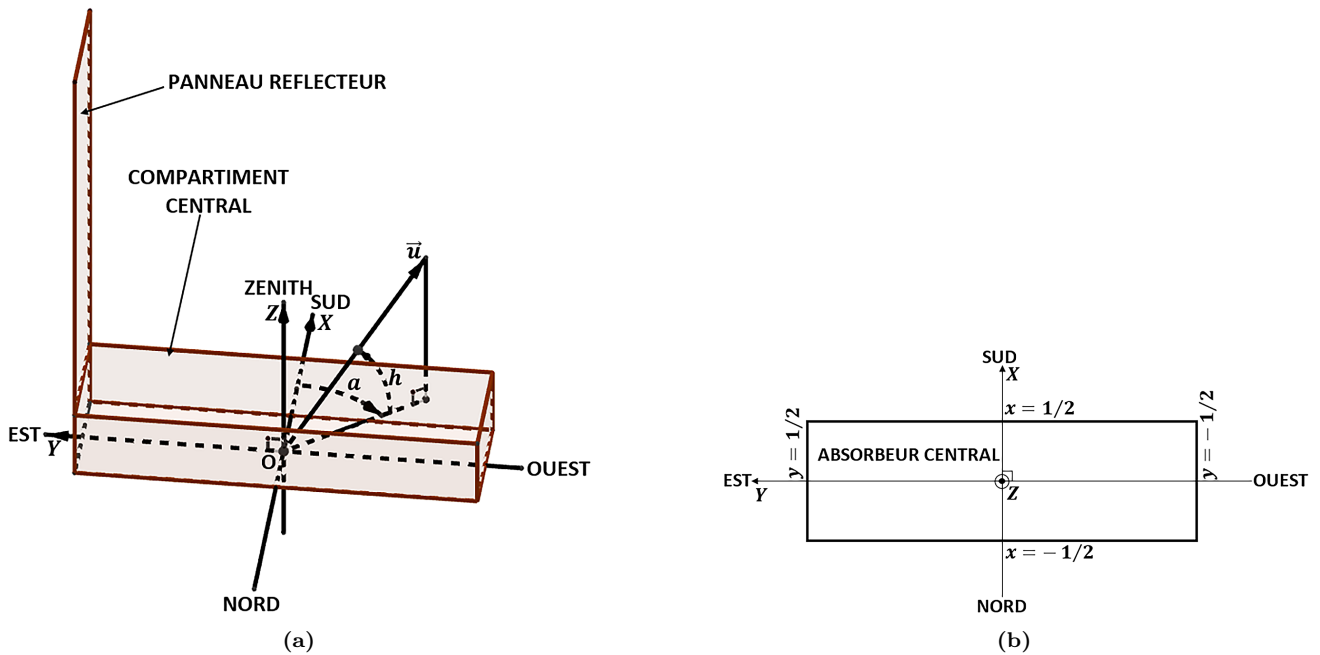


Fig. 11. (a) Repère cartésien local en trois dimensions lié au distillateur (le soleil est positionné dans l'après-midi); (b) Repère cartésien local en deux dimensions (Vue de dessus).

Il ressort que plus l'angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ est proche de zéro, plus la trajectoire du soleil est proche du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest. Par ailleurs,

plus l'angle moyen absolu est grand, plus la trajectoire du soleil est éloignée de ce plan.

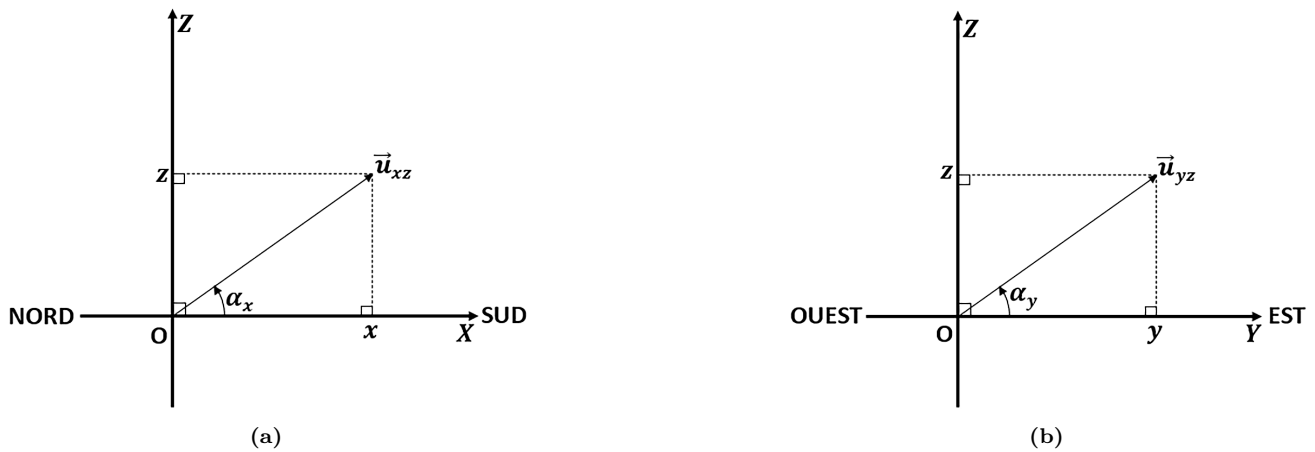


Fig. 12. (a) Projection du vecteur \vec{u} dans le plan (OXZ) ; (b) Projection du vecteur \vec{u} dans le plan (OYZ) .

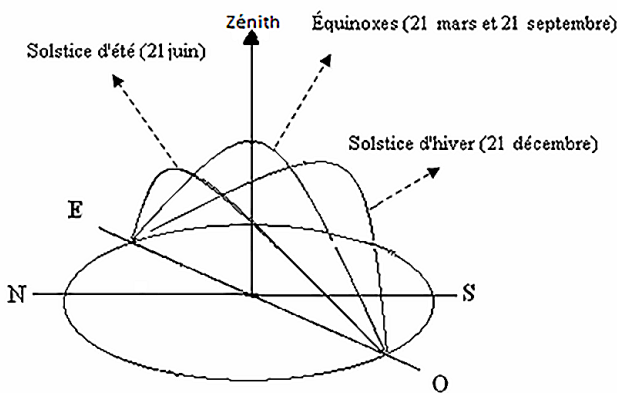


Fig. 13. Mouvement apparent du soleil en un point de l'équateur [13].

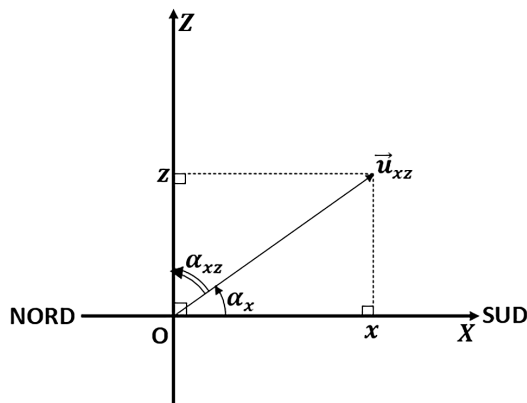


Fig. 14. Angles α_{xz} , α_x et le vecteur \vec{u} dans le plan (OXZ) .

2.5.8. Contexte temporel

Le choix des journées de mesures est guidé principalement par la nécessité d'avoir des irradiances journalières variées et des positions variées de la trajectoire journalière du soleil par rapport au plan vertical passant par l'axe Est-Ouest.

2.5.9. Contrôle des variables

Le contrôle des variables se fait selon les points suivants.

1. Chaque expérience est réalisée pendant la journée sur une durée de dix heures trente minutes.

2. Les travaux de Moreno *et al.* [14] montrent que la productivité en eau diminue lorsque la concentration en sel augmente. Dans cette étude, l'eau courante est choisie pour sa concentration en sel pratiquement nulle.
3. Les travaux de Khafaji *et al.* [15] montrent que la productivité du distillateur augmente lorsque l'épaisseur de l'eau dans les bacs diminue. Ils ont obtenu une productivité plus grande avec une épaisseur d'eau de 1 cm qu'avec des épaisseurs de 2 cm et 3 cm. Ainsi, pour toutes les expériences, le volume initial d'eau utilisé dans chaque bac est de 3,375 L, ce qui correspond à une hauteur initiale de solution à distiller dans chaque bac d'environ 1 cm.
4. Le débit de l'eau à l'entrée des bacs est nul pendant la durée de l'expérience.
5. Les travaux de Pillai *et al.* [16] montrent que l'irradiation est le facteur le plus important qui détermine la productivité du distillateur, suivie de la température ambiante qui a une influence modérée dans un système scellé, puis de l'humidité qui n'a pas d'impact significatif comparé à ceux de l'irradiation et de la température ambiante. De même, Khalaf *et al.* [17] ont observé que l'irradiation est de loin le paramètre externe le plus influent sur la productivité, suivie de la température ambiante qui a une influence modérée. De plus, cette température agit sur la différence de température eau-vitre et la température de l'eau du bassin. La vitesse du vent a un effet marginal par rapport à celle de l'irradiation et de la température ambiante. Les travaux de Younis *et al.* [18] montrent que pour les distillateurs scellés, l'irradiation et la température ambiante expliquent la majeure partie de la variance de la productivité, tandis que l'effet de l'humidité et de la vitesse du vent est faible par rapport à ceux de l'irradiation et de la température ambiante. Esfe et Toghraie [19] ont observé que la productivité et la température du bassin varient avec la température ambiante, par l'effet de cette température sur la différence de températures eau-vitre. De plus, l'effet de

la température ambiante est plus marqué pour une faible profondeur (par exemple 1 cm). Il est possible d'affirmer que la productivité d'un distillateur solaire scellé est en grande partie dictée par l'irradiation solaire et la température du bassin.

6. Des travaux antérieurs menés par N'drin *et al.* [5] sur ce distillateur (à cinq compartiments) avec le premier Mode d'utilisation ont montré que la productivité du distillateur dépend fortement d'un autre paramètre externe. Ce paramètre externe est l'angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ qui caractérise la proximité de la trajectoire journalière du soleil avec le plan vertical passant par l'axe Est-Ouest. Par ailleurs, plus l'angle moyen absolu est proche de zéro, plus la productivité est grande. C'est-à-dire que plus la trajectoire du soleil est proche du plan passant par l'axe Est-Ouest, plus la productivité est grande. Donc les paramètres retenus pour quantifier la productivité P_r sont l'irradiation journalière I , l'angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ et la température moyenne $\bar{T}_{W12} = (T_{W1} + T_{W2})/2$ des deux bassins d'eau sur la durée des mesures.

On fait les hypothèses suivantes qui permettent la généralisation des conclusions liées à ces trois paramètres retenus, du Mode 1 aux modes 2 et 3 :

- L'effet de l'irradiation journalière sur la productivité ne dépend pas du Mode d'utilisation, car l'irradiation détermine l'énergie disponible pour l'évaporation.
- La température moyenne \bar{T}_{W12} des eaux est un paramètre interne du distillateur dont l'effet sur la productivité ne dépend pas du Mode d'utilisation.
- L'effet des variations de l'angle moyen absolu sur la productivité ne dépend pas du Mode d'utilisation. En effet, l'influence de la proximité de la trajectoire du soleil avec le plan vertical passant par l'axe Est-Ouest sur la productivité ne

dépend pas du Mode d'utilisation. Les différents modes d'utilisation ne changent pas l'orientation du distillateur ni celle du bloc *bac 1 + absorbeur central + bac 2*.

Ainsi, l'influence des paramètres retenus sur la productivité journalière du distillateur avec le Mode d'utilisation 1 sera la même dans chacun des deux autres modes d'utilisation.

2.5.10. Analyse statistique des données

Afin d'évaluer la liaison entre paires de grandeurs physiques mesurées simultanément sur le dispositif, le choix de l'analyse statistique s'est porté sur l'analyse statistique non paramétrique de Spearman. Compte tenu de la taille réduite des échantillons de mesures (dans la partie expérimentale, la taille des échantillons est $n = 11$ ou $n = 15$), de l'absence d'hypothèses fortes sur la normalité des distributions et sur la linéarité des liaisons entre les grandeurs physiques, ce choix du test de Spearman se justifie parce qu'il analyse les rangs des paires, ce qui convient aux données appariées (mesures simultanées sur un même dispositif).

L'interprétation du test de Spearman doit être fondée conjointement sur la valeur du coefficient ρ_s ($-1 \leq \rho_s \leq 1$) qui mesure l'intensité de l'association monotone, et la p -value (notée p) qui évalue sa significativité statistique, conformément aux recommandations en statistiques non paramétriques [20, 21].

Le **tableau 4** présente les interprétations des intervalles du coefficient ρ_s de Spearman.

Il faut noter que :

- si ρ_s est négative, la corrélation est négative et la relation monotone est négative (décroissante) ;
- si ρ_s est positive, la corrélation est positive et la relation monotone est positive (croissante).

Le **tableau 5** présente les interprétations des intervalles de la p -value de Spearman avec un seuil de significativité égal à 5%.

Le **tableau 6** présente les interprétations conjointes des intervalles du coefficient ρ_s de Spearman et de sa p -value avec un seuil de significativité égal à 5%.

Tableau 4

Interprétation du coefficient ρ_s de Spearman [20, 21].

| Coefficient ρ_s | Intensité de la corrélation |
|---------------------------|--|
| $ \rho_s = 1$ | Corrélation parfaite et relation monotone parfaite |
| $0,7 \leq \rho_s < 1$ | Forte corrélation et relation monotone marquée |
| $0,4 \leq \rho_s < 0,7$ | Corrélation modérée et relation monotone claire |
| $0,2 \leq \rho_s < 0,4$ | Faible corrélation et relation monotone faible |
| $ \rho_s < 0,2$ | Corrélation nulle ou négligeable et absence de relation monotone |

Tableau 5

Interprétation de la p -value de Spearman au seuil de 5% [20, 21].

| p -value | Décision statistique et interprétation |
|-----------------------|--|
| $p \leq 0,001$ | Très haute significativité et preuve très forte d'une relation monotone |
| $0,001 < p \leq 0,01$ | Haute significativité et preuve forte d'une relation monotone |
| $0,01 < p \leq 0,05$ | Significativité claire et corrélation statistique démontrée |
| $0,05 < p \leq 0,10$ | Faible significativité et indice de corrélation à interpréter prudemment |
| $p > 0,10$ | Absence de significativité et aucune corrélation monotone établie |

Tableau 6Interprétation conjointe du coefficient ρ_s de Spearman et de sa p -value au seuil de 5% [20, 21].

| Coefficient ρ_s | p -value | Conclusion |
|---------------------------|---------------|---|
| $ \rho_s \geq 0,7$ | $p \leq 0,05$ | Corrélation forte et significative |
| $0,4 \leq \rho_s < 0,7$ | $p \leq 0,05$ | Corrélation modérée et significative |
| $0,2 \leq \rho_s < 0,4$ | $p \leq 0,05$ | Corrélation faible mais réelle |
| $ \rho_s \geq 0,4$ | $p > 0,05$ | Corrélation apparente mais non prouvée |
| $ \rho_s < 0,2$ | $p > 0,05$ | Absence de corrélation monotone démontrée |

3. Résultats et discussion

Le [tableau 7](#) présente onze journées de mesures de l'irradiation solaire, de l'angle moyen absolu, de la chaleur utile, de la température moyenne des bassins sur la durée des mesures et de la productivité journalière du distillateur avec le Mode 1. Ces jours s'échelonnent du 1er mars 2017 au 16 février 2018 afin d'avoir des irradiations variées et des positions variées de la trajectoire du soleil par rapport au plan vertical passant par l'axe Est-Ouest.

3.1. Dépendance de la chaleur utile vis-à-vis de la température moyenne des bassins

La chaleur utile et la température moyenne des bassins sont deux grandeurs internes au distillateur qui sont physiquement liées. En effet, la chaleur utile est l'énergie qui chauffe les bassins d'eau. Étudions donc la dépendance statistique de ces deux grandeurs internes au distillateur.

Le test de Spearman pour la paire d'échantillons de mesures de la chaleur utile et de la température moyenne des bassins de taille 11 donne un coefficient ρ_s égal à $0,8455 \geq 0,7$ et une p -value égale à $0,0021 \leq 0,01$. Ce test permet de conclure que la corrélation entre la chaleur utile et la température moyenne des bassins est forte et hautement significative. Le coefficient de détermination est $R^2 = 0,9333$, proche de 1. Ainsi, 93,33% de la variation de la chaleur utile est expliquée de manière linéaire par la température moyenne des bassins. Ceci conduit à étudier la corrélation linéaire entre ces deux paramètres.

Le [tableau 7](#) a permis de construire la [figure 15](#) qui présente le nuage de points de ces deux paramètres. La [figure 15](#) montre que la disposition du nuage permet un ajustement linéaire avec la droite de régression d'équation :

$$y = 0,1761x - 6,5929 \quad (17)$$

Cette corrélation linéaire est forte, car le coefficient de corrélation $r = 0,9661$ est proche de 1. Ainsi, la chaleur utile dépend de la température moyenne des bassins. Lorsque cette température augmente, la chaleur utile augmente. D'après les hypothèses de généralisation des conclusions sur les paramètres retenues (section 2.5.9 Contrôle des variables), il ressort que cette conclusion dans le Mode 1 est la même dans les modes 2 et 3. Donc, étudier l'influence de la température moyenne des bassins sur la productivité du distillateur dans tous les modes revient à étudier l'influence de la chaleur utile sur cette productivité.

3.2. Dépendance de la productivité vis-à-vis de la chaleur utile

La productivité est physiquement liée à la chaleur utile, car cette dernière est l'énergie principalement utilisée pour chauffer les eaux des bassins. Elle permet l'évaporation des eaux, dont la vapeur produite se condense pour donner les distillats, donc la productivité du distillateur. Analysons la dépendance statistique de ces deux grandeurs.

Le test de Spearman pour la paire d'échantillons de mesures de la productivité et de la chaleur utile de taille 11 donne un coefficient ρ_s égal à 1 et une p -value égale à $0 \leq 0,001$. Ce test permet de conclure que la corrélation entre la productivité et la chaleur utile est parfaite et très hautement significative. Le coefficient de détermination est $R^2 = 0,9741$, proche de 1. 97,41% de la variation de la productivité est expliquée de manière linéaire par la chaleur utile. Ceci conduit à étudier la corrélation linéaire entre ces deux paramètres.

Le [tableau 7](#) a permis de construire la [figure 16](#) qui présente le nuage de points de ces deux grandeurs. La [figure 16](#) montre que la disposition de ce nuage de points permet un ajustement linéaire avec la droite de régression d'équation :

$$y = 1,5892x - 0,8877 \quad (18)$$

Cette corrélation linéaire est forte, car le coefficient de corrélation $r = 0,9870$ est proche de 1. Ainsi, la productivité dépend de la chaleur utile. Lorsque la chaleur utile augmente, la productivité augmente. D'après les hypothèses de généralisation (section 2.5.9 Contrôle des variables), il ressort que cette conclusion dans le Mode 1 est la même dans les modes 2 et 3. Par ailleurs, avec la relation (19), on trouve que l'erreur ΔP_r sur la productivité et sa moyenne $\overline{\Delta P_r}$ sont telles que :

$$\overline{\Delta P_r} = 0,0753 \text{ kg m}^{-2} \quad (19)$$

$$0,0020 \text{ kg m}^{-2} \leq \Delta P_r \leq 0,0753 \text{ kg m}^{-2}$$

Ainsi, la chaleur utile est retenue pour tous les modes comme une grandeur interne (avec la température moyenne des bassins d'eau) qui permet d'étudier les variations de la productivité du distillateur.

3.3. Dépendance de la chaleur utile vis-à-vis de l'irradiation journalière et de l'angle moyen absolu

Le test de Spearman pour la paire d'échantillons de mesures de la chaleur utile et de l'irradiation journalière de taille 11 donne un coefficient ρ_s égal à $0,9727 \geq 0,7$ et une p -value égale à $0 \leq 0,001$. La corrélation entre la

chaleur utile et l'irradiation journalière est donc forte et très significative.

Le test de Spearman pour la paire d'échantillons de mesures de la chaleur utile et de l'angle moyen absolu de taille 11 donne un coefficient ρ_s égal à $-0,6636 \leq -0,4$ et une p -value égale à $0,0309 \leq 0,05$. La corrélation entre la chaleur utile et l'angle moyen absolu est donc modérée et significative.

Le coefficient de détermination multiple de la chaleur utile en fonction de l'irradiation journalière et de l'angle moyen absolu est $R^2 = 0,9895$, proche de 1. Ainsi, 98,95% de la variation de la chaleur utile est expliquée de manière linéaire par l'irradiation journalière et l'angle moyen absolu. Ceci justifie l'utilisation de formules de corrélation linéaire multiple liant ces trois grandeurs pour estimer la chaleur utile.

Appelons X_1 , X_2 et Y les grandeurs physiques respectives : l'irradiation journalière en kWhm^{-2} , l'angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ en degrés, et la chaleur utile en kWh. D'après le [tableau 7](#), on trouve l'équation linéaire de régression multiple :

$$y = 0,6249x_1 - 0,01533x_2 + 0,2309 \quad (20)$$

D'après l'équation (22), on observe que :

- plus l'irradiation journalière est grande, plus la chaleur utile est grande ;

- plus l'angle moyen absolu est petit (proche de zéro), plus la chaleur utile est grande.

D'après les hypothèses de généralisation (section 2.5.9 Contrôle des variables), il ressort que ces observations faites dans le Mode 1 sont les mêmes dans les modes 2 et 3.

Par ailleurs, avec la relation (21), on trouve que l'erreur ΔQ_u sur la chaleur utile et sa moyenne $\overline{\Delta Q_u}$ sont telles que :

$$\begin{aligned} \overline{\Delta Q_u} &= 0,0332 \text{ kWh} \\ 0,0164 \text{ kWh} &\leq \Delta Q_u \leq 0,0624 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (21)$$

Ainsi, l'irradiation journalière et l'angle moyen absolu sont retenus pour tous les modes comme des paramètres externes qui permettent d'étudier les variations de la productivité du distillateur à travers la chaleur utile.

3.4. Choix du Mode d'utilisation le plus favorable à la productivité

Pour déterminer le Mode d'utilisation le plus favorable à la productivité du distillateur, l'analyse sera effectuée pour chaque Mode sur le profil des températures internes du distillateur et leurs températures moyennes, puis pour chaque Mode sur les chaleurs utiles.

Tableau 7

Irradiation journalière, angle moyen absolu, température moyenne des bassins, chaleur utile, productivité du distillateur et écarts types avec le Mode 1.

| Jour | Irradiation journalière I (kWh m^{-2}) | Angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ ($^\circ$) | Température moyenne des bassins \bar{T}_{W12} ($^\circ\text{C}$) | Chaleur utile Q_u (kWh) | Productivité P_r (kg m^{-2}) |
|--------------|---|---|--|---------------------------|---|
| 01/03/2017 | 3,9208 | 19,7906 | 51,6722 | 2,4234 | 2,9728 |
| 15/03/2017 | 4,9134 | 10,3490 | 56,0572 | 3,1688 | 4,0552 |
| 25/03/2017 | 4,5420 | 2,7534 | 54,0208 | 2,9647 | 3,8955 |
| 26/03/2017 | 5,0390 | 2,5586 | 55,1984 | 3,3060 | 4,4725 |
| 29/03/2017 | 5,3035 | 2,8040 | 57,4130 | 3,5215 | 4,8205 |
| 01/04/2017 | 4,7479 | 4,5603 | 55,6026 | 3,1445 | 3,9215 |
| 05/04/2017 | 4,8251 | 7,4826 | 56,0597 | 3,1625 | 4,0072 |
| 08/04/2017 | 4,4324 | 9,4444 | 52,7883 | 2,8294 | 3,6545 |
| 11/04/2017 | 4,9743 | 11,0925 | 55,1228 | 3,1861 | 4,2125 |
| 12/04/2017 | 3,8678 | 11,6768 | 51,8906 | 2,4972 | 3,0789 |
| 16/02/2018 | 4,2384 | 25,8356 | 51,4105 | 2,4240 | 2,9972 |
| Écarts types | 0,4425 | 7,0479 | 1,9651 | 0,3581 | 0,5767 |

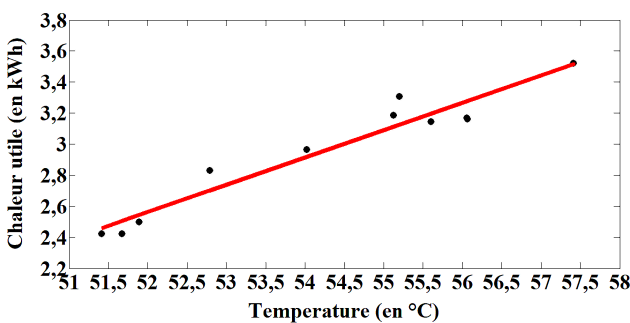


Fig. 15. Corrélation linéaire entre la chaleur utile et la température moyenne des bassins.

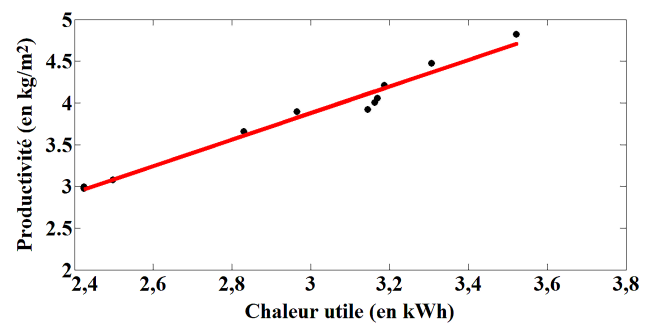


Fig. 16. Corrélation linéaire entre la productivité et la chaleur utile.

3.4.1. Analyse par Mode d'utilisation avec les températures

• Températures des bacs, des bassins d'eau, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central dans le Mode 1

Les journées du 12 avril 2017 et du 16 février 2018 sont choisies pour étudier le profil des températures des bassins, des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central dans le Mode 1. En effet, le 12 avril 2017, la trajectoire du soleil dans le ciel se situait du côté Nord du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest, et le 16 février 2018, cette trajectoire se situait du côté Sud de ce plan. Le 12 avril 2017, l'irradiation journalière est égale à $3,8678 \text{ kWh m}^{-2}$ et l'angle moyen absolu est égal à $11,6768^\circ$, tandis que le 16 février 2018, l'irradiation vaut $4,2384 \text{ kWh m}^{-2}$ et l'angle moyen absolu $25,8356^\circ$.

La figure 17(a) présente l'évolution de la température du bac 1, T_{b1} , du bac 2, T_{b2} , du côté Nord, T_{a1} (proche du bac 1) et du côté Sud, T_{a2} (proche du bac 2) de l'absorbeur central, le 12 avril 2017 (Figure 17(a)). La figure 17(b) présente l'évolution de la température de l'eau dans le bac 1, T_{W1} et de l'eau dans le bac 2, T_{W2} ce même jour.

Sur les figures 17(a) et 17(b), on observe que le 12 avril 2017, la température moyenne du côté Nord de l'absorbeur central est $\bar{T}_{a1} = 79,4223^\circ\text{C}$, celle du côté Sud est $\bar{T}_{a2} = 82,4243^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{a12} = 80,9233^\circ\text{C}$. La température moyenne du bac 1 est $\bar{T}_{b1} = 53,0834^\circ\text{C}$, celle du bac 2 est $\bar{T}_{b2} = 51,3174^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{b12} = 52,2004^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau du bac 1 est $\bar{T}_{W1} = 52,6836^\circ\text{C}$, celle de l'eau du bac 2 est $\bar{T}_{W2} = 51,0976^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{W12} = 51,8906^\circ\text{C}$.

Par ailleurs, on remarque que le couple de températures sur l'absorbeur central ($T_{a1}; T_{a2}$) n'est pas ordonné de la même manière que le couple de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$), car la température du côté Sud de l'absorbeur central est supérieure à celle du côté Nord, tandis que la température de l'eau du bac 2 (situé au Sud) est inférieure à celle de l'eau du bac 1 (situé au Nord). En revanche, le couple de températures des bacs ($T_{b1}; T_{b2}$) est ordonné de la même manière que le couple de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$), car la température du bac 2 est inférieure à celle du bac 1. Il est possible d'affirmer que, le 12 avril 2017, la chaleur due à l'absorption du rayonnement solaire dans les compartiments 1 et 2 impose l'ordre de comparaison des températures des bassins par rapport à la chaleur transmise par conduction de l'absorbeur central vers les bacs (Figure 4).

La figure 18(a) présente l'évolution de la température du bac 1, T_{b1} , du bac 2, T_{b2} , du côté Nord, T_{a1} et du côté Sud, T_{a2} de l'absorbeur central, le 16 février 2018. La figure 18(b) présente l'évolution de la température de l'eau dans le bac 1, T_{W1} et de l'eau dans le bac 2, T_{W2} ce même jour.

Sur les figures 18(a) et 18(b), on observe que le 16 février 2018, la température moyenne du côté Nord

de l'absorbeur central est $\bar{T}_{a1} = 79,2927^\circ\text{C}$, celle du côté Sud est $\bar{T}_{a2} = 72,0769^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{a12} = 75,6848^\circ\text{C}$. La température moyenne du bac 1 est $\bar{T}_{b1} = 48,6716^\circ\text{C}$, celle du bac 2 est $\bar{T}_{b2} = 54,8711^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{b12} = 51,7714^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau du bac 1 est $\bar{T}_{W1} = 48,2101^\circ\text{C}$, celle de l'eau du bac 2 est $\bar{T}_{W2} = 54,6110^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{W12} = 51,4105^\circ\text{C}$.

On remarque à nouveau que le couple de températures sur l'absorbeur central ($T_{a1}; T_{a2}$) n'est pas ordonné de la même manière que le couple de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$), car la température du côté Nord de l'absorbeur central est supérieure à celle du côté Sud, tandis que la température de l'eau du bac 1 (situé au Nord) est inférieure à celle de l'eau du bac 2 (situé au Sud). En revanche, le couple de températures des bacs ($T_{b1}; T_{b2}$) est ordonné de la même manière que le couple de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$), car la température du bac 1 est inférieure à celle du bac 2. Il est possible d'affirmer que, le 16 février 2018, la chaleur due à l'absorption du rayonnement solaire dans les compartiments 1 et 2 impose encore l'ordre de comparaison des températures des bassins par rapport à la chaleur transmise par conduction de l'absorbeur central vers les bacs (Figure 4).

• Températures des bacs, des bassins d'eau, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central dans le Mode 2

Les journées du 23 avril 2017 et du 22 février 2018 sont choisies pour étudier le profil des températures des bassins, des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central dans le Mode 2. Le 23 avril 2017, la trajectoire du soleil dans le ciel se situait du côté Nord du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest, et le 22 février 2018, cette trajectoire se situait du côté Sud de ce plan. Le 23 avril 2017, l'irradiation journalière est égale à $5,0272 \text{ kWh m}^{-2}$ et l'angle moyen absolu est égal à $16,2271^\circ$, tandis que le 22 février 2018, l'irradiation vaut $5,5434 \text{ kWh m}^{-2}$ et l'angle moyen absolu $22,3359^\circ$.

La figure 19(a) présente l'évolution de la température du bac 1, T_{b1} , du bac 2, T_{b2} , du côté Nord, T_{a1} et du côté Sud, T_{a2} de l'absorbeur central, le 23 avril 2017. La figure 19(b) présente l'évolution de la température de l'eau dans le bac 1, T_{W1} et de l'eau dans le bac 2, T_{W2} ce même jour.

Sur les figures 19(a) et 19(b), on observe que le 23 avril 2017, la température moyenne du côté Nord de l'absorbeur central est $\bar{T}_{a1} = 88,5437^\circ\text{C}$, celle du côté Sud est $\bar{T}_{a2} = 91,0207^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{a12} = 89,7822^\circ\text{C}$. La température moyenne du bac 1 est $\bar{T}_{b1} = 43,2894^\circ\text{C}$, celle du bac 2 est $\bar{T}_{b2} = 44,7493^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{b12} = 44,0194^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau du bac 1 est $\bar{T}_{W1} = 43,2593^\circ\text{C}$, celle de l'eau du bac 2 est $\bar{T}_{W2} = 44,7719^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{W12} = 44,0156^\circ\text{C}$.

On remarque que le couple de températures sur l'absorbeur central ($T_{a1}; T_{a2}$) est ordonné de la même manière que les couples de températures des bassins

d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$) et des bacs ($T_{b1}; T_{b2}$), car la température du côté Sud de l'absorbeur central est supérieure à celle du côté Nord. De même, les températures du bac 2 et de l'eau qu'il contient sont respectivement supérieures à celles du bac 1 et de son eau. Il est possible d'affirmer que, le 23 avril 2017, la chaleur transmise par conduction de l'absorbeur central vers les bacs (Figure 4) impose l'ordre de comparaison des températures des bassins.

En effet, dans le Mode 2, la chaleur utilisée pour la distillation provient du compartiment central, car seul ce compartiment reçoit le rayonnement solaire.

La figure 20(a) présente l'évolution de la température du bac 1, T_{b1} , du bac 2, T_{b2} , du côté Nord, T_{a1} et du côté Sud, T_{a2} de l'absorbeur central, le 22 février 2018. La figure 20(b) présente l'évolution de la température de l'eau dans le bac 1, T_{W1} et de l'eau dans le bac 2, T_{W2} ce même jour.

Sur les figures 20(a) et 20(b), on observe que le 22 février 2018, la température moyenne du côté Nord de l'absorbeur central est $\bar{T}_{a1} = 92,6670^\circ\text{C}$, celle du côté Sud est $\bar{T}_{a2} = 80,9182^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{a12} = 86,7926^\circ\text{C}$. La température moyenne du bac 1 est $\bar{T}_{b1} = 44,7454^\circ\text{C}$, celle du bac 2 est $\bar{T}_{b2} = 40,9371^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{b12} = 42,8413^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau du bac 1 est $\bar{T}_{W1} = 44,8059^\circ\text{C}$, celle de l'eau du bac 2 est $\bar{T}_{W2} = 40,9604^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{W12} = 42,8832^\circ\text{C}$.

On remarque à nouveau que le couple de températures sur l'absorbeur central ($T_{a1}; T_{a2}$) est ordonné de la même manière que les couples de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$) et des bacs ($T_{b1}; T_{b2}$), car la température du côté Nord de l'absorbeur central est supérieure à celle du côté Sud. De même, les températures du bac 1 et de l'eau qu'il contient sont respectivement supérieures à celles du bac 2 et de son eau. On peut également dire que, le 22 février 2018, la chaleur transmise par conduction de l'absorbeur central vers les bacs (Figure 4) impose l'ordre de comparaison des températures des bassins. En effet, dans le Mode 2, seul le compartiment central reçoit le rayonnement solaire.

• Températures des bacs, des bassins d'eau, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central dans le Mode 3

Les journées du 3 mars 2018 et du 28 avril 2018 sont choisies pour étudier le profil des températures des bassins, des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central dans le Mode 3. Le 3 mars 2018, la trajectoire du soleil dans le ciel se situait du côté Sud du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest, et le 28 avril 2018, cette trajectoire se situait du côté Nord de ce plan. Le 3 mars 2018, l'irradiation journalière est égale à $5,4499 \text{ kWh m}^{-2}$ et l'angle moyen absolu est égal à $16,9980^\circ$, tandis que le 28 avril 2018, l'irradiation vaut $4,1680 \text{ kWh m}^{-2}$ et l'angle moyen absolu $18,0385^\circ$.

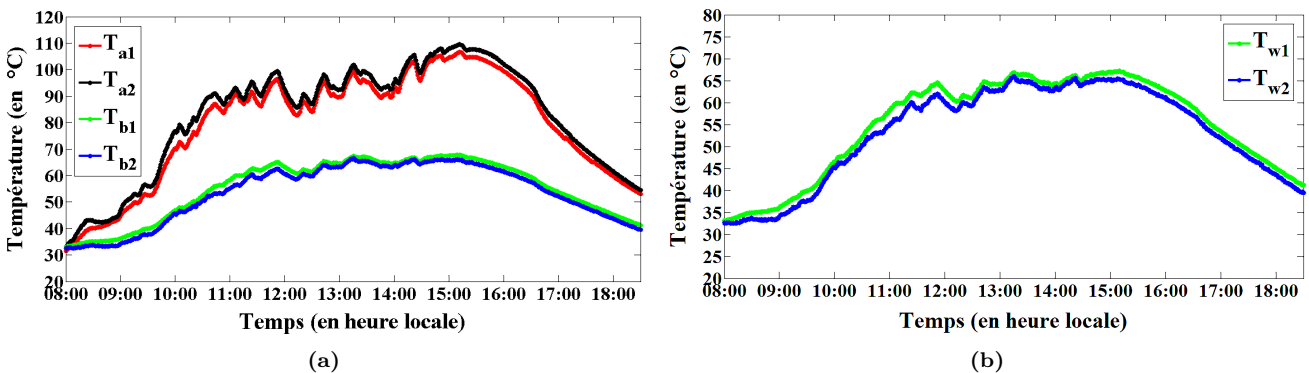


Fig. 17. (a) Températures des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central le 12 avril 2017 ; (b) Températures des bassins d'eau le 12 avril 2017.

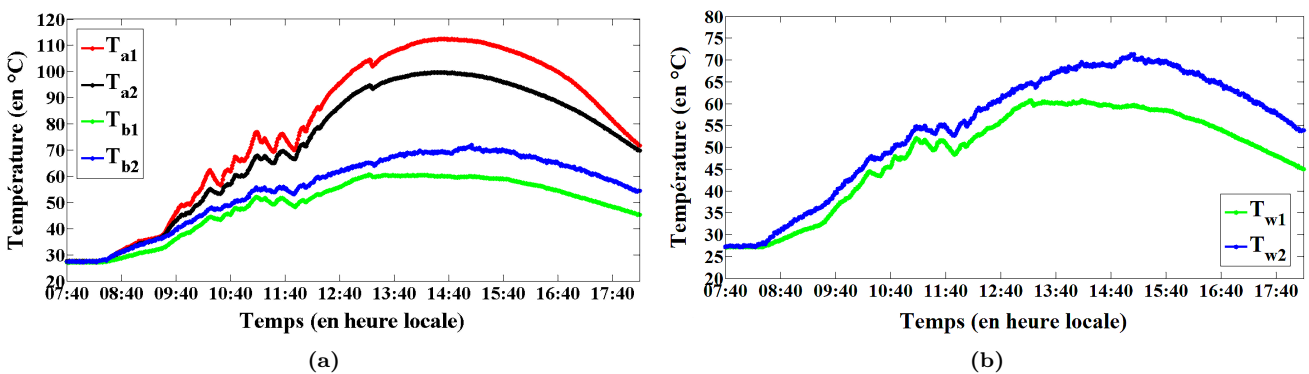


Fig. 18. (a) Températures des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central le 16 février 2018 ; (b) Températures des bassins d'eau le 16 février 2018.

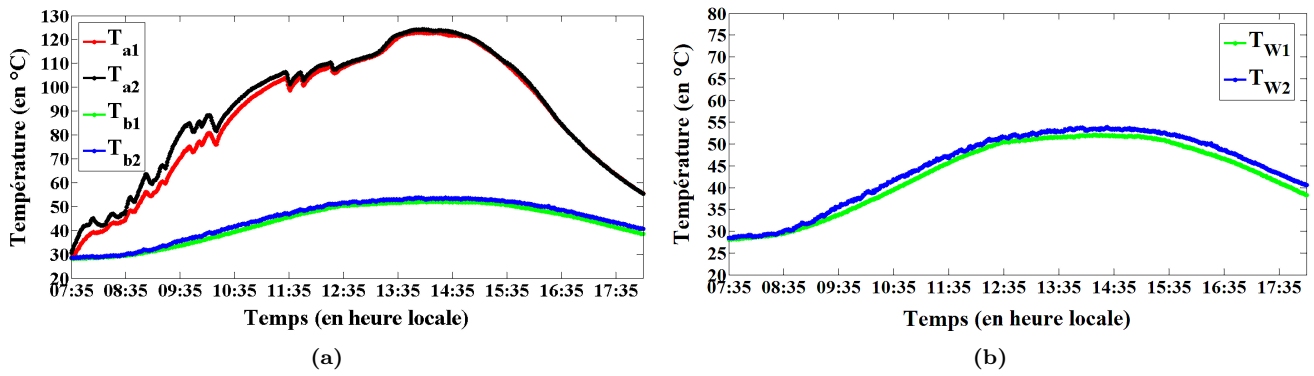


Fig. 19. (a) Températures des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central le 23 avril 2017; (b) Températures des bassins d'eau le 23 avril 2017.

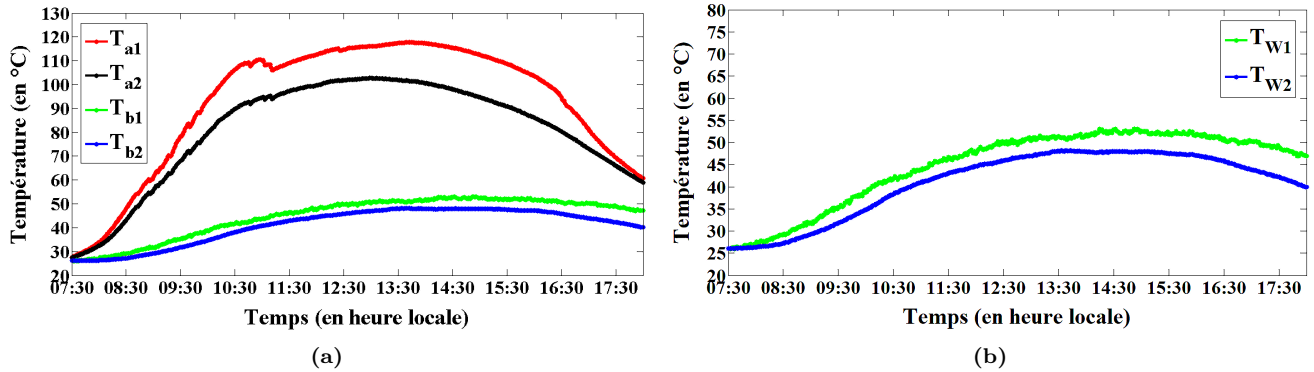


Fig. 20. (a) Températures des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central le 22 février 2018; (b) Températures des bassins d'eau le 22 février 2018.

La figure 21(a) présente l'évolution de la température du bac 1, T_{b1} , du bac 2, T_{b2} , du côté Nord, T_{a1} et du côté Sud, T_{a2} de l'absorbeur central, le 3 mars 2018. La figure 21(b) présente l'évolution de la température de l'eau dans le bac 1, T_{W1} et de l'eau dans le bac 2, T_{W2} ce même jour.

Sur les figures 21(a) et 21(b), on observe que le 3 mars 2018, la température moyenne du côté Nord de l'absorbeur central est $\bar{T}_{a1} = 41,9182^\circ\text{C}$, celle du côté Sud est $\bar{T}_{a2} = 42,6187^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{a12} = 42,2685^\circ\text{C}$. La température moyenne du bac 1 est $\bar{T}_{b1} = 45,3163^\circ\text{C}$, celle du bac 2 est $\bar{T}_{b2} = 54,3017^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{b12} = 49,8090^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau du bac 1 est $\bar{T}_{W1} = 45,1610^\circ\text{C}$, celle de l'eau du bac 2 est $\bar{T}_{W2} = 54,0237^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{W12} = 49,5924^\circ\text{C}$.

On remarque que le couple de températures des bacs ($T_{b1}; T_{b2}$) est ordonné de la même manière que les couples de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$) et celui des températures sur l'absorbeur central ($T_{a1}; T_{a2}$), car la température du bac 2 est supérieure à celle du bac 1. De même, les températures du côté Sud de l'absorbeur central et de l'eau du bac 2 sont respectivement supérieures à celles du côté Nord de l'absorbeur et de l'eau du bac 1. Il est possible d'affirmer que, le 3 mars 2018, la chaleur due à l'absorption du rayonnement solaire dans les compartiments 1 et 2 impose l'ordre de comparaison des températures des bassins (Figure 4). En effet, dans le Mode 3, la chaleur utilisée pour la distillation provient des compartiments 1 et 2, car ce sont les seuls compartiments qui reçoivent

le rayonnement solaire.

La figure 22(a) présente l'évolution de la température du bac 1, T_{b1} , du bac 2, T_{b2} , du côté Nord, T_{a1} et du côté Sud, T_{a2} de l'absorbeur central, le 28 avril 2018. La figure 22(b) présente l'évolution de la température de l'eau dans le bac 1, T_{W1} et de l'eau dans le bac 2, T_{W2} ce même jour.

Sur les figures 22(a) et 22(b), on observe que le 28 avril 2018, la température moyenne du côté Nord de l'absorbeur central est $\bar{T}_{a1} = 40,1185^\circ\text{C}$, celle du côté Sud est $\bar{T}_{a2} = 39,8647^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{a12} = 39,9916^\circ\text{C}$. La température moyenne du bac 1 est $\bar{T}_{b1} = 52,7602^\circ\text{C}$, celle du bac 2 est $\bar{T}_{b2} = 45,5040^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{b12} = 49,1321^\circ\text{C}$. La température moyenne de l'eau du bac 1 est $\bar{T}_{W1} = 52,4630^\circ\text{C}$, celle de l'eau du bac 2 est $\bar{T}_{W2} = 45,2942^\circ\text{C}$, et la moyenne de ces températures est $\bar{T}_{W12} = 48,8786^\circ\text{C}$.

On remarque à nouveau que le couple de températures des bacs ($T_{b1}; T_{b2}$) est ordonné de la même manière que les couples de températures des bassins d'eau ($T_{W1}; T_{W2}$) et celui des températures sur l'absorbeur central ($T_{a1}; T_{a2}$), car la température du bac 1 est supérieure à celle du bac 2. De même, les températures du côté Nord de l'absorbeur central et de l'eau du bac 1 sont respectivement supérieures à celles du côté Sud de l'absorbeur et de l'eau du bac 2. On peut également dire que, le 28 avril 2018, la chaleur due à l'absorption du rayonnement solaire dans les compartiments 1 et 2 impose l'ordre de comparaison des températures des bassins (Figure 4). En effet, dans le Mode 3, la chaleur utilisée pour la distillation provient des compartiments

1 et 2, car ce sont les seuls compartiments qui reçoivent le rayonnement solaire.

• Comparaison par Mode d'utilisation des températures moyennes

Le [tableau 8](#) présente pour chaque Mode d'utilisation les jours de mesures avec leurs irradiances journalières, leurs angles moyens absolus, leurs températures moyennes des bassins d'eau, leurs productivités et les écarts types des grandeurs.

Le test de Spearman pour la paire d'échantillons de mesures de la productivité et de la température moyenne des bassins d'eau pour l'ensemble des trois modes de taille 15 donne un coefficient ρ_s égal à $0,9393 \geq 0,7$ et une p -value égale à $0 \leq 0,001$. Ce test permet de conclure que la corrélation entre la productivité et la température moyenne des bassins d'eau est forte et très hautement significative. Par ailleurs, pour l'ensemble des trois modes, la productivité augmente avec la température moyenne des bassins d'eau.

D'après le [tableau 8](#), on fait plusieurs observations.

- Comparaisons du Mode 1 et du Mode 3. Toutes les températures moyennes des bassins et des bacs, de même que les productivités du Mode 1, sont supérieures à celles du Mode 3. Ceci malgré le fait que l'irradiation journalière du 3 mars 2018 dans le Mode 3 est plus grande que celle du 16 février 2018 dans le Mode 1, et que l'angle moyen absolu du 3 mars 2018 est plus petit que celui du 16 février 2018. Ces conditions devraient être favorables à la température moyenne des

eaux de la journée du Mode 3, car pour chaque Mode, plus l'irradiation journalière est grande et plus l'angle moyen absolu est proche de zéro, plus la température moyenne des bassins est grande (sections 3.1 et 3.3). Cependant, le 3 mars 2018 dans le Mode 3, la température moyenne des bassins est plus petite que celle du 16 février 2018 dans le Mode 1.

Ainsi, les températures moyennes des bassins d'eau avec le Mode 1 sont plus grandes que celles avec le Mode 3.

- Comparaisons du Mode 2 et du Mode 3. Toutes les températures moyennes des bassins et des bacs, de même que les productivités du Mode 3, sont supérieures à celles du Mode 2. Ceci malgré le fait que l'irradiation journalière du 23 avril 2017 dans le Mode 2 est plus grande que celle du 28 avril 2018 dans le Mode 3, et que l'angle moyen absolu du 23 avril 2017 est plus petit que celui du 28 avril 2018. Ces conditions devraient être favorables à la température moyenne des eaux de la journée du Mode 2, pour la même raison que la comparaison Mode 1 et Mode 3. Cependant, le 23 avril 2017 dans le Mode 2, la température moyenne des bassins est plus petite que celle du 28 avril 2018 dans le Mode 3. Ainsi, les températures moyennes des bassins d'eau avec le Mode 3 sont plus grandes que celles avec le Mode 2.

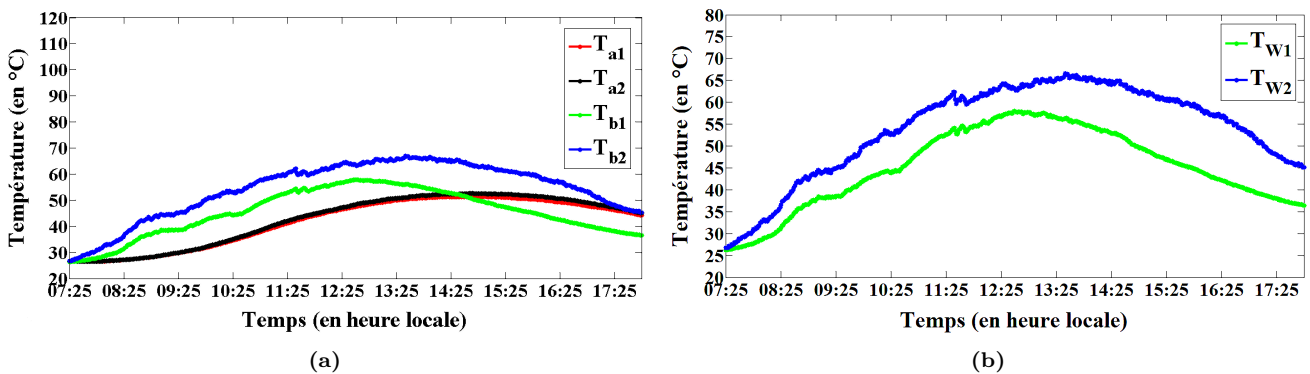


Fig. 21. (a) Températures des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central le 3 mars 2018; (b) Températures des bassins d'eau le 3 mars 2018.

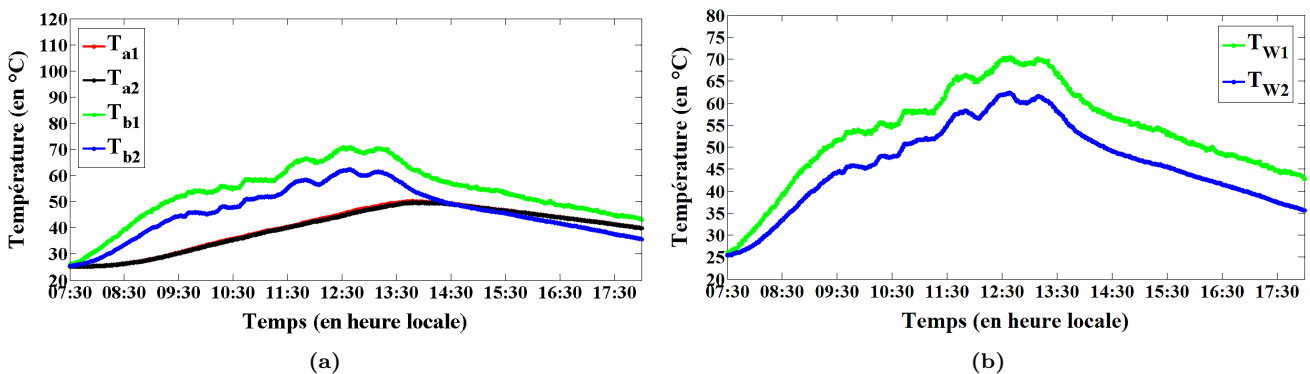


Fig. 22. (a) Températures des bacs, des côtés Nord et Sud de l'absorbeur central le 28 avril 2018; (b) Températures des bassins d'eau le 28 avril 2018.

Puisque pour tous les modes la productivité augmente avec la température moyenne des bassins d'eau, on peut conclure que le Mode 1 est le plus favorable à la productivité du distillateur, suivi du Mode 3. Cette classification (Mode 1, Mode 3 puis Mode 2) par rapport à une meilleure productivité du distillateur s'explique par le fait que dans le Mode 1, les compartiments 1, 2 et le compartiment central contribuent simultanément au chauffage de l'eau dans les bassins. Dans le Mode 3, ce sont les compartiments 1 et 2 qui produisent le chauffage des eaux par absorption du rayonnement solaire, tandis que dans le Mode 2, c'est le compartiment central seulement qui chauffe les eaux par conduction

de l'absorbeur central vers les bacs. Or la section 3.4.1.1 montre que dans les compartiments 1 et 2, le chauffage des eaux dû à l'absorption du rayonnement solaire domine sur le chauffage par conduction de l'absorbeur central vers les bacs. Ce qui explique pourquoi le Mode 3 vient après le Mode 1 pour une meilleure productivité du distillateur.

3.4.2. Analyse pour chaque Mode avec la chaleur utile

Le **tableau 9** présente pour chaque Mode d'utilisation les jours de mesures avec leurs irradiances journalières, leurs angles moyens absolus, leurs chaleurs utiles, leurs productivités et les écarts types de ces grandeurs.

Tableau 8

Irradiances journalières, angles moyens absolus, températures moyennes des bassins d'eau, productivités par Mode d'utilisation et écarts types.

| Mode | Jour | Irradiation journalière I (kWh m ⁻²) | Angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ (°) | Température moyenne des bassins \bar{T}_{W12} (°C) | Productivité P_r (kg m ⁻²) |
|--------------|------------|---|---|--|---|
| Mode 1 | 01/03/2017 | 3,9208 | 19,7906 | 51,6722 | 2,9728 |
| | 15/03/2017 | 4,9134 | 10,3490 | 56,0572 | 4,0552 |
| | 25/03/2017 | 4,5420 | 2,7534 | 54,0208 | 3,8955 |
| | 26/03/2017 | 5,0390 | 2,5586 | 55,1984 | 4,4725 |
| | 29/03/2017 | 5,3035 | 2,8040 | 57,4130 | 4,8205 |
| | 01/04/2017 | 4,7479 | 4,5603 | 55,6026 | 3,9215 |
| | 05/04/2017 | 4,8251 | 7,4826 | 56,0597 | 4,0072 |
| | 08/04/2017 | 4,4324 | 9,4444 | 52,7883 | 3,6545 |
| | 11/04/2017 | 4,9743 | 11,0925 | 55,1228 | 4,2125 |
| | 12/04/2017 | 3,8678 | 11,6768 | 51,8906 | 3,0789 |
| Mode 2 | 16/02/2018 | 4,2384 | 25,8356 | 51,4105 | 2,9972 |
| | 23/04/2017 | 5,0272 | 16,2271 | 44,0156 | 0,9007 |
| Mode 3 | 22/02/2018 | 5,5434 | 22,3359 | 42,8832 | 0,8743 |
| | 03/03/2018 | 5,4499 | 16,9980 | 49,5924 | 2,5090 |
| Écarts types | 28/04/2018 | 4,1680 | 18,0385 | 48,8786 | 1,4599 |
| | | 0,5082 | 7,2257 | 4,1819 | 1,2158 |

Tableau 9

Irradiation journalière, angle moyen absolu, chaleur utile, productivité par Mode d'utilisation et écarts types.

| Mode | Jour | Irradiation journalière I (kWh m ⁻²) | Angle moyen absolu $\bar{\alpha}_{ax}$ (°) | Chaleur utile Q_u (kWh) | Productivité P_r (kg m ⁻²) |
|--------------|------------|---|---|------------------------------|---|
| Mode 1 | 01/03/2017 | 3,9208 | 19,7906 | 2,4234 | 2,9728 |
| | 15/03/2017 | 4,9134 | 10,3490 | 3,1688 | 4,0552 |
| | 25/03/2017 | 4,5420 | 2,7534 | 2,9647 | 3,8955 |
| | 26/03/2017 | 5,0390 | 2,5586 | 3,3060 | 4,4725 |
| | 29/03/2017 | 5,3035 | 2,8040 | 3,5215 | 4,8205 |
| | 01/04/2017 | 4,7479 | 4,5603 | 3,1445 | 3,9215 |
| | 05/04/2017 | 4,8251 | 7,4826 | 3,1625 | 4,0072 |
| | 08/04/2017 | 4,4324 | 9,4444 | 2,8294 | 3,6545 |
| | 11/04/2017 | 4,9743 | 11,0925 | 3,1861 | 4,2125 |
| | 12/04/2017 | 3,8678 | 11,6768 | 2,4972 | 3,0789 |
| Mode 2 | 16/02/2018 | 4,2384 | 25,8356 | 2,4240 | 2,9972 |
| | 23/04/2017 | 5,0272 | 16,2271 | 1,3092 | 0,9007 |
| Mode 3 | 22/02/2018 | 5,5434 | 22,3359 | 1,2521 | 0,8743 |
| | 03/03/2018 | 5,4499 | 16,9980 | 1,9954 | 2,5090 |
| Écarts types | 28/04/2018 | 4,1680 | 18,0385 | 1,5174 | 1,4599 |
| | | 0,5082 | 7,2257 | 0,7257 | 1,2158 |

Le test de Spearman pour la paire d'échantillons de mesures de la productivité et de la chaleur utile pour l'ensemble des trois modes de taille 15 donne un coefficient ρ_s égal à 1 et une p -value égale à $0 \leq 0,001$. Ce test permet de conclure que la corrélation entre la productivité et la chaleur utile est parfaite et très hautement significative. Par ailleurs, pour l'ensemble des trois modes, la productivité augmente avec la chaleur utile.

D'après le [tableau 9](#), on fait plusieurs observations.

- Comparaisons du Mode 1 et du Mode 3. Toutes les chaleurs utiles et les productivités du Mode 1 sont supérieures à celles du Mode 3. Ceci malgré le fait que l'irradiation journalière du 3 mars 2018 dans le Mode 3 est plus grande que celles du 1er mars 2017 et du 16 février 2018 dans le Mode 1, et que l'angle moyen absolu du 3 mars 2018 est plus petit que ceux du 1er mars 2017 et du 16 février 2018. Ces conditions devraient être favorables à la chaleur utile de la journée du Mode 3, car pour chaque Mode, plus l'irradiation journalière est grande et plus l'angle moyen absolu est proche de zéro, plus la chaleur utile est grande (section 3.3). Cependant, le 3 mars 2018 dans le Mode 3, la chaleur utile est plus petite que celles du 1er mars 2017 et du 16 février 2018 dans le Mode 1. Ainsi, les chaleurs utiles avec le Mode 1 sont plus grandes que celles avec le Mode 3.
- Comparaisons du Mode 2 et du Mode 3. Toutes les chaleurs utiles et les productivités du Mode 3 sont supérieures à celles du Mode 2. Ceci malgré le fait que l'irradiation journalière du 23 avril 2017 dans le Mode 2 est plus grande que celle du 28 avril 2018 dans le Mode 3, et que l'angle moyen absolu du 23 avril 2017 est plus petit que celui du 28 avril 2018. Ces conditions devraient être favorables à la chaleur utile de la journée du Mode 2, pour la même raison que la comparaison Mode 1 et Mode 3. Cependant, le 23 avril 2017 dans le Mode 2, la chaleur utile est plus petite que celle du 28 avril 2018 dans le Mode 3. Ainsi, les chaleurs utiles avec le Mode 3 sont plus grandes que celles avec le Mode 2.

Puisque pour tous les modes la productivité augmente avec la chaleur utile, on peut conclure que le Mode 1 est le plus favorable à la productivité du distillateur, suivi du Mode 3. Cette classification (Mode 1, Mode 3 puis Mode 2) par rapport à une meilleure productivité du distillateur, obtenue avec l'analyse de la chaleur utile par Mode d'utilisation, est en accord avec la même classification obtenue par l'analyse des profils de températures et des températures moyennes des bassins d'eau par Mode d'utilisation.

3.5. Productivité de certains modèles de distillateurs solaires

Le [tableau 10](#) présente les productivités journalières en L m^{-2} ou en kg m^{-2} de quelques distillateurs solaires. On admet que 1 kg d'eau dans les conditions des expérimentations occupe un volume de 1 L. Bien que la productivité journalière d'un distillateur solaire dépende de plusieurs paramètres liés au lieu, aux conditions atmosphériques, aux conditions expérimentales et au distillateur lui-même, on observe que la productivité du distillateur solaire à cinq compartiments est dans certains cas supérieure à celles des distillateurs cités.

4. Conclusion

Au vu des résultats obtenus, on peut affirmer que le Mode d'utilisation du distillateur le plus favorable à une amélioration de la productivité est le Mode 1, suivi du Mode 3. Il convient de noter qu'avec chaque Mode d'utilisation, la productivité est meilleure lorsque l'irradiation journalière est élevée et que la trajectoire du soleil est proche du plan vertical passant par l'axe Est-Ouest (l'angle moyen absolu est proche de zéro).

En ce qui concerne la position de la trajectoire du soleil, il ressort que pour les lieux proches de l'équateur (comme la ville d'Abidjan en Côte d'Ivoire), la productivité est meilleure lorsque la journée des mesures est proche du 21 mars ou du 21 septembre. Concernant l'irradiation journalière, la productivité est meilleure lorsque l'irradiation sur la journée des mesures est élevée. Ainsi, pour la ville d'Abidjan, la productivité du distillateur serait meilleure avec chaque Mode d'utilisation lorsque la journée des mesures est proche du 21 mars.

Tableau 10

Productivités journalières de différents distillateurs solaires.

| Modifications apportées au distillateur solaire | Productivité journalière |
|---|------------------------------------|
| Distillateur solaire conventionnel, sans modifications particulières [22] | 1,448 L m^{-2} |
| Absorbeur en laine d'acier à tampons [23] | 1,340 L m^{-2} |
| Recouvrement de mèches variable plus condenseur externe [24] | De 1,340 à 5,555 L m^{-2} |
| Cheminée solaire [25] | 5,300 L m^{-2} |
| Système de séparation de la masse d'eau à l'aide d'un tapis noir perforé en caoutchouc [26] | 2,820 kg m^{-2} |
| Condenseur externe plus nanofluides [17] | De 1,341 à 4,186 L m^{-2} |
| Distillateur solaire étudié | 4,821 L m^{-2} |

Par ailleurs, le Mode 2 pourrait être utilisé pour distiller des composés photosensibles, car les bacs 1 et 2 qui contiennent la solution à distiller ne reçoivent pas le rayonnement solaire. De plus, dans ce Mode, les vitres des compartiments 1, 2, 3 et 4, qui sont couvertes, peuvent être librement refroidies afin de favoriser la condensation des vapeurs.

En perspectives, des études seront menées pour analyser l'influence des positions du soleil par rapport aux axes Est-Ouest et Nord-Sud sur les températures des eaux des bacs et des fentes, ainsi que sur la production d'eau de chaque compartiment.

Les tailles des échantillons de mesures ($n = 11$ et $n = 11$) sont faibles dans l'analyse statistique; il serait avantageux de mener une investigation plus poussée avec une plus grande taille d'échantillon sur des périodes variées et en différents endroits. Enfin, la nature métallique du bloc *bac 1 + absorbeur central + bac 2* pourrait être étudiée afin d'évaluer son influence sur la productivité du distillateur selon chacun des modes.

Références

- [1] D. Bechki, Comparative study and optimization of solar distillation processes for the production of drinking water in arid Saharan zones, PhD thesis, Univ. Hadj Lakhdar Batna, Batna, Algeria (2011).
- [2] N. Retiel, F. Abdessemed, M. Bettahar, *Étude expérimentale d'un Distillateur solaire plan amélioré*, Rev. Energ. Renouvelables 11(4) (2008) 635–642.
- [3] Z. Rida, *Étude d'un distillateur solaire a effet de serre*, Proc. 2nd Int. Seminar on New and Renewable Energies, Algiers, Algeria (2012).
- [4] H. Boutebila, *Étude et conception d'un distillateur solaire a usage agricole*, PhD thesis, Univ. Mentouri Constantine, Constantine, Algeria (2012).
- [5] D.D.D.I. N'drin, S. Touré, A.P.A. Kouassi, *Forecast on the productivity of a multiple effects planar solar distiller*, Open J. Appl. Sci. 15(7) (2025) 2149–2175.
<https://doi.org/10.4236/ojapps.2025.157142>
- [6] Y. Wassie, A. Kiflu, T. Gebfeyohannes, *Experimental investigation of the effect of reflectors on thermal performance of box-type solar cooker*, Heliyon 8(12) (2022) e12324.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12324>
- [7] N. Misra, A. Anand, S. Pandey et al., *Box-type solar cookers : An overview of technological advancement, energy, environmental, and economic benefits*, Energies 16(4) (2023) 1697.
<https://doi.org/10.3390/en16041697>
- [8] A.J.N. Khalifa, A. Hamood, *Effect of insulation thickness on the productivity of basin type solar stills : An experimental verification under local climate*, Energy Convers. Manag. 50(9) (2009) 2457–2461.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.06.007>
- [9] CSTB, ATEC GS05-F/AF1172539_V2 : Caractéristiques thermiques des isolants (PSE, PIR, XPS) (2021).
- [10] CSTB, Avis technique AG041581 : Caractéristiques thermiques et mécaniques des matériaux isolants (2009).
- [11] Ministère de la Transition écologique, CSTB, Valeurs usuelles de conductivité thermique des matériaux de construction (2017).
- [12] A. Chaker, G. Menguy, *Efficacité interne d'un distillateur solaire sphérique*, Proc. Journées Internationales de Thermique, Algiers (2001) 53–58.
- [13] M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Office des Publications Universitaires, Algiers (1987).
- [14] S. Moreno, J.F. Hinojosa, V.M. Maytorena, J.M.A. Navarro, A. Vázquez-Ruiz, *Thermal performance and water production in a solar still with an energy storage material under different concentrations of salt*, J. Sol. Energy Eng. 145(3) (2023) 031011.
<https://doi.org/10.1115/1.4056124>
- [15] H.Q.A. Khafaji, H.A.A. Wahhab, W.A.K. Al-Maliki, F. Alobaid, B. Epple, *Energy and exergy analysis for single slope passive solar still with different water depth located in Baghdad center*, Appl. Sci. 12(17) (2022) 8561.
<https://doi.org/10.3390/app12178561>
- [16] R. Pillai, A.T. Libin, M. Mani, *Study into solar-still performance under sealed and unsealed conditions*, Int. J. Low-Carbon Technol. 10(4) (2015) 354–364.
<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt045>
- [17] M.O. Khalaf, M.R. Ozdemir, H.S. Sultan, *A comprehensive review of solar still technologies and cost : Innovations in materials, design, and techniques for enhanced water desalination efficiency*, Water 17(10) (2025) 1515.
<https://doi.org/10.3390/w17101515>
- [18] O. Younis, A.K. Hussein, M.E.H. Attia, H.S.S. Aljibori, L. Kolsi, H. Togun, B. Ali, A. Abderrahmane, K. Subkrajang, A. Jirawattanapanit, *Comprehensive review on solar stills-latest developments and overview*, Sustainability 14(16) (2022) 10136.
<https://doi.org/10.3390/su141610136>
- [19] M.H. Esfe, D. Toghraie, *Examining the effect of water and glass surface temperature on the rate of generation and heat transfer in triangular double-slope single-basin solar still in Kerman province*, Case Stud. Therm. Eng. 59 (2024) 104450.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104450>
- [20] S. Siegel, N.J. Castellan, Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences, McGraw-Hill, New York (1988).
- [21] M. Hollander, D.A. Wolfe, E. Chicken, Nonparametric Statistical Methods, Wiley, Hoboken (2014).
- [22] E.A. Dahad, H.A. Mohideen, M.A.A. Hussain, S.E. Shcheklein, *Energy and exergy analysis for single slope passive solar still with different water depth located in Baghdad center*, Int. J. Therm. Technol. 6(1) (2016) 1–6.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4883.0487>

- [23] K. Ramzy, M. Abdelgaleel, A.E. Kabeel, H. Mosalam, *Performance of a single slope solar still using different porous absorbing materials : An experimental approach*, Environ. Sci. Pollut. Res. 30(96) (2023) 72398–72414.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-27465-5>
- [24] L.S. Hyal, J.M. Jalil, A.O. Hanfesh, *Numerical and experimental study of a single-slope solar still integrated with wick material and external condenser*, Int. J. Heat Technol. 42(4) (2024) 1359–1374.
<https://doi.org/10.18280/ijht.420426>
- [25] B. Varahan, H.A. Subasini, G. Palani, M. Selvaraju, *Enhancing solar still distillation efficiency through integrated solar chimneys and submerged condenser systems*, Therm. Sci. 28(4A) (2024) 3155–3163.
<https://doi.org/10.2298/TSCI230310122V>
- [26] E.A. Tei, R. Mohideen, S. Noman, M.M. Athikesavan, *Performance improvement of solar still by water mass splitting arrangement*, Sci. Rep. 15(1) (2025) 30965.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-15849-1>