

Revue bibliographique critique sur les techniques d'amélioration des performances des distillateurs solaires

Sory Diarra^{#1}, Paul Byrne^{*}, Ousmane Sow[#], Sidy Mactar Sokhna[#], Souleye Faye[#]

[#] Laboratoire Eau-Energie-Environnement et Procédés Industriels, Université Cheikh Anta DIOP, Ecole Supérieure Polytechnique, Fann, Dakar, Senegal

^{*} LGCGM, Univ Rennes 35000 Rennes

Email 1 – sory.diarra@ucad.edu.sn

Abstract— L'objectif de ce travail est de fournir une revue historique et critique des différentes techniques d'amélioration qui ont été appliquées aux distillateurs solaires conventionnels afin d'améliorer leurs performances. L'analyse porte à la fois sur les études théoriques et expérimentales, afin de les comparer et d'en tirer des conclusions utiles pour le développement du secteur.

Mots clés - Distillateur solaire, Revue bibliographique, Rendement énergétique, productivité, amélioration.

I. INTRODUCTION

Ce travail a pour but de mener une analyse critique sur les différentes études portant sur les distillateurs solaires dans le but d'améliorer leurs performances. L'étude s'intéresse aux modifications technologiques apportées sur les distillateurs solaires à travers ses années d'existences. L'objectif est, en comparant différents travaux, de faire ressortir les conceptions qui ont démontré leur efficacité mais aussi celles qui ont eu un effet négatif sur les performances des distillateurs solaires. La plupart des modifications sur les distillateurs solaires portent essentiellement sur les éléments illustrés par la (figure 1.2). Nous allons dans la suite, pour chaque modification technologique, comparé les différentes études ainsi que les résultats.

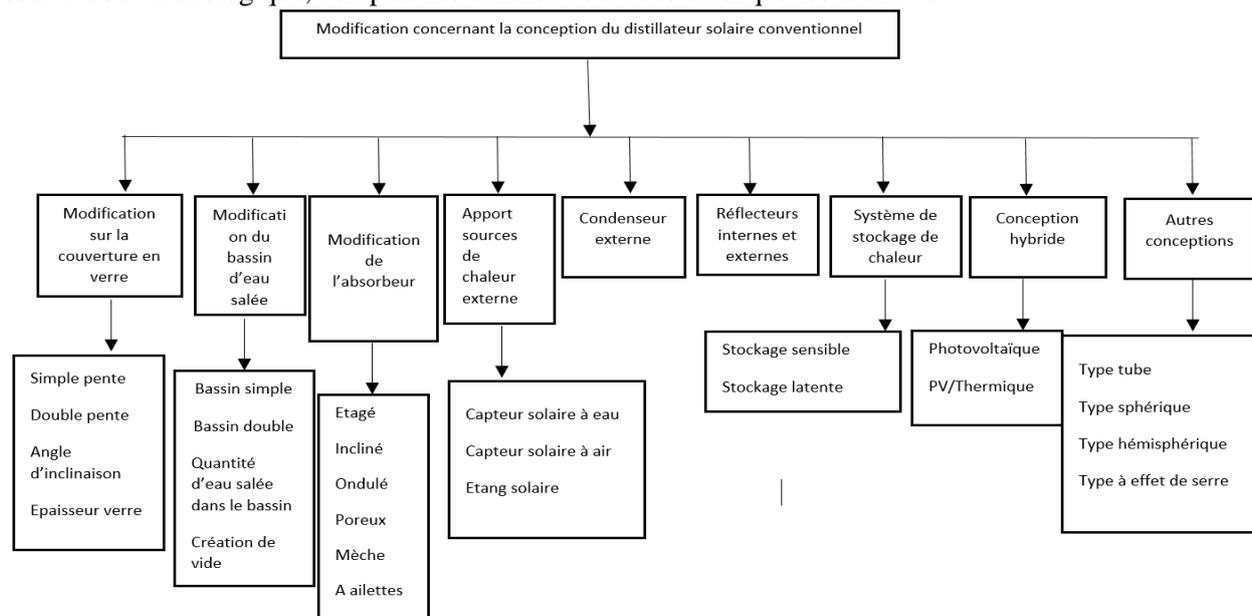


Fig.1.1 Modifications apportées au distillateur solaire type bassin

II. REVUE DES MODIFICATIONS TECHNOLOGIQUES APPORTÉES AUX DISTILLATEURS SOLAIRES ET LES RÉSULTATS OBTENUS.

A. Modification portant sur la couverture en verre (vitrine)

La production et le rendement d'un distillateur solaire conventionnel dépendent grandement des paramètres de la couverture en verre. Ces paramètres sont principalement le nombre de façades en verre, l'inclinaison du vitrage et la température du vitrage. Beaucoup de travaux ont été réalisées afin de déterminer l'impact de tous ces paramètres sur les performances des distillateurs solaires. Nous allons dans la suite, comparé ces travaux afin de quantifier les impacts de ces paramètres sur les performances des distillateurs solaires, mais aussi de voir les meilleurs réglages de ces paramètres permettant de maximiser la productivité et le rendement des distillateurs solaires.

A.1. Inclinaison de la couverture en verre

L'inclinaison de la couverture en verre impacte grandement les performances des distillateurs solaires. [1] ont mené une étude expérimentale sur un distillateur solaire conventionnel à New Delly (latitude de 28.36 °N). Les résultats ont montré que la production journalière du (DSC) est maximale pour une inclinaison de 15° de la couverture en verre. De la même manière, [2] a aussi mené une étude expérimentale en Jordanie (latitude de 31.96 °N) et a trouvé que la production maximale du distillateur est obtenue au mois de mai pour une inclinaison de la couverture en verre de 35°. [3] Ont réalisé la modélisation mathématique d'un distillateur solaire conventionnel en utilisant la méthode de Runge-Kutta du quatrième ordre sur FORTRAN. Les résultats ont montré que la meilleure inclinaison de la couverture en verre doit être égale à la latitude du lieu. Les résultats obtenus ont été comparé avec des données expérimentales et l'erreur relative commise avec la méthode numérique est estimée à 3,37%. Ces résultats sont confirmés par [4] qui a trouvé que la production d'eau douce d'un distillateur solaire conventionnel est maximal lorsque l'angle d'inclinaison de la couverture en verre est égale à la latitude du lieu. [5] Ont quant à eux mené une étude expérimentale, a Mosul-Irak (latitude de 36.34 °N) sur 10 distillateurs solaires type bassin avec des angles d'inclinaison de la couverture en verre qui varie de 10° à 55° par pas de 5°. Les résultats ont montré que les angles d'inclinaisons compris entre 30° et 35° présentent les production d'eau douce les plus faibles. Tandis que les angles d'inclinaison comprises entre 20° et 25° fournissent les performances optimales en ce qui concerne la production d'eau. [6] Ont développé un modèle CFD pour étudier les paramètres affectant la productivité d'un distillateur solaire conventionnel. Les effets de la vitesse du vent, de l'épaisseur et de l'inclinaison de la couverture en verre ainsi que la quantité d'eau en permanence dans le bassin ont été étudiés. Les résultats ont montré que pour une latitude de 30° N en Shiraz (Irak) la différence de température maximale et la production maximale sont obtenues pour un angle d'inclinaison de la couverture en verre de 30°.

Synthèse des travaux : Nous constatons que certaines études trouvent que la production d'eau maximale est obtenue pour une inclinaison de la couverture en verre égale à la latitude du lieu, alors que d'autres semblent prouver le contraire. Cependant, Nous savons aussi que, la plupart des capteurs solaires doivent être inclinés à la latitude du lieu afin de récupérer le maximum d'énergie tout au long de l'année. Au final, nous pouvons retenir que pour une utilisation optimale des distillateurs solaires, l'angle d'inclinaison de la couverture en verre peut être maintenu à la latitude du lieu avec une marge de réglage de plus ou moins 10°.

A.2. Augmentation du nombre de façades de la couverture en verre

Le soleil se déplaçant dans le ciel tout au long de la journée et au cours de l'année avec la variation des angles solaire. Il est important de trouver un moyen de récupérer le maximum d'énergie solaire et d'assurer une meilleure productivité des distillateurs solaires. Le suivi solaire de l'ensemble du bassin n'est pas toujours aisé du fait de sa conception et nécessite de l'énergie supplémentaire. Une solution beaucoup étudiée dans la littérature est la mise en place de deux ou plusieurs façades de la couverture en verre. [7] Ont mené une étude analytique et comparative entre un distillateur solaire simple pente et un autre pyramidal avec trois façades en verre (Fig.1.2 *Distillateur pyramidal*). Deux modèles mathématiques ont été développés afin de simuler le comportement thermique et les performances de ces deux configurations. Pour la simulation, les données météorologiques de la cité de ASWAN (Egypte) ont été utilisées. D'après les résultats, pour une années complète de production, le distillateur solaire conventionnel (une seule pente) semble être légèrement plus performant que le distillateur pyramidal. L'énergie solaire reçue par le distillateur conventionnel est 8%

supérieure à celle reçue par le distillateur pyramidal durant l'hiver et 5% inférieure durant l'été. A cause des pertes importantes par rayonnement de la surface des vitrages du distillateur pyramidal, sa production journalière est de 30% inférieure à celle du distillateur conventionnel durant l'hiver et de 3 % inférieure durant l'été. Les moyennes annuelles de la production journalière des deux distillateurs sont très proche et tourne autour de 2.6 L/m²/jour. Les moyennes annuelles des rendements sont de 30% pour le distillateur pyramidal et de 33% pour le distillateur conventionnel. L'angle optimum d'inclinaison des façades en verre du distillateur pyramidal est de 50° (proche de celui de la pyramide de Gizeh). Une réduction significative de la production est observée lorsque l'angle est supérieur à 60°. Enfin, le coût de production de l'eau est estimé à 30 \$/m³ de loin supérieur aux coûts de production de l'eau avec les technologies de désalinisation conventionnelles (1 à 2 \$/m³) [7]. Pour les distillateurs solaires, un coût de 0,03 \$/L est acceptable si on prend en compte l'investissement nécessaire pour le transport de l'eau.

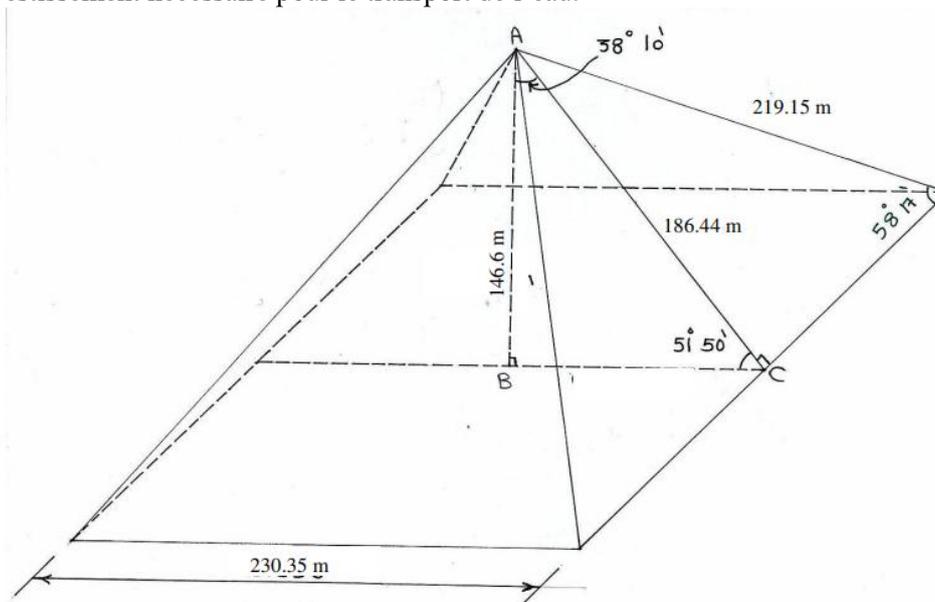


Fig.1.2 Distillateur pyramidal [7]

[8] Ont conçu, réalisé et testé deux prototypes de distillateur solaire. Un distillateur pyramidal en polychlorure de vinyle (PVC) de 0,2 m², et un autre en forme de prisme-triangulaire aussi en PVC de 0,6 m² (Fig.1.3 *Distillateurs solaires pyramidal et en prisme-triangulaire*). La production totale des deux prototypes entre le 7 et le 14 octobre est approximativement de 4 litre pour le distillateur pyramidal soit 0,5 L/jour et de 7,5 litre soit 0,9 L/jour pour celui en prisme-triangulaire. Les performances des deux distillateurs solaires ont sérieusement été affectées par la formation de condensat, sur la surface interne du PVC. Celui-ci réfléchit et en même temps absorbe le rayonnement solaire. Il faut aussi noter le manque de maîtrise de la technologie qui a entraîné de nombreuses fuites et a fait chuter la température à l'intérieur des distillateurs. Le coût de production de l'eau pour une durée de vie de 4 ans est de 46 \$/m³ pour le distillateur pyramidal et de 63 \$/m³ pour le celui en prisme-triangulaire.

[9] Ont quant à eux mené une étude expérimentale afin de sortir les facteurs qui affectent les performances d'un distillateur solaire pyramidal (Fig.1.4 *Distillateur solaire pyramidale*). Les résultats ont montré que pour le distillateur pyramidal, la surface de condensation étant plus importante que la surface d'évaporation, la vitesse du vent à l'extérieur a un impact considérable sur ces performances. L'augmentation de la vitesse du vent de 1,5 m/s à 3m/s et de 1,5 à 4,5 m/s entraîne une augmentation de la production de 8 % et 15,5 % respectivement.

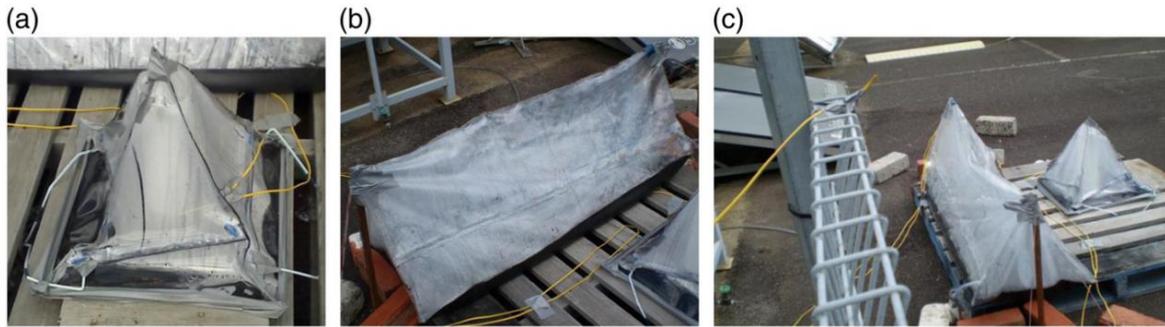


Fig.1.3 Distillateurs solaires pyramidal et en prisme-triangulaire [8]

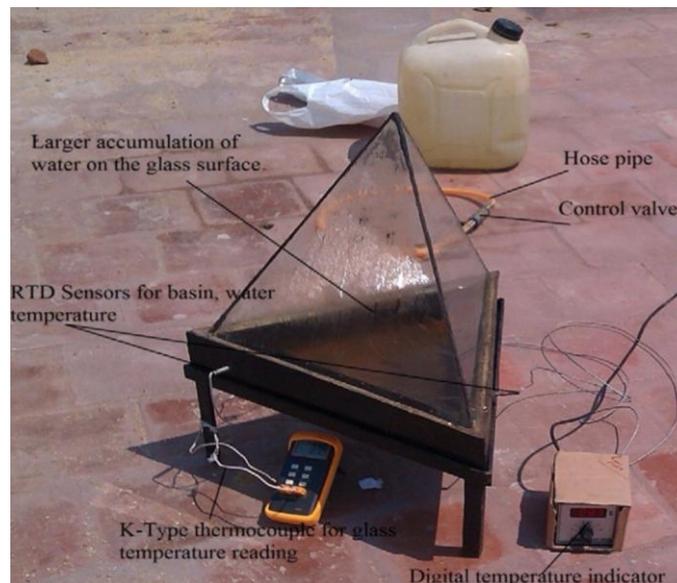


Fig.1.4 Distillateur solaire pyramidale [9]

[10] A mené une étude numérique sur un distillateur solaire type bassin à double pente. L'objectif de l'étude était de déterminer l'inclinaison optimal des deux pentes de la couverture en verre ainsi que la meilleure orientation. L'étude a été mener pour des latitudes allant de 24° à 31° afin de couvrir toutes les latitudes de la géographie de l'Egypte. Les résultats ont montré que pour un distillateur simple pente, l'angle optimum d'inclinaison de la couverture en verre doit être proche ou égal à la latitude du lieu avec une orientation vers le sud. Pour le distillateur à double pentes, l'angle d'inclinaison optimum des deux pentes, lorsqu'elles sont symétriques, est de 10° indépendamment de la direction vers où ils sont orientés. Par contre, les pentes des deux couvertures en verres ne sont pas nécessairement symétriques et dans ce cas, leurs valeurs optimums dépendent de l'orientation de chaque face par rapport au sud.

[11] Ont développé un prototype de distillateur solaire type « V » en Inde dans la région de KERALA. Pour améliorer le rendement du système, ils ont fait coulé un filet d'eau le long des vitrages afin de réduire sa température et augmenter la production. Pour assurer une l'homogénéité du filet d'eau sur la totale surface des vitrages, une gaze en coton est utilisé pour couvrir les vitrages. L'excédent d'eau qui coule du vitrage est récupéré dans un réservoir pour être utilisée comme eau d'alimentation du bac (Fig.1.5 Distillateur solaire en « V » recouvert d'une gaze en coton .

Les résultats ont montré que l'optimum de la production est atteint lorsque l'inclinaison des couvertures en verre est de 20° et le débit d'eau sur la surface du vitrage est de 200 ml/min. Le distillateur avec la gaze en

coton est plus performant que celui sans gaze en coton. Les productions journalières sont de 6,3 l/m² lorsque la gaze en coton est utilisée et de 5,6 l/m² lorsque celui-ci n'est pas utilisé.

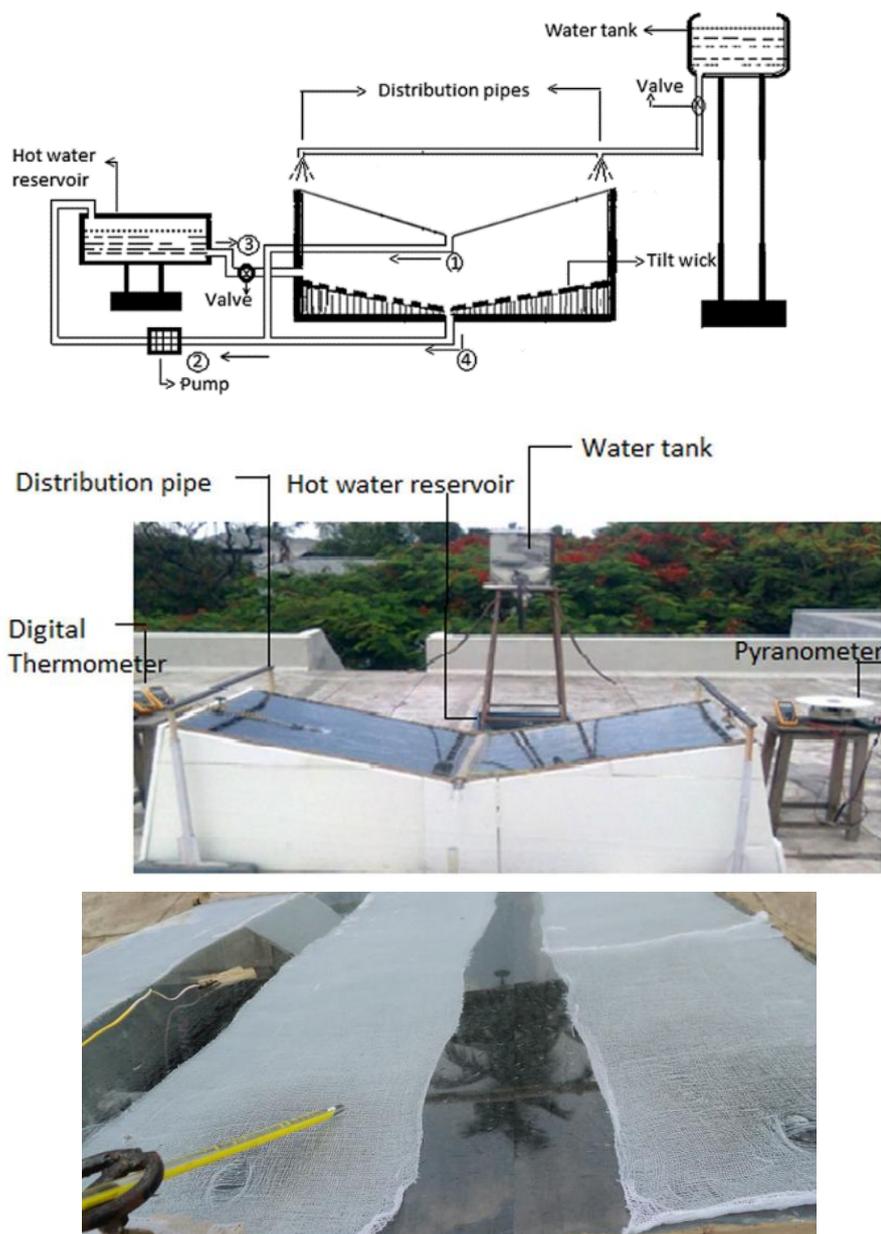


Fig.1.5 Distillateur solaire en « V » recouvert d'une gaze en coton [11]

[12] Ont développé un système composé d'un distillateur solaire pyramidal alimenté en eau chaude par un distillateur solaire à bassin incliné (Figure 1.7). Les résultats de l'expérimentation montrent que la combinaison des deux distillateurs améliore la productivité et le rendement de l'ensemble. L'augmentation de la profondeur de l'eau dans le bassin de 0,02 m à 0,05 m augmente le rendement exérgétique en fin de journée. Les productions d'eau douce annuelles du distillateur solaire pyramidal sans alimentation en eau chaude et lorsque celui-ci est combiné avec un distillateur solaire incliné sont respectivement de 1533 kg/an et 2744.8 kg/an.

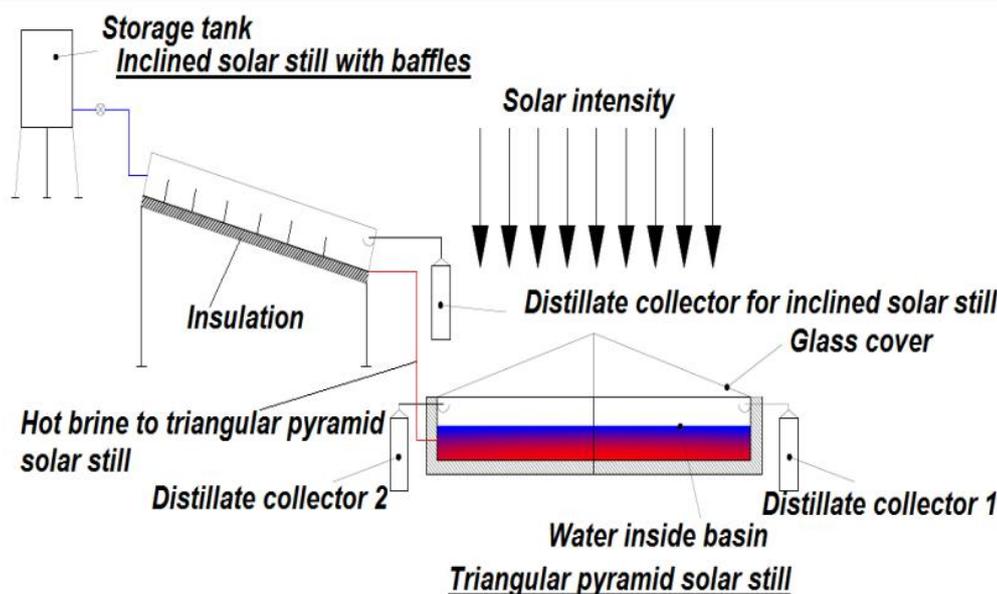


Fig.1.6 Distillateur solaire pyramidal actif [12]

[13] Ont développé un modèle thermique d'un distillateur solaire conventionnel modifié multi mèche avec une couverture en verre à double pente (Fig.1.7 Distillateur solaire multi mèche à double pente). Au vu des résultats, les valeurs maximales des rendements énergétique et exergetique instantanés sont respectivement de 35% et de 3.83% à 17 h du soir. Et durant la journée entre 9h du matin et 15h, les valeurs les plus élevées des rendements énergétique est exergetique instantanés sont respectivement de 27,51 % à 14h et de 3,05 % à 15 h.

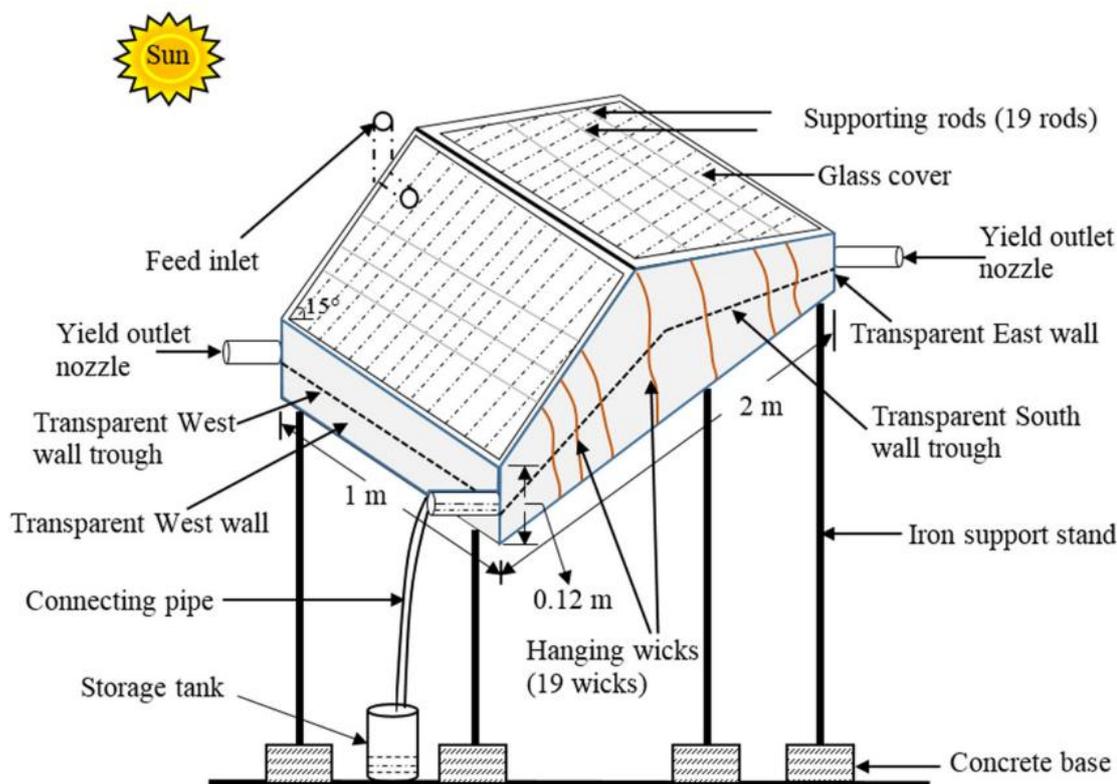


Fig.1.7 Distillateur solaire multi mèche à double pente [13]

Synthèse des travaux : L'augmentation du nombre de façades en verre d'un distillateur solaire type bassin peut être intéressant dans la mesure où ses performances, lorsque les conditions d'exploitations sont maîtrisées, dépassent celles d'un distillateur solaire avec simple vitrage. Cependant, l'augmentation du nombre de façade en verre augmente grandement la surface de condensation ce qui peut dégrader les performances du système lorsque l'apport en énergie thermique du bassin n'est pas suffisant. Ceci, justifie l'utilisation par les auteurs de moyens externes de préchauffage de l'eau du bac. Nous pouvons de plus rajouter la problématique technique de mis en œuvre d'un vitrage multi-façades qui n'est pas aisé.

A.3. Refroidissement de la couverture en verre

Les performances d'un distillateur solaire dépendent principalement de la différence de températures entre l'eau du bac et la couverture en verre. C'est en effet cette différence de température qui dicte le débit d'évaporation de l'eau. Plus cette différence de température est importante, plus la production d'eau distillée est importante [14].

Pour augmenter cette différence de température, deux solutions existent. L'une d'elles consiste à choisir une épaisseur de verre la plus petite possible. [15] ont démontré expérimentalement qu'une couverture en verre de faible épaisseur permet :

- D'augmenter la température de l'eau dans le bassin du fait de la faible épaisseur du vitrage ;
- De réduire la température du vitrage et donc augmente la différence de température entre le vitrage et l'eau dans le bassin.

Les verres étant de dimension standard, l'autre méthode permettant d'augmenter la différence de température entre le verre et la température de l'eau du bassin consiste à refroidir le verre avec de l'eau ou avec un flux d'air.

A.3.1. Refroidissement de la couverture en verre par une circulation uniforme d'eau

[16] ont étudié de manière théorique les performances d'un distillateur solaire type bassin simple en faisant passer un film d'eau le long du vitrage. Les résultats illustrés sur la *Fig.1.9 Résultats étude théorique du film d'eau sur le vitrage d'un distillateur solaire* peuvent être synthétisés comme suit :

- Le flux uniforme d'eau sur le vitrage entraîne une diminution remarquable de la température du vitrage. La température de l'eau devient très proche de celle du vitrage.
- La diminution importante de la température du vitrage entraîne l'accélération du processus de condensation sur le vitrage ce qui améliore la production d'eau du distillateur. Cependant, le rendement du distillat diminue légèrement avec l'augmentation du débit d'eau sur le vitrage.

Une autre étude de [17] a étudié de manière théorique sur les performances de 4 systèmes différents de distillateurs solaires : Un distillateur solaire type bassin, un distillateur type bassin avec écoulement d'eau sur le vitrage, un distillateur type bassin alimenté par un capteur solaire thermique plan et enfin un distillateur solaire type bassin alimenté par un capteur solaire thermique plan avec circulation d'eau sur le vitrage. Les résultats (*Fig.1.8 Rendement thermique des 4 types de distillateurs solaires étudiés par*) ont montré que le distillateur solaire type bassin avec écoulement d'eau sur le vitrage présente le meilleur rendement sur les trois autres systèmes.

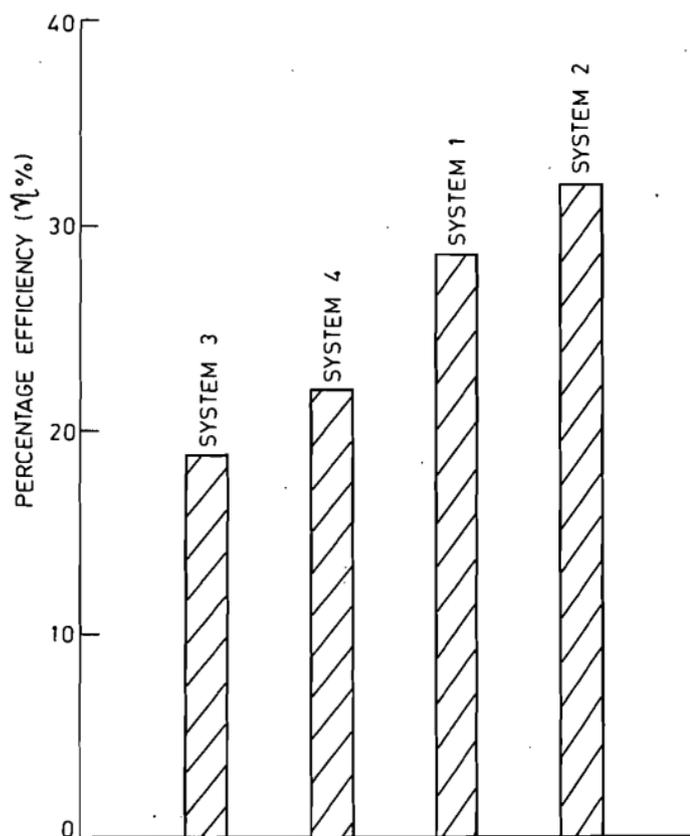


FIGURE 4 Percentage efficiency of 4 distillation systems. System 1: Single Basin Solar Still (SBSS). System 2: SBSS with water flow over the cover. System 3: SBSS coupled with flat plate collector. System 4: SBSS coupled with flat plate collector along with water flow over the cover.

Fig.1.8 Rendement thermique des 4 types de distillateurs solaires étudiés par [17]

[18] se sont proposés de valider les résultats théorique de [16] en faisant une étude expérimentale sur un prototype de distillateur solaire à l'université de Papouasie Nouvelle Guinée (Figure 1.10). Les résultats des calculs numériques et les données expérimentales ont permis de faire les conclusions suivantes :

- Il existe un bon accord entre les observations expérimentales et les résultats théoriques ;
- Le rendement du distillateur solaire augmente avec l'augmentation du débit d'eau sur le vitrage (Fig.1.10 Evolution du rendement du distillateur en fonction du flux d'eau sur le vitrage ;
- Il y a une augmentation de 7 à 10 % du rendement du distillateur solaire dû au flux d'eau uniforme sur le vitrage.
- Au-delà d'un débit d'eau supérieur à 1,5 m/s, le rendement du distillateur solaire n'évolue plus.

A partir de ces résultats expérimentaux obtenus, [19] ont pu développer une expression analytique du rendement thermique d'un distillateur solaire type bassin.

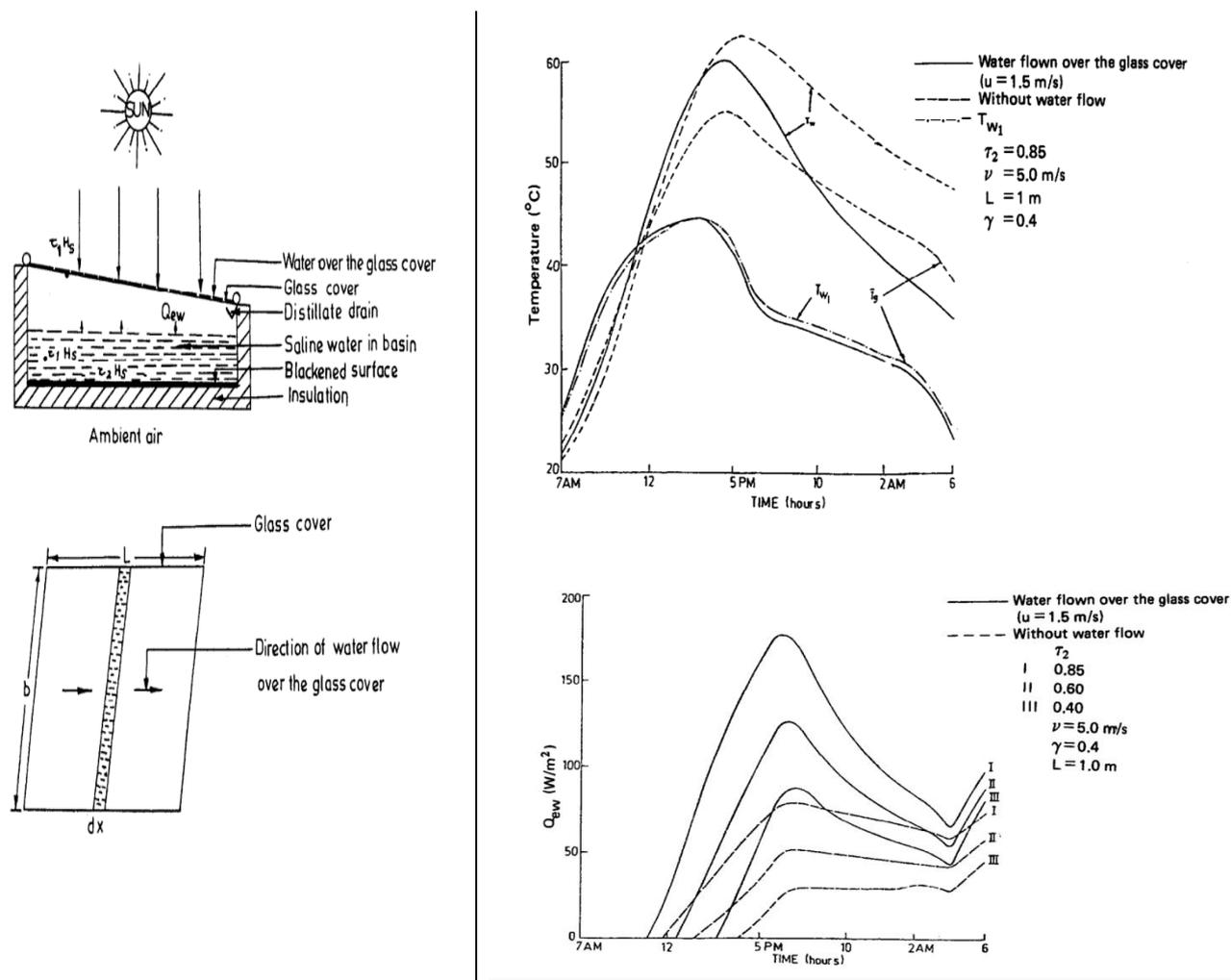


Fig.1.9 Résultats étude théorique du film d'eau sur le vitrage d'un distillateur solaire [16]

Une étude plus approfondie de l'impact du film d'eau sur le vitrage a été menée par [20]. Ce dernier a réalisé une étude théorique sur un distillateur solaire type bassin afin d'évaluer l'évolution du rendement thermique en fonction des paramètres du film d'eau sur le vitrage. L'objectif étant de déterminer l'efficacité de refroidissement du film d'eau dans différentes conditions de fonctionnement. A noté qu'une partie de l'eau réchauffée par le vitrage est utilisée comme eau d'appoint du réservoir. Les résultats (*Fig.1.11 Résultats étude théorique sur le rendement du distillateur solaire type bassin en fonction des conditions de fonctionnement du film d'eau*) obtenus ont montré que :

- Lorsque le film d'eau est utilisé dans de bonnes conditions, le rendement thermique du distillateur peut être amélioré de 6 %. Ce qui confirme les résultats précédents.
- Par contre, une utilisation du film de refroidissement dans de mauvaises conditions dégrade le rendement thermique du distillateur solaire.
- Les conditions de fonctionnement optimales du film d'eau sont :
 - Épaisseur du film de $2,5 \text{ E} - 4 \text{ m}$;
 - Débit volumique de l'eau de refroidissement $5 \text{ E} - 7 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - Longueur de la couverture en verre 2 m ;
- Enfin, le film d'eau rend le distillateur solaire insensible à la variation de la température ambiante et permet d'avoir une production continue.

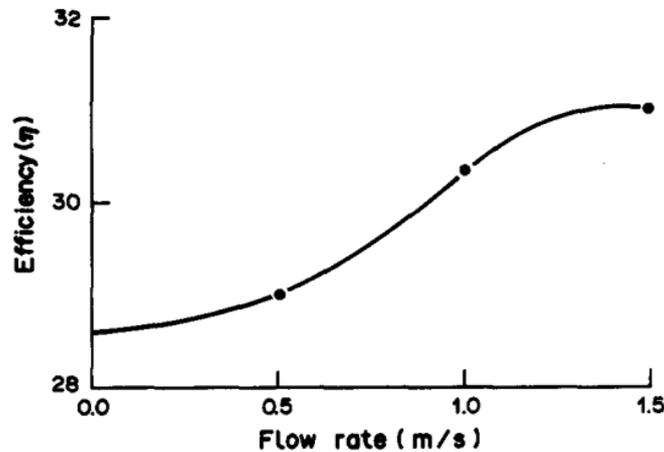


Fig.1.10 Evolution du rendement du distillateur en fonction du flux d'eau sur le vitrage [18]

Ces résultats ont été confirmés par [21] qui ont mené une évaluation théorique des performances d'un distillateur solaire à bassin étagé (Fig.1.12 *Distillateur solaire étagé avec film d'eau sur le vitrage*). Les résultats théoriques obtenus ont été validés par une étude expérimentale. De l'étude, les conclusions suivantes sont tirées :

- La circulation uniforme d'eau sur le vitrage d'un distillateur à bassin étagé peut augmenter la production journalière de 8,2 % avec des conditions d'utilisation précises du film d'eau.
- Le refroidissement de la température du film d'eau en dessous de la température ambiante n'est pas efficace.
- Les paramètres optimum d'utilisation du film d'eau sont :
 - Epaisseur du film d'eau de $3,49 E - 4 m$;
 - Débit volumique du film d'eau de $4,1 E - 5 m^3/s$;
 - Longueur du verre de $2,8 m$.

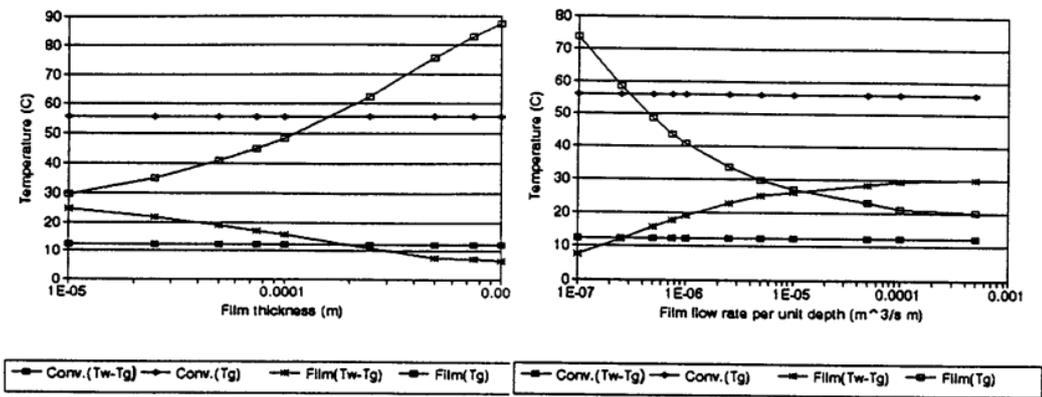


Fig. 8. Steady state glass temperature and water to glass temperature difference vs. thickness of cooling film.

Fig. 10. Steady state glass temperature and water to glass temperature difference vs. cooling water volumetric flow rate per unit width.

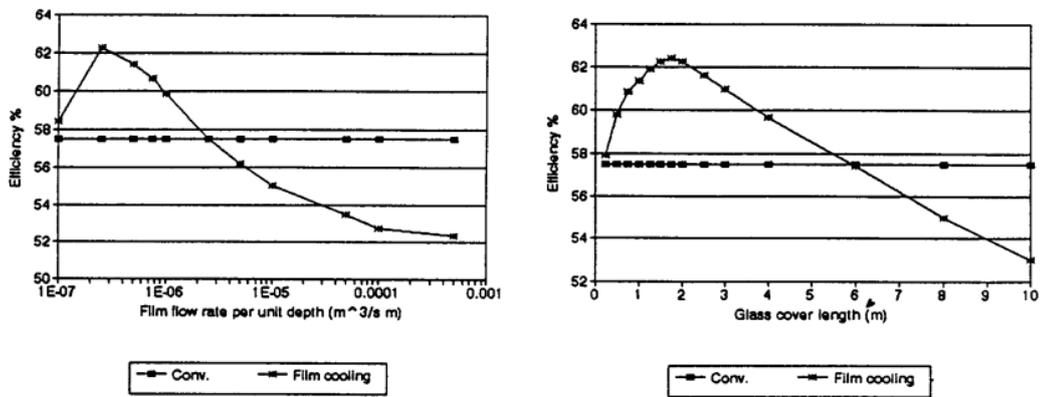


Fig.1.11 Résultats étude théorique sur le rendement du distillateur solaire type bassin en fonction des conditions de fonctionnement du film d'eau [20]

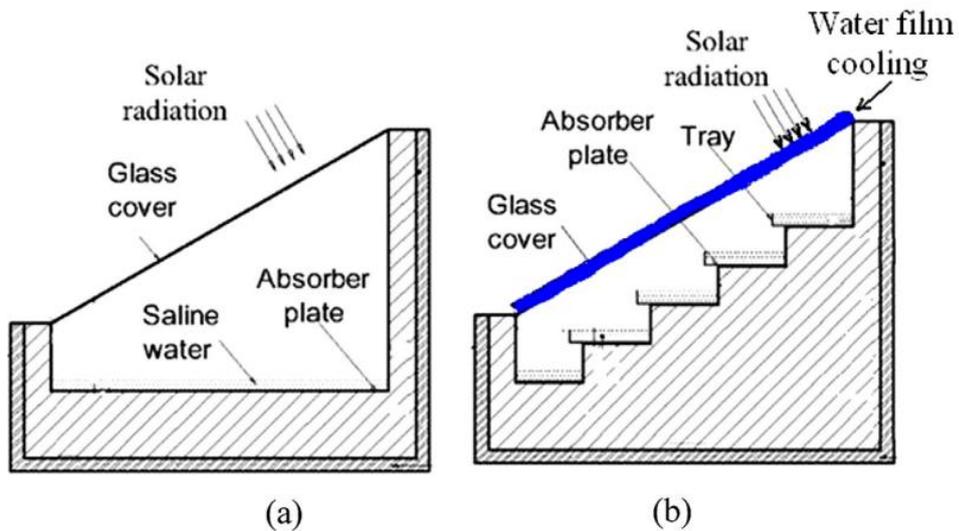


Fig.1.12 Distillateur solaire étagé avec film d'eau sur le vitrage [21]

L'impact de la circulation d'un film d'eau sur les performances d'un distillateur solaire à mèche flottante inclinée a été étudié par [22]. Dans cette étude, les résultats théoriques ont été validés par les données d'une expérimentation pratique. Les résultats obtenus concordent avec celles obtenus par les études antérieures.

- La circulation de l'eau sur le vitrage réduit grandement la température du vitrage et augmente le débit de condensation.
- La vitesse optimale de circulation de l'eau sur le vitrage est de 1,5 m/s. Au-delà cette valeur, le rendement thermique du système commence à décroître.

[23] ont mené une étude expérimentale sur un nouveau concept de distillateur solaire type bassin avec un vitrage hémisphérique (Fig.1.13 Résultats étude expérimentale d'un distillateur solaire type bassin avec vitrage hémisphérique). L'étude expérimentale a montré que le refroidissement du vitrage hémisphérique avec une circulation d'eau à un débit de 10 ml/min fait passer le rendement thermique de 34 % à 42 %.

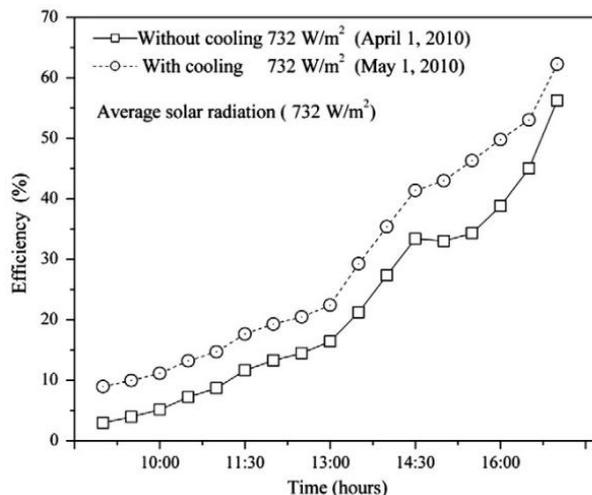
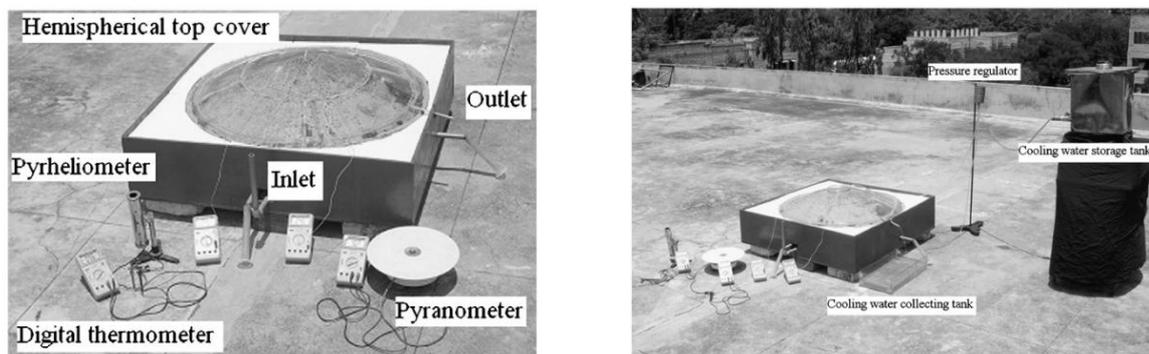


Fig.1.13 Résultats étude expérimentale d'un distillateur solaire type bassin avec vitrage hémisphérique [23]

[24] ont utilisé un refroidissement discontinu par film d'eau d'un distillateur solaire type bassin. La production journalière du distillateur est passé de 6,38 l/m² à 7,80 l/m².

Enfin, [25] en utilisant deux nanoparticules (Oxyde de cuivre et graphite) dans l'eau d'alimentation d'un distillateur solaire type bassin, ont étudié l'impact du refroidissement de la couverture en verre.

- Avec l'ajout de l'oxyde de cuivre, le refroidissement de la couverture en verre fait passer le rendement thermique du distillateur solaire de 38% à 46%.
- Avec l'ajout de graphite, le refroidissement de la couverture en verre fait passer le rendement thermique du distillateur solaire de 40% à 49%.

A.3.2. Refroidissement de la couverture en verre par l'air extérieur

Comme pour le refroidissement par la circulation de l'eau sur le vitrage, de nombreux auteurs ont rapporté que plus la vitesse du vent sur le vitrage est importante plus la production du distillateur est importante [14]. Cependant, d'autres trouvent que la vitesse du vent n'a aucun effet sur les performances d'un distillateur solaire.

[26] en établissant graphiquement les relations entre le transfert de masse et de chaleur qui gouvernent le fonctionnement d'un distillateur solaire en état instable, ont montré que l'effet du vent n'est pas important sur les performances du distillateur contrairement à la température ambiante.

[27] a étudié de manière théorique l'effet de la vitesse du vent sur les distillateurs solaires. Les résultats de l'étude ont montré que :

- Les températures de la vitre et de l'eau du bassin diminuent lorsque la vitesse du vent augmente.
- La production journalière du distillateur augmente lorsque la vitesse du vent augmente jusqu'à une valeur seuil. L'augmentation de la production est dû à l'augmentation de la différence de températures entre la vitre et l'eau dans le bassin qui est plus rapide que la baisse des deux températures.
- La valeur de la vitesse seuil est indépendante de la forme du distillateur et de la capacité thermique de l'eau dans le bassin. Cependant elle montre une certaine dépendance saisonnière donc de la température ambiante entre autres paramètre.
- Enfin, il est indiqué que la vitesse du vent est plus efficace en été lorsque la masse d'eau dans le bassin est important.

[28] ont mené une étude expérimentale sur un distillateur solaire type bassin simple et un autre couplé avec un capteur solaire thermique plan. L'expérimentation a été menée dans sur la station solaire de Adrar dans le désert de l'Algérie. L'objectif étant de voir l'influence des conditions climatiques du désert sur les distillateurs. Les résultats ont montré que la vitesse du vent a impact faible sur les performances des distillateurs que ce soit en été et en hiver.

[29] a refait une étude théorique simulée pour étudier l'impact de la vitesse du vent sur plusieurs types de distillateurs solaires. Cette fois ci les résultats de l'étude sont les suivantes :

- Pour les distillateurs solaires actifs, la production augmente avec la vitesse du vent jusqu'à une vitesse seuil. L'appoint en chaleur permet de maintenir la température de l'eau dans le bassin à une valeur élevée ce qui, combiné avec la vitesse du vent, augment la différence de température entre verre et eau et donc la production.
- Pour les distillateurs solaires double effet, la production augmente aussi lorsque la vitesse du vent augmente jusqu'à une vitesse seuil. Le deuxième bassin supérieur permet de ralentir la baisse de température du bassin primaire.
- Enfin pour le distillateur type bassin passif, il existe une masse critique d'eau dans le bassin en dessous de laquelle, la production diminue lorsque la vitesse du vent augmente. Si la masse d'eau est supérieure à la masse critique, la production commence à augmenter lorsqu'augmente la vitesse du vent jusqu'à une vitesse seuil. Cependant, cette observation n'est plus vrai lorsqu'il existe une différence de température entre la surface intérieure et la surface extérieur du vitrage. L'hypothèse qui consiste à considérer que les deux températures sont égales est valable pour un distillateur solaire type bassin.

Ces résultats renseignent que la vitesse du vent a un effet positif sur les performances d'un distillateur solaire lorsque la température de l'eau dans le bac peut être maintenue à un niveau élevé.

Ils sont confirmés par [30] qui ont montré que l'augmentation de la vitesse de vent de 1 m/s à 9 m/s permet d'augmenter la production de 13%.

Dans leurs études, [9] ont aussi montré que pour une distillateur solaire type bassin avec vitrage pyramidale, l'augmentation de la vitesse du vent de $1,5\text{ m/s}$ à 3 m/s augmente la production de 8 %. Une augmentation de la vitesse du vent de $1,5\text{ m/s}$ à $4,5\text{ m/s}$ augmente la production de 15 %.

Synthèse des travaux : La revue de ces différentes études nous renseigne que le refroidissement par eau ou par air de la couverture en verre d'un distillateur solaire conventionnel permet d'améliorer grandement ses performances. Cependant, pour les deux cas, les vitesses de circulation des fluides doivent être maîtrisées afin d'éviter de trop faire chuter la température de l'eau du bac et réduire le débit d'évaporation.

B. Etudes et modifications portant sur le bassin des distillateurs solaires

Le bassin des distillateurs solaires joue un rôle très important dans le processus de distillation. Il est le lieu de stockage ou de passage de l'eau saline devant être distillée. C'est aussi le lieu où se fait la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique nécessaire à l'évaporation de l'eau stockée. Le bassin a donc un impact très important dans les performances d'un distillateur solaire. Plusieurs études ont été menées par la modification des paramètres du bassin dans le but d'améliorer les performances des distillateurs solaires. Ces modifications portent sur l'ajout d'absorbant ou de mèche, l'optimisation de la quantité d'eau dans le bassin, l'ajout d'ailettes pour augmenter l'échange de chaleur et l'augmentation du nombre de bassin.

B.1. Etudes sur la quantité d'eau dans le bassin

Beaucoup d'auteurs ont étudié l'influence de la quantité d'eau dans le bassin sur les performances d'un distillateur solaire conventionnel type bassin.

[31] a décrit une méthode de simulation numérique permettant d'étudier les paramètres qui influencent les performances d'un distillateur solaire type bassin en l'occurrence la profondeur de l'eau du bassin. Ses résultats ont montré que le distillateur solaire présente un meilleur rendement lorsque le niveau de l'eau du bassin est le plus faible possible en supposant une bonne isolation thermique. L'augmentation du niveau d'eau dans le bassin s'accompagne d'une diminution de l'évaporation (*Fig.1.14 Evolution de la masse d'eau évaporée en fonction de la profondeur de l'eau du bassin* . En effet une faible quantité d'eau du bassin présente une faible inertie thermique et permet au système d'atteindre rapidement une température élevée.

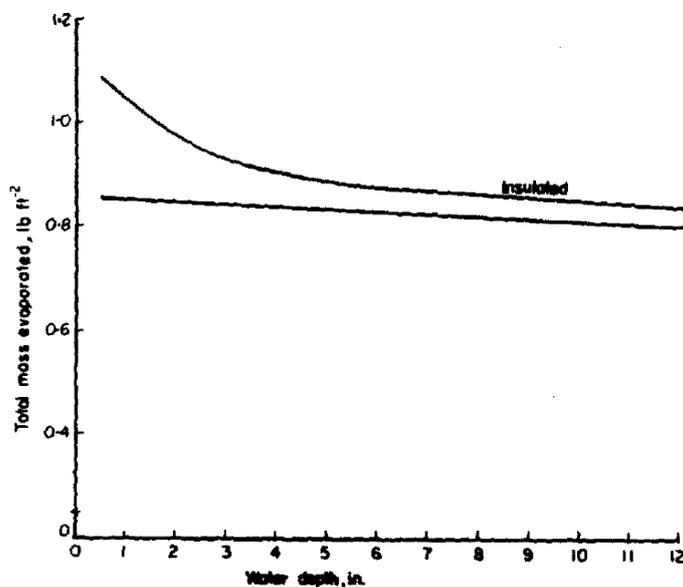


Fig.1.14 Evolution de la masse d'eau évaporée en fonction de la profondeur de l'eau du bassin [31]

Plusieurs autres auteurs ont confirmé les résultats de [31] dont [32] qui ont observé expérimentalement une augmentation significative de la productivité d'un distillateur solaire lorsque le niveau d'eau dans le bassin diminue. [33] ont trouvé expérimentalement qu'une augmentation du niveau de l'eau de 2 cm à 8 cm fait baisser la productivité du distillateur de 14 %. [34] ont observé aussi sur un distillateur solaire type bassin double pente que l'augmentation de la hauteur de l'eau du bassin de 1 cm à 3 cm fait baisser la productivité de 9 %.

Cependant, [35] ont apporté une précision sur ces observations. En effet, une étude théorique validée expérimentalement leur a permis de constater que la productivité des distillateurs solaires type bassin augmente avec l'augmentation du niveau d'eau dans le bassin lorsque la température initiale de l'eau dans le bassin est supérieure à 45°C. Si la température initiale de l'eau est inférieure à 40°C, la productivité du distillateur diminue avec l'augmentation de la profondeur de l'eau dans le bassin (*Fig.1.15 Variation de la production journalière en fonction du niveau d'eau dans le bassin pour différentes températures initiales de l'eau*).

Ces résultats démontrent que, pour un distillateur solaire type bassin, une quantité importante d'eau peut avoir un effet négatif sur ses performances lorsqu'il n'y a pas un apport suffisant d'énergie.

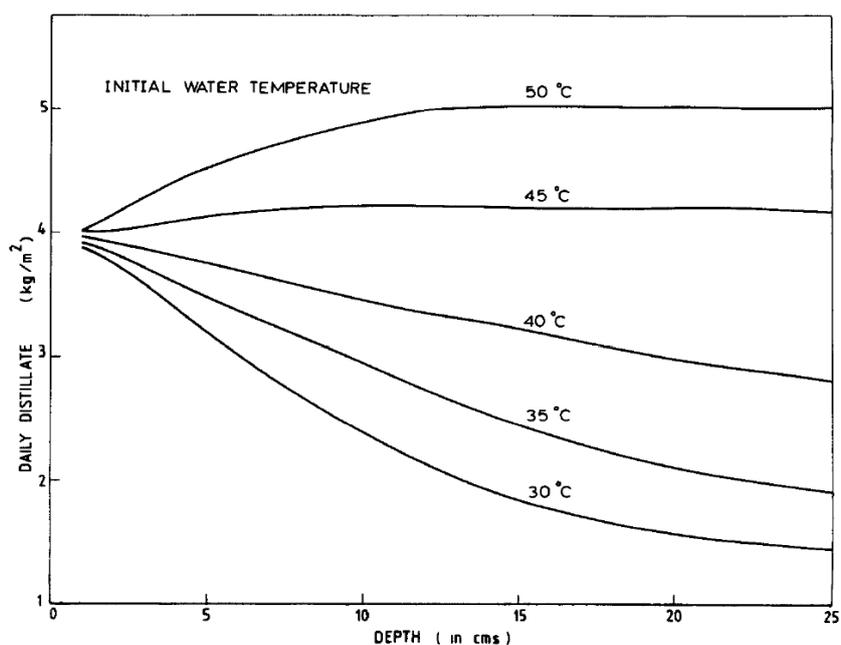


Fig.1.15 Variation de la production journalière en fonction du niveau d'eau dans le bassin pour différentes températures initiales de l'eau [35]

Il faut cependant noter que les observations des études précédemment citées ne prennent pas en compte le fonctionnement du système en continu (c'est à dire en fonctionnement en jour et en nuit). En effet, [36] ont étudié un prototype de distillateur solaire type bassin, pour des durées de 24 h, la variation du coefficient d'évaporation et de transfert de masse en fonction de la profondeur de l'eau dans le bassin. Ils ont observé que la distillation du système lors de la nuit est significatif pour une profondeur d'eau du bassin élevée. Ceci est dû à la baisse de la température ambiante extérieure combiné au stockage d'énergie thermique sensible dans l'eau du bassin. Ce qui veut dire qu'une quantité d'eau plus importante permet au système de fonctionner la nuit mais avec des production plus faible. Une autre étude de [37] étendu sur toute l'année avec des cycle de 24 heures a permis de constater que la production diminue avec l'augmentation du niveau de l'eau, mais au-delà d'une hauteur d'eau supérieur à 0,1 m, la production devient constante lorsque la hauteur de l'eau augmente. Ce qui veut dire que les pertes de production en période d'ensoleillement sont rattrapées durant la nuit à partir d'un certain niveau d'eau dans le bassin.

[38] sont allés plus loin en expérimentant pendant 10 jours en continu deux distillateurs solaires type bassin alimenté en eau chaude par deux capteurs solaires thermiques plans de dimensions différentes. Leurs résultats ont montré que durant les deux premiers jours, la production des distillateurs augmente avec la diminution du niveau d'eau dans les bassins. Cependant au-delà du deuxième jour, les performances et la production des deux distillateurs diminuent avec la diminution du niveau d'eau dans le bassin (*Fig.1.16 Evolution de la production et du rendement des deux distillateurs durant les 10 jours*). Sachant que dans la pratique les distillateurs solaires sont destinés à fonctionner en continu, les auteurs concluent qu'un niveau d'eau profond est recommandé pour les distillateurs solaires. En effet, une quantité d'eau importante va d'une part permettre une production durant la

nuit, et d'autre part elle va permettre au système de démarrer son fonctionnement rapidement en début de journée.

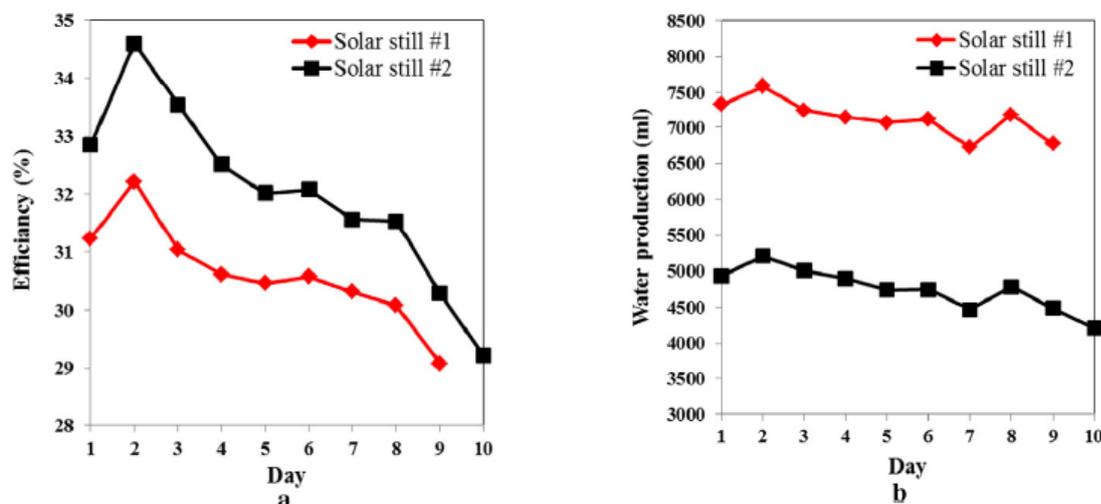


Fig.1.16 Evolution de la production et du rendement des deux distillateurs durant les 10 jours [38]

Dans la plupart des études, la quantité d'eau dans le bassin des distillateurs solaires est directement liée à sa hauteur. La quantité d'eau dans le bassin augmente avec l'augmentation de sa hauteur dans le bassin. Cependant il existe un paramètre, appelé distance entre la surface de l'eau et le couvercle en verre (WCD = Water surface – Cover distance), qui n'est pas pris en compte dans la plupart des études. D'après [39] ce paramètre a une influence très significative dans la production des distillateurs solaires. Ils ont trouvé qu'une augmentation de cette hauteur de 10 cm entraîne une diminution de la production de 45 %.

[40] ont mené une étude expérimentale pour étudier l'influence du WCD sur les performances des distillateurs solaire type bassin. Pour ce faire, ils ont suivi les performances en été et hivers de 10 prototypes avec la même hauteur d'eau dans le bassin mais avec des WCD différentes. Ils ont trouvé qu'une augmentation du WCD de 9 à 23 cm entraîne une diminution de la production de 26 %. Les auteurs concluent alors qu'une étude rigoureuse de l'impact de la hauteur d'eau dans le bassin doit se faire de manière comparative avec des WCD constantes. Ils ont refait une étude expérimentale avec 3 distillateurs solaires type bassin avec cette fois ci des hauteurs d'eau différentes et les WCD identiques. Les résultats ont montré qu'en augmentant la hauteur de l'eau, la production durant la nuit augmente ; et même, pour les hauteurs d'eau comprises entre 8 cm et 16 cm la production d'eau durant la nuit est supérieure à la production d'eau durant les journée d'automne (Fig.1.17

Variation de la production des distillateurs solaire type bassin en fonction de WCD et en fonction de la hauteur de l'eau .

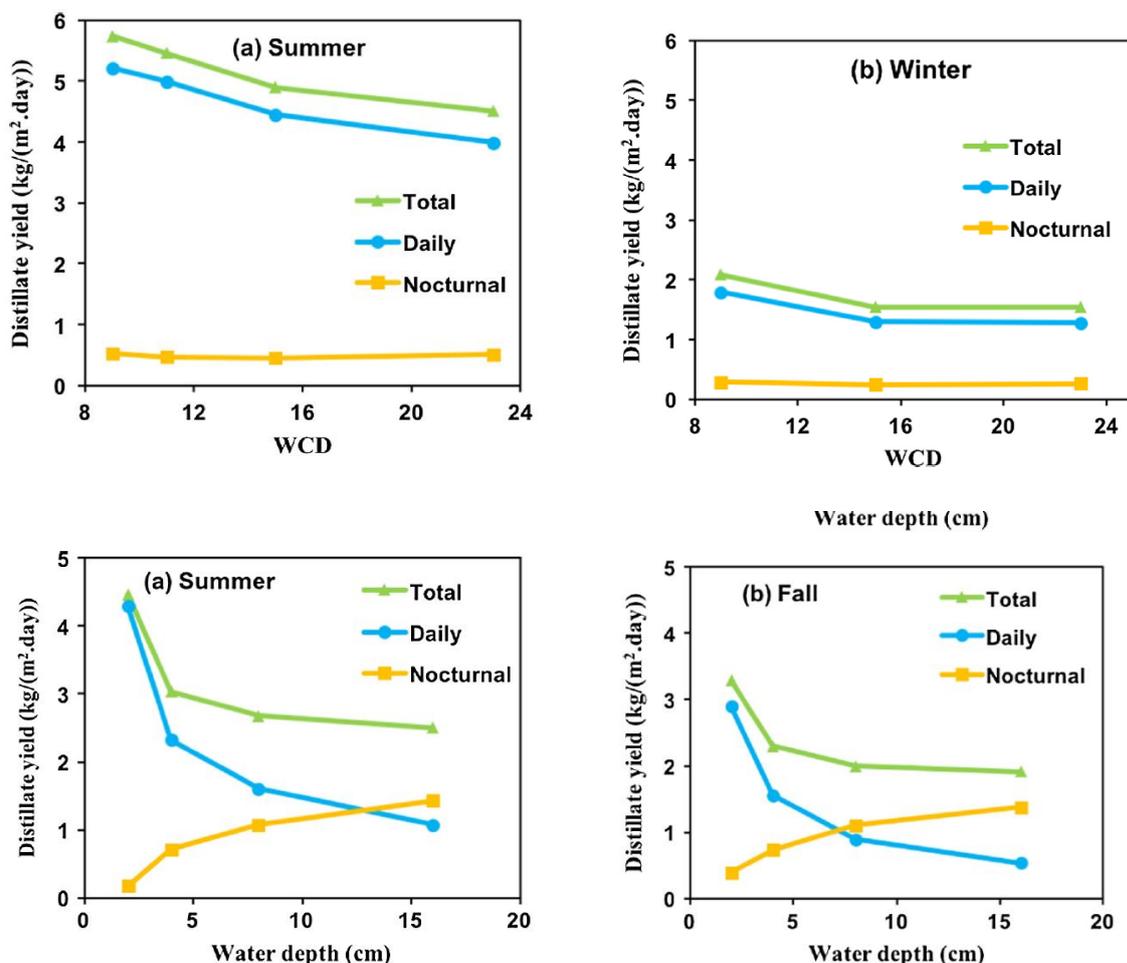


Fig.1.17 Variation de la production des distillateurs solaire type bassin en fonction de WCD et en fonction de la hauteur de l'eau [40]

Synthèse des travaux : Cette revue, très important, nous apprend que la quantité d'eau dans le bassin peu impacte positivement comme négativement les performances d'un distillateur solaire. Nous comprenons avec la synthèse des études qu'une quantité d'eau suffisante dans le bassin est nécessaire pour assurer la continuité de fonctionnement du système. Cependant celle-ci doit être maîtrisée car lorsqu'elle est trop importante le démarrage du distillateur sera ralenti dû à l'augmentation de l'inertie thermique. La quantité d'eau dans le bassin étant aussi directement liée à la distance entre la surface de l'eau et la couverture en verre, les dimensions du distillateur doivent être bien calculer afin que cette hauteur n'impact pas de manière négative ses performances.

B.2. Ajout d'absorbeur dans les distillateurs solaires.

Le rayonnement solaire qui traverse la couverture en verre est absorbé par l'eau du bassin et par un élément absorbeur. L'absorbeur doit avoir un facteur d'absorption du rayonnement solaire élevé pour stocker le maximum d'énergie solaire disponible [41]. Plusieurs matériaux absorbant ont été utilisés pour améliorer la productivité des distillateurs solaires. Il s'agit de colorants tel que naphtylamine noir, de caoutchouc noir mat, d'encre, de gravier noir, de plaque de mica, du charbon de bois, de feuille l'aluminium, des cubes d'éponges, du ciment, de toile de jute, des bouses de vaches, de la cire de paraffine, des éponges métalliques filiformes, de la roche volcanique noire, des morceaux de marbre ainsi que des nanoparticules [42].

[43] ont utilisé différents matériaux absorbant sur une distillateur solaire type bassin de 3 m² avec deux façades en verre (Fig.1.18 Schématisation du distillateur solaire étudié par). Les matériaux absorbants utilisés dans cette étude expérimentale sont : Un tapis en caoutchouc noir, une encre de couleur noir et un colorant noir. Afin de réaliser une étude comparative de ces différents absorbeurs, quatre distillateurs solaires de même caractéristiques ont été utilisés dont un qui n'est pas équipé de matériaux absorbant. Les résultats ont montré que la production en eau distillé journalier est améliorée de 38 %, 45 % et 60 % pour respectivement les matériaux absorbeurs suivant : Le tapis en caoutchouc noir, l'encre noir et le colorant noir (Fig.1.19 Productions horaires cumulées pour les différents matériaux absorbant .

[44] ont utilisé, lors d'une étude expérimentale, les matériaux absorbant que sont : une éponge filaire métallique en acier non-peint, une éponge filaire métallique en acier peint en noir et des roches volcaniques noires (Fig.1.20 Illustration des matériaux absorbant : a(éponge filaire métallique non-peint), b(éponge filaire métallique peint en noir) et c(roches volcaniques noires) . Quatre distillateurs solaires type bassin simple avec une seule façade sont utilisés dont un qui n'est pas équipé de matériaux absorbant. Les résultats ont montré que le distillateur solaire équipé de l'éponge filaire métallique non-peint offre la meilleure production d'eau distillé durant la journée.

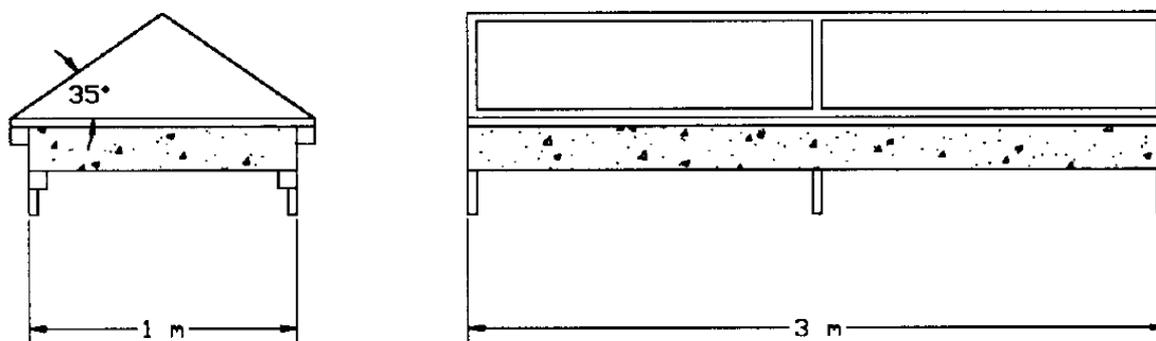


Fig.1.18 Schématisation du distillateur solaire étudié par [43]

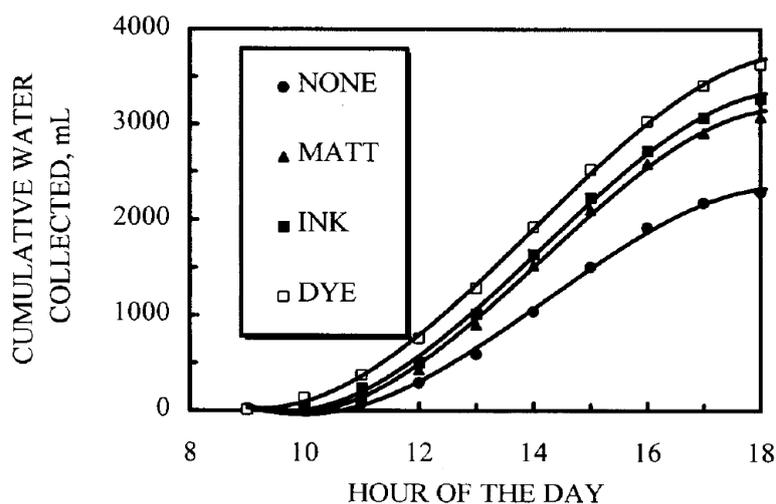


Fig.1.19 Productions horaires cumulées pour les différents matériaux absorbant [43]

Cependant, pour un jour complet de production de 24 heure (Jour-nuit), la production d'eau distillé globale est améliorée de 28 %, 43 % et de 60 % pour respectivement l'éponge filaire métallique peint en noir, l'éponge filaire métallique non-peint et les roches volcaniques noires (Fig.1.21 Productions cumulées des quatre distillateurs avec les différents matériaux absorbeurs .

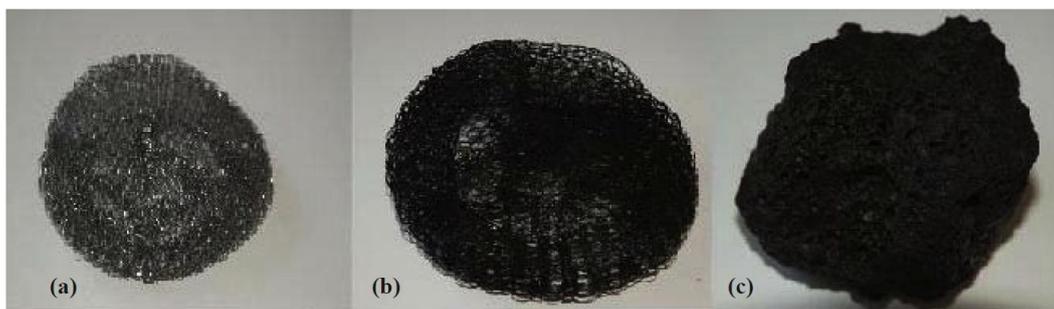


Fig.1.20 Illustration des matériaux absorbant : a(éponge filaire métallique non-peint), b(éponge filaire métallique peint en noir) et c(roches volcaniques noires) [44]

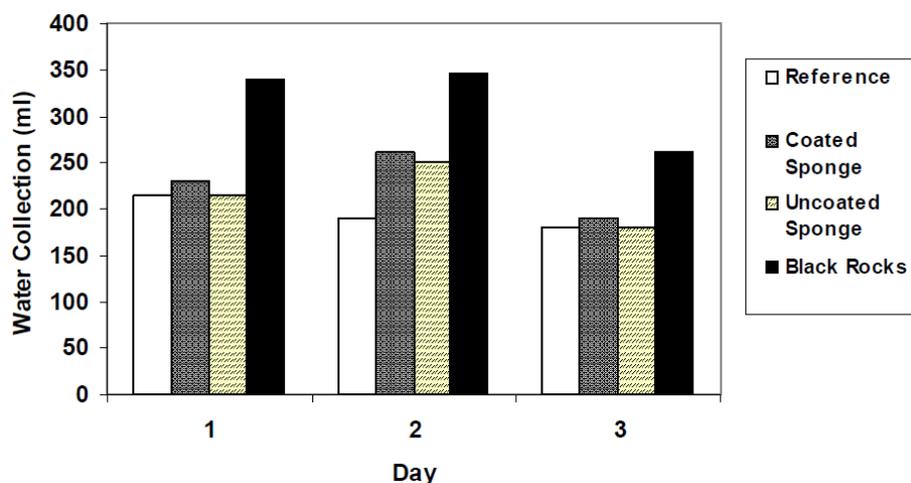


Fig.1.21 Productions cumulées des quatre distillateurs avec les différents matériaux absorbants [44]

[45] ont utilisé comme matériaux absorbant de la bouse de vache afin d’observer son impact dans la productivité du distillateur solaire. Deux distillateur solaire type bassin simple avec les mêmes caractéristiques sont utilisés pour l’étude comparative. L’un a pour matériaux absorbant les bouses de vaches et l’autre une plaque métallique en acier. Les résultats ont montré que le distillateur solaire, avec comme matériaux absorbant les bouses de vache, a un meilleur coefficient de transfert thermique par évaporation. Par ailleurs, la production journalière du distillateur solaire avec les bouses de vache est supérieure de 25 % à la production journalière du distillateur solaire avec la plaque métallique (*Fig.1.22 Résultats production horaire entre le distillateur solaire équipé de bouses de vache et de celui équipé de plaque métallique*).

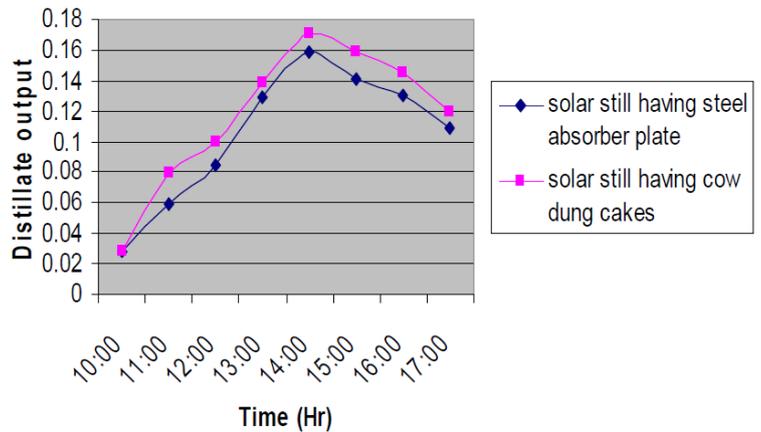


Fig.1.22 Résultats production horaire entre le distillateur solaire équipé de bouses de vache et de celui équipé de plaque métallique [45]

[46] ont utilisé des matériaux absorbant à changement de phase sur un distillateur solaire type bassin simple. Les matériaux à changement de phase utilisés sont le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), le sulfate de magnésium hepta-hydraté ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), l'acétate de sodium CH_3COONa). Les résultats ont montré que parmi tous ces matériaux, c'est le sulfate de magnésium hepta-hydraté ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) qui donne la meilleure production d'eau distillé.

[47] ont mené une étude analytique afin d'étudier l'effet des nanoparticules Al_2O_3 sur les performances d'un distillateur solaire type bassin simple à double façade. Les nanoparticules sont mélangées à l'eau qui se trouve dans le bassin. Deux cas sont étudiés, un premier avec une masse d'eau de 35 kg et un autre avec une masse d'eau de 80 kg. Les concentrations de nanoparticules étudiées sont de 0,04 %, 0,08 % et 0,12 %. Les résultats obtenus ont montré que, pour une concentration de nanoparticule de 0,12 %, la production a augmenté de 12,2 % et de 8,4 % pour respectivement les masses d'eau de 35 kg et de 80 kg. De plus, la production journalière augmente avec l'augmentation de la concentration de nanoparticule Al_2O_3 (Fig.1.23 Evolution de la production journalière en fonction de la concentration de nanoparticule).

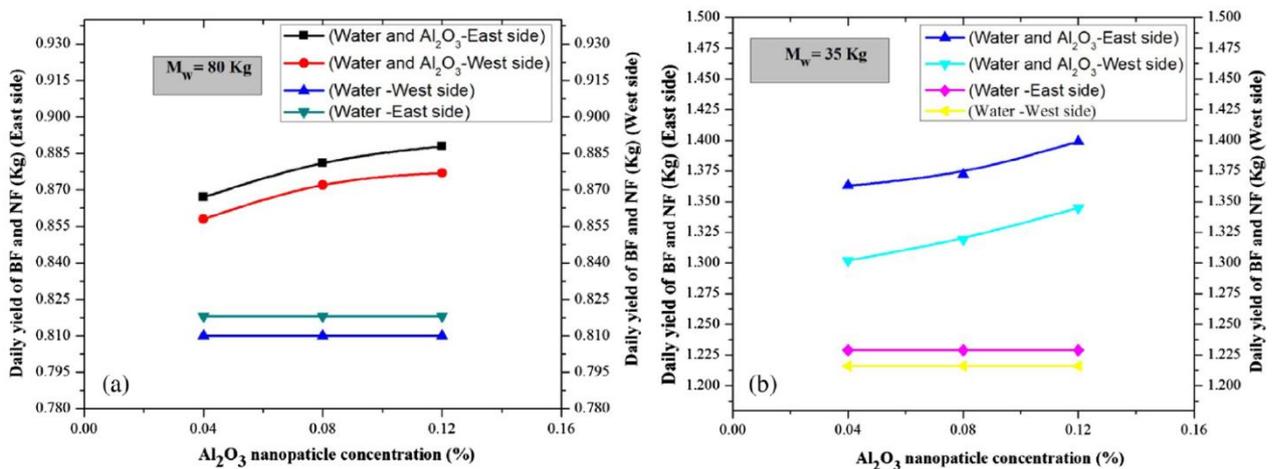


Fig.1.23 Evolution de la production journalière en fonction de la concentration de nanoparticule [47]

[48] ont utilisé pour améliorer les performance d'un distillateur solaire des nanoparticules de graphites en paillette, un matériaux à changement de phase et un film de refroidissement sur le vitrage. Les résultats ont montré que la production du distillateur a augmenté de 50,28%, 65%, 56,15% et 73,8% respectivement

lorsque les nanoparticules de graphite en paillette sont utilisés seuls, lorsqu'on associe les nanoparticules avec le matériau de changement de phase, lorsque les nanoparticules sont associées avec le film de refroidissement et enfin lorsque tous les éléments (nanoparticules, matériau à changement de phase et film de refroidissement) sont associés.

[49] ont quant à eux utiliser une plaque de mica comme matériau absorbeur dans un distillateur solaire conventionnel. La plaque est placée de tel sorte qu'il est parallèle au vitrage du distillateur. Les résultats ont montré que la température maximale atteinte au niveau de la plaque en mica atteint les 95 °C contre 67°C pour le distillateur conventionnel. La plaque de mica permet ainsi d'augmenter la production journalière de 25 %.

[50] ont utilisé le marbre et le gré comme matériaux absorbant. Les résultats ont montré que le gré apporte une augmentation de la production journalière de 30 % contre 14 % pour le marbre.

[51] ont réalisé un distillateur intégré hybride composé d'un distillateur solaire a bassin incliné, d'un distillateur solaire type bassin conventionnel et un réservoir de stockage d'eau chaude. Une partie de l'eau chaude non évaporée du distillateur solaire à bassin incliné alimente en eau chaude le distillateur solaire à bassin conventionnel (Fig.1.24 Schéma du distillateur solaire intégré . L'autre partie de l'eau chaude alimente un réservoir d'eau chaude pour des besoins domestiques. Trois types d'absorbeurs métalliques de formes différentes (absorbeur plat, absorbeur rainuré et absorbeur avec ailettes) sont utilisés au niveau du distillateur solaire à bassin incliné afin de déterminer leurs impacts sur les performances du distillateur intégré (Fig.1.25 Distillateur solaire intégré et les différents plaques absorbeurs de formes différents . Les résultats de l'étude expérimentale ont montré que le distillateur solaire intégré équipé de l'absorbeur à ailettes à une productivité en eau distillé supérieur de 25,7 % à la productivité en eau douce de celui équipé par l'absorbeur plat, et de 74,25 % supérieure à la productivité du distillateur solaire à bassin incliné conventionnel. Le rendement thermique du distillateur solaire intégré est de 40,9 % qui est supérieur de 34,1 % au rendement thermique du distillateur solaire à bassin incliné conventionnel (Fig.1.26 Productions et rendements journaliers du distillateur intégré avec différentes configuration .

[52] ont aussi réalisé une étude expérimentale sur une distillateur solaire à bassin incliné avec absorbeur étagé (Figure 1.28). Deux types d'absorbeurs étagés ont été testés, l'un avec une surface plate et l'autre avec surface convexe. Les résultats ont montré que la productivité en eau douce du distillateur avec absorbeur étagé à surface convexe est supérieure à la productivité du distillateur avec absorbeur étagé à surface plate (Figure 1.29).

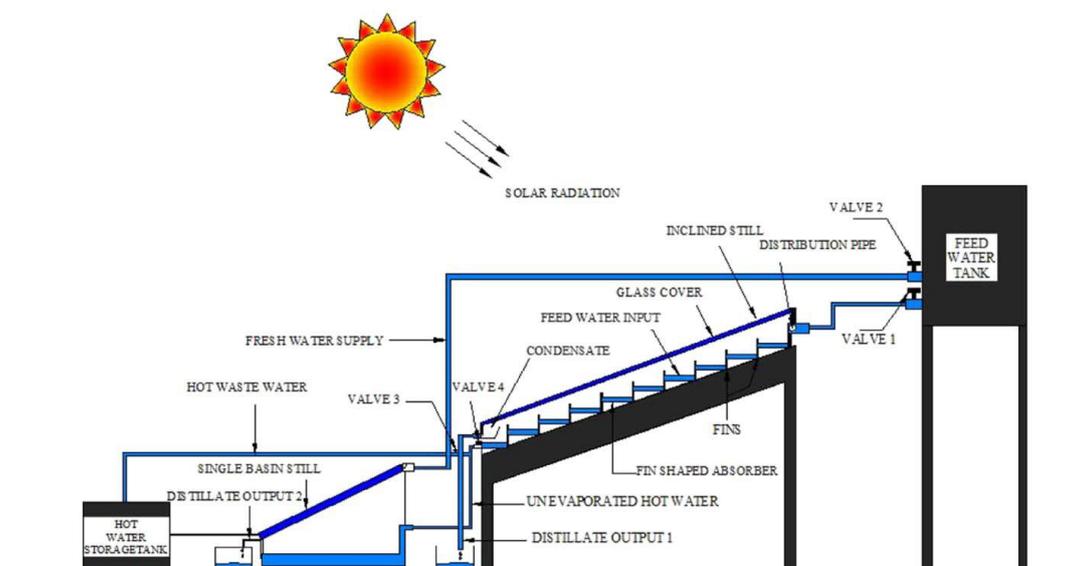


Fig.1.24 Schéma du distillateur solaire intégré [51]



Fig.1.25 Distillateur solaire intégré et les différents plaques absorbeurs de formes différents [51]

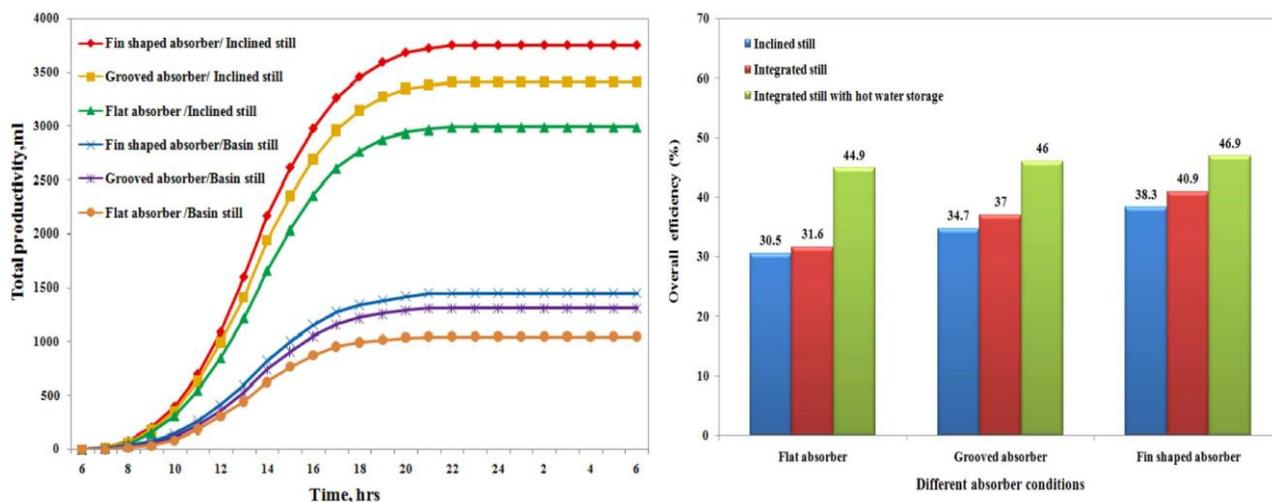


Fig.1.26 Productions et rendements journaliers du distillateur intégré avec différentes configuration [51]

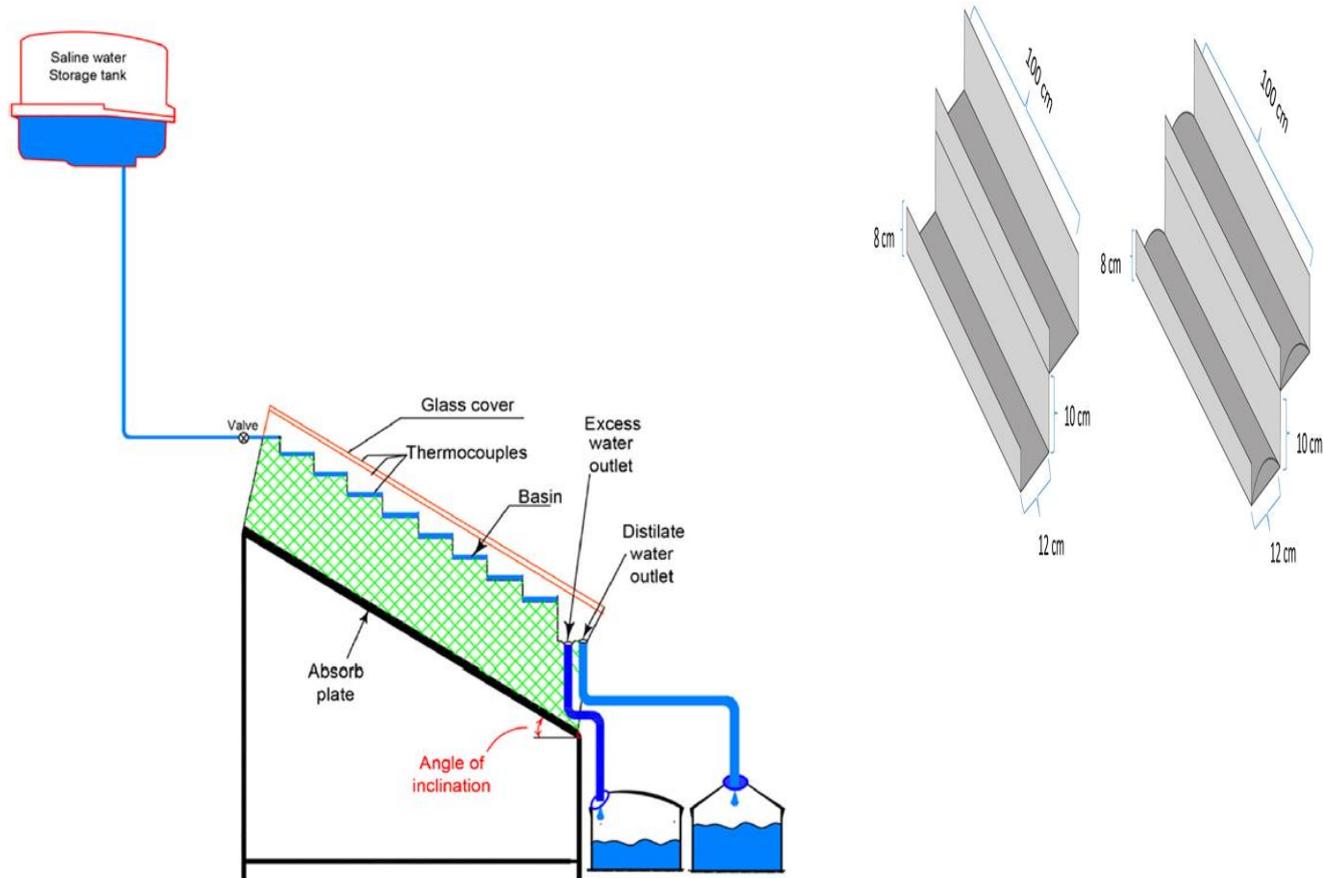


Fig.1.27 Schéma du distillateur solaire à bassin incliné avec les absorbeurs étagés (surface plate et surface convexe)

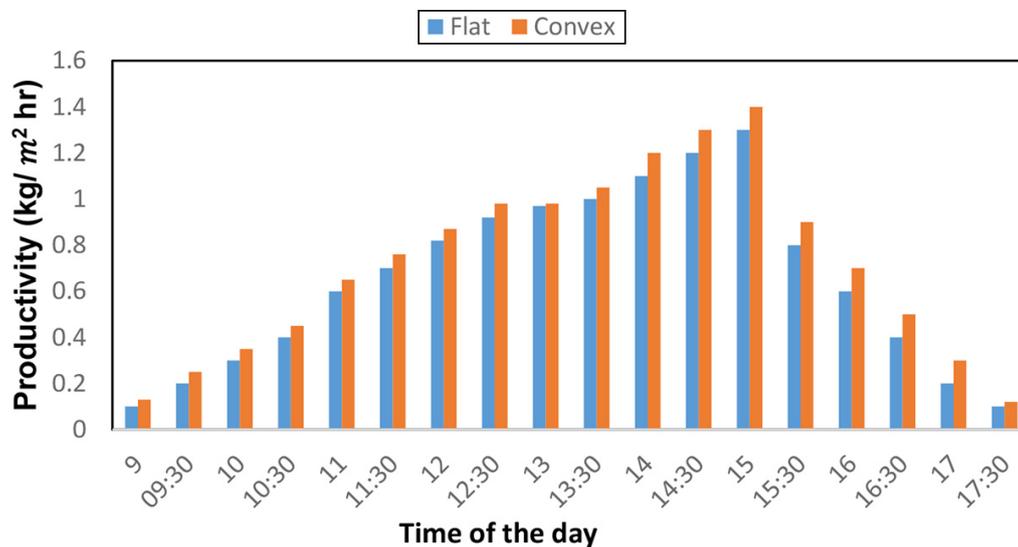


Fig.1.28 Productions horaires du distillateur solaire à bassin incliné avec les absorbeurs étagés (Surface plate et surface convexe)

[53] ont réaliser une étude expérimentale pour comparer les apports sur les performance d'un distillateur solaire de deux matériaux absorbeurs (Fibre de métal tissé et ailettes cylindriques). Ces éléments absorbeurs sont posés sur une plaque métallique lors des essais (Figure 1.30). Trois prototypes ont été réalisés afin de tester les deux absorbeurs sous les mêmes conditions climatiques. Les résultats ont montré que la production journalière d'eau distillé est améliorée de 16 % et de 25 %, par rapport au distillateur conventionnel, respectivement lorsque l'absorbeur à ailettes cylindriques est utilisé et lorsque l'absorbeur à fibre de métal

tissé est utilisé. Les rendements énergétiques sont de 42 %, 45,5 % et 52,5 % respectivement pour le distillateur solaire conventionnel, lorsque l'absorbeur à ailettes cylindres est utilisé et lorsque l'absorbeur à fibre de métal tissé est utilisé.

Enfin, [54] ont étudié l'impact d'ajouter des ailettes sur un absorbeur plat pour un distillateur solaire cylindrique. Les résultats ont montré que l'ajout d'ailettes améliore la productivité de 46,85 % par rapport au distillateur cylindrique avec absorbeur plat simple.

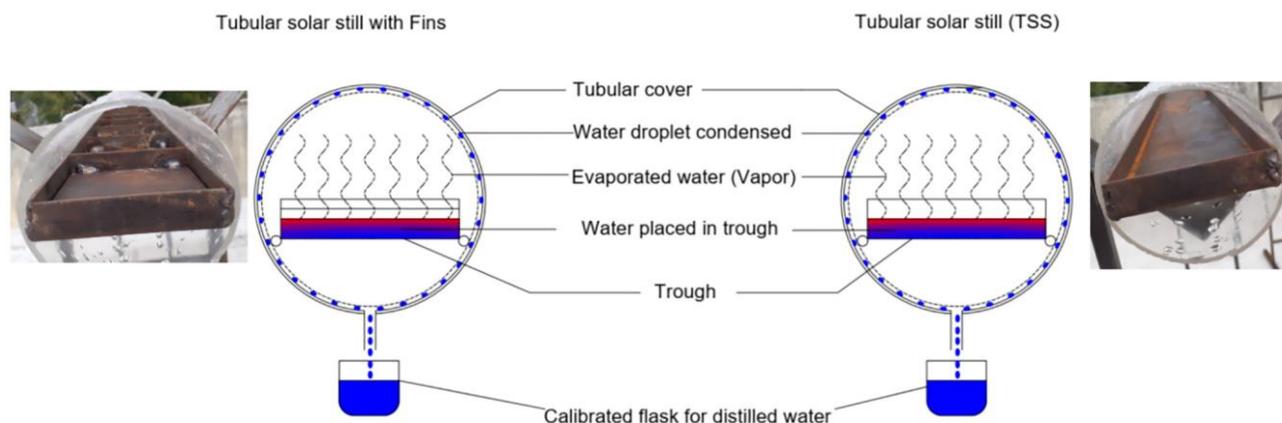


Fig.1.29 Distillateur solaire cylindrique avec absorbeur plat sans ailettes et avec ailettes

Synthèse des travaux : La revue de ces différentes études renseigne que l'ajout d'un matériau absorbeur améliore dans tous les cas la productivité en eau distillée des distillateurs solaire. Il est à noter cependant, que l'inertie thermique du matériau absorbant doit être prise en compte selon le mode de fonctionnement souhaité. Pour un fonctionnement se limitant uniquement en journée (en présence du soleil), le choix d'un matériau absorbant avec une inertie thermique faible est plus adapté. En effet, le système pourra monter rapidement en température et produire le maximum d'eau distillé en cours de journée. Par contre, pour un fonctionnement en continu (fonctionnement jour et nuit), le choix d'un absorbeur avec une inertie thermique importante est souhaité. La montée en température du système sera retardée, ce qui va impacter la production en cours de journée, mais le système pourra continuer à produire en l'absence de soleil ce qui va améliorer le rendement. Par ailleurs, la forme de l'absorbeur est aussi importante. En effet, les absorbeurs avec des ailettes, étagés ou ondulés offrent une plus grande surface d'échange thermique et améliore le débit d'évaporation du fluide.

B.3. Ajout de mèche dans les distillateurs solaires.

Les mèches sont généralement des tissus utilisées dans les distillateurs à bassin incliné. L'objectif de la mèche est de réduire la quantité d'eau à chauffer dans le bassin et ainsi atteindre rapidement de hautes températures de fonctionnement.

[55] ont mené une étude expérimentale sur un distillateur solaire à bassin incliné avec des tissus en toile de jute qui joue le rôle de mèche. La mèche est constituée d'une série de toile de jute morceaux de longueur croissante séparés par de fines feuilles de polyéthylène noir reposant sur une mousse isolante soutenue par un filet (Fig.1.30 *Distillateur solaire à bassin incliné et mèche en toile de jute.*). La partie supérieure des tissus sont plongées dans un réservoir d'eau salée. L'alimentation en eau salée des tissus se fait par capillarité. Les résultats ont montré que le rendement thermique du distillateur est de 34 % en comparaison au distillateur solaire type bassin conventionnel qui est au maximum de 30 %.

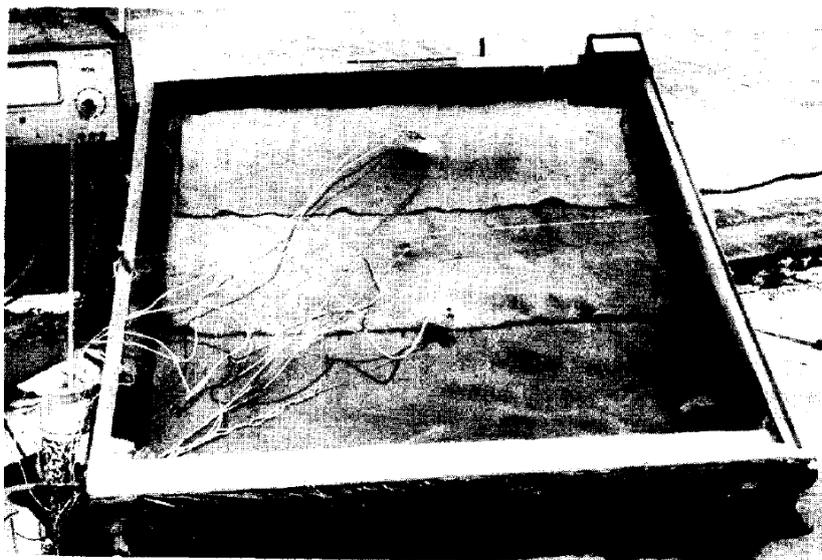


Fig.1.30 Distillateur solaire à bassin incliné et mèche en toile de jute.

[56] ont développé un distillateur solaire intégré constitué d'un distillateur solaire à bassin incliné équipé d'un mèche et d'un distillateur solaire conventionnel type bassin. L'eau chaude non évaporé qui quitte le distillateur solaire à bassin incliné avec mèche alimente en eau chaude le distillateur solaire type bassin. Ce dernier est intentionnellement ombré et son vitrage est refroidit avec une circulation d'eau afin d'augmenter le taux de condensation (Fig.1.31 Distillateur solaire intégré). Les résultats ont montré que le distillateur solaire intégré à une production annuelle d'eau distillée supérieur de 85 % à la production annuelle du distillateur conventionnel type bassin et de 43 % à la production annuelle du distillateur à bassin incliné avec mèche.

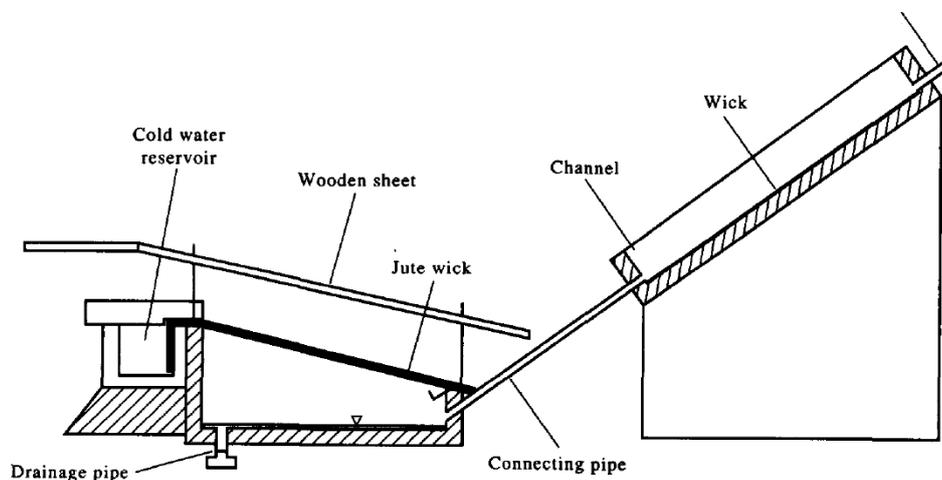


Fig.1.31 Distillateur solaire intégré [56]

[57] a étudié expérimentalement un distillateur solaire avec un bassin concave recouvert d'un tissu en toile de jute qui assure le rôle de mèche. Le distillateur est constitué de quatre façade en verre sous forme de pyramide pour la condensation. Les résultats ont montré que la production moyenne journalière est de 4,1 l/m² avec un rendement thermique instantané maximal de 45 %. Le rendement moyen journalier trouvé étant de 30 %.

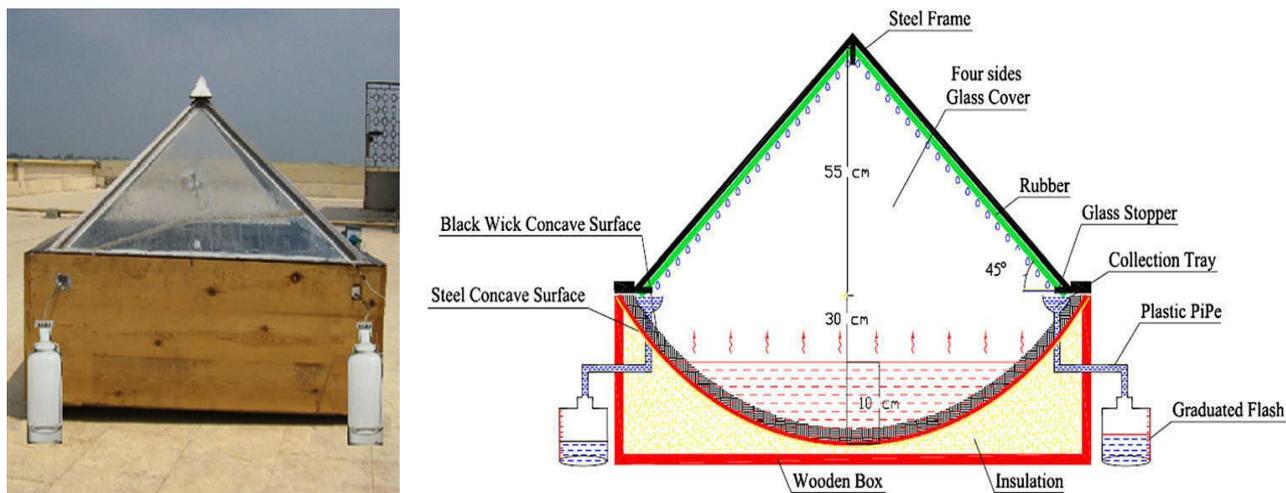


Fig.1.32 Distillateur solaire à bassin concave et vitrage pyramidale.

[58] ont étudié expérimentalement l'impact d'un tissu en charbon de bois, qui joue le rôle de mèche, sur les performances d'un distillateur à bassin incliné. Le rendement journalier du distillateur est autour de 53 % lors des jours éclairés d'été.

[59] ont étudié sur un distillateur à bassin incliné trois type de mèche que sont une éponge en polystyrène, une serviette lourde et du papier absorbant (Figure 1.34). Les résultats ont montré que la mèche en serviette lourde qui a, une porosité de 69,67 %, une durée d'absorption de 2 s et une élévation capillaire de 10 mm/h et un coefficient de transfert thermique de 34,21 W/m² °C, offre une meilleure productivité du distillateur solaire.



Fig.1.33 Mèches testés sur le distillateur solaire [58]

[60] ont étudié les performances d'un distillateur solaire conventionnel type bassin à fond ondulé avec ou sans mèche (Fig.1.34 Distillateur solaire type bassin à fond ondulé avec mèche). Le distillateur solaire à fond ondulé sans mèche à une productivité supérieure à 55,36 % qu'un distillateur solaire conventionnel type bassin. Avec l'ajout de la mèche, ce pourcentage passe à 90 % avec un rendement journalier de 49,3 %. Dans certains cas, des mèches mobiles sont mis en œuvre afin d'augmenter les performances des distillateurs solaires.

[61] ont mis en œuvre un distillateur solaire conventionnel type bassin avec une mèche verticale en rotation. Une mèche en tissu de couleur noir, qui touche en partie l'eau salée, est mis en rotation dans la partie arrière du distillateur afin d'augmenter la surface d'évaporation (Figure 1.36). Le distillateur a une production journalière de 5,03 kg/m² et de 7,17 kg/m² respectivement en hivers et en été. De plus, la production d'eau

distillé du distillateur avec la mèche mobile est supérieure de 14,72 % et de 51,1 %, respectivement en été et en hivers, à la production en eau distillé du distillateur conventionnel type bassin.

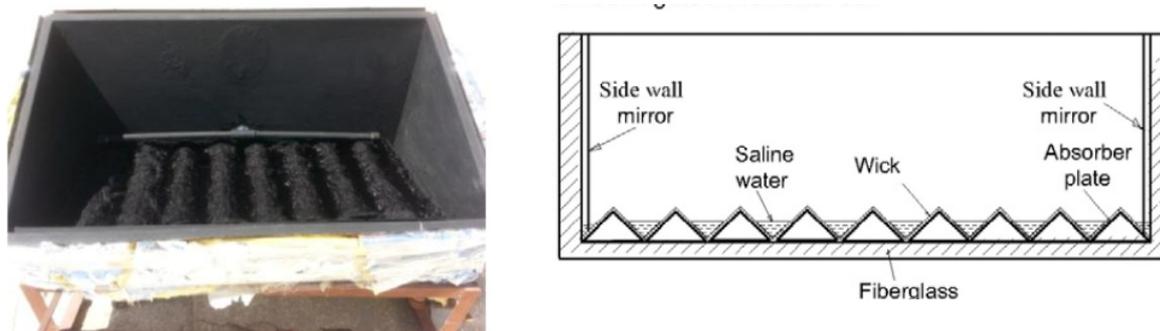


Fig.1.34 Distillateur solaire type bassin à fond ondulé avec mèche [60]

[61] ont mis en œuvre un distillateur solaire conventionnel type bassin avec une mèche verticale en rotation. Une mèche en tissus de couleur noir, qui touche en partie l'eau salée, est mis en rotation dans la partie arrière du distillateur afin d'augmenter la surface d'évaporation (Figure 1.36). Le distillateur a une production journalière de 5,03 kg/m² et de 7,17 kg/m² respectivement en hivers et en été. De plus, la production d'eau distillé du distillateur avec la mèche mobile est supérieure de 14,72 % et de 51,1 %, respectivement en été et en hivers, à la production en eau distillé du distillateur conventionnel type bassin.

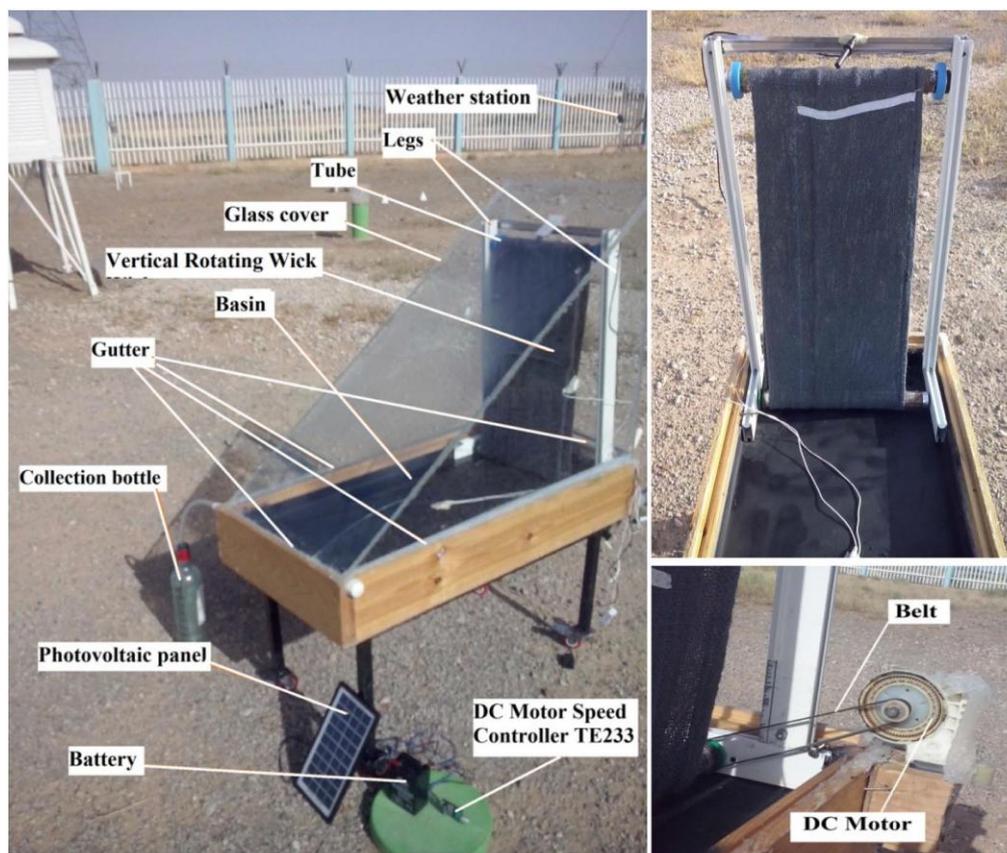


Fig.1.35 Distillateur solaire type bassin avec mèche verticale mobile.

[62] ont réalisé un distillateur solaire type bassin incliné avec mèche mobile (Figure 1.37). Une partie de la mèche est plongée dans l'eau d'alimentation et l'objectif des travaux est de déterminer le meilleur temps de mis

en rotation et d'arrêt de la mèche mobile. Les résultats ont montré que pour une production maximale, le temps de mis en rotation de la mèche est de 30 secondes et le temps d'arrêt de 25 minutes.

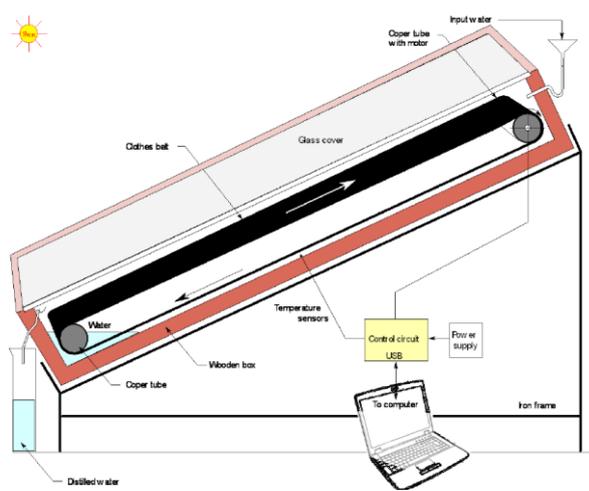


Fig.1.36 Distillateur solaire à bassin incliné et mèche mobile [62]

Synthèse des travaux : L'ajout de mèche dans les distillateurs solaires améliore aussi la productivité en eau distillé. En effet, l'eau dans le bassin est remplacée par un tissu en permanence humide ce qui réduit le temps de monter en température du système et améliore la productivité en cours de journée.

B.4. Distillateur solaire multi bassin

Les distillateurs solaires multi-bassin fonctionnent comme des systèmes de distillation multi-effet. La chaleur récupérée par la condensation de la vapeur du premier bassin est utilisée pour chauffer l'eau du deuxième bassin.

[63] ont développé deux modèles théoriques optimisés de distillateurs solaires. Le premier est un distillateur solaire conventionnel type bassin simple pente. Le deuxième est un distillateur solaire double effet avec deux bassins superposés (Figure 1.38). Les deux modèles ont été simulés sous les conditions climatiques de OMAN. Les résultats ont donné des productions moyennes annuelles de $4,15 \text{ kg/m}^2/\text{jour}$ et de $6 \text{ kg/m}^2/\text{jour}$ respectivement pour le distillateur solaire conventionnel à simple bassin et pour celui à double bassin. L'analyse technico-économique a aussi donné que les coûts de production sont de $16,3 \text{ \$/m}^3$ et de $13,7 \text{ \$/m}^3$ respectivement pour le distillateur solaire conventionnel et pour celui à double bassin.

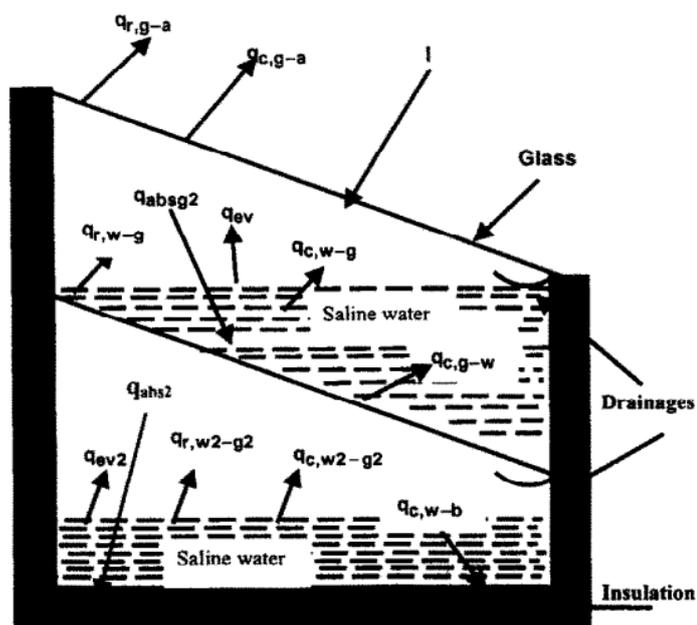
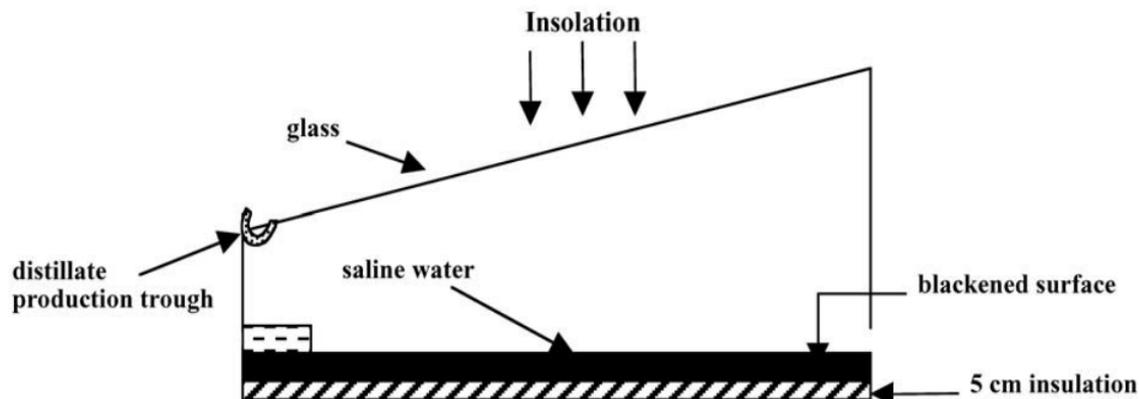


Fig.1.37 Distillateur solaire double bassin [63]

[64] ont réalisé et étudié à Bahreïn deux prototypes de distillateur solaire (simple bassin et double bassin) (Figure 1.39). La couverture en verre du bac supérieur du distillateur à deux bacs est inclinée à 12° tandis que celle du distillateur conventionnel est inclinée à 36° . L'étude expérimentale a été menée sur 5 mois de Février à Juin et les résultats ont montré que la production moyenne journalière du distillateur double bassins est 40% supérieure à celle du distillateur conventionnel.



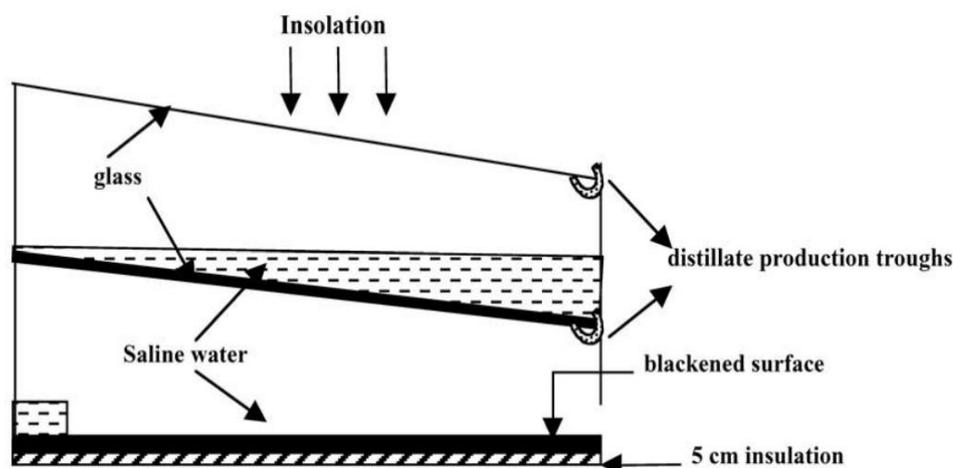


Fig.1.38 Etude expérimentale comparative distillateur solaire simple et double bassin.

[65] ont étudié une nouvelle technique pour améliorer les performance des distillateur solaire conventionnel. La nouvelle technique consiste à introduire un autre bassin à l'intérieur d'un distillateur solaire double pentes (*Fig.1.39 Etude expérimentale distillateur simple bassin double pente et distillateur double bassins double pentes*). Les performances du nouveau distillateur ont été comparées aux performances d'un autre distillateur simple bassin double pente sous les conditions climatiques de Kavilpatti ($9^{\circ} 11'N$, $77^{\circ} 52'E$) en Inde. L'étude expérimentale a été menée pour différentes profondeurs d'eau dans le bassin, différents matériaux utilisés comme mèche, des matériaux poreux ainsi que des matériaux capables de stocker de l'énergie. Les résultats ont donné que, pour les deux distillateurs, plus la profondeur de l'eau dans le bassin augmente, moins la production est importante. Par ailleurs, pour les mêmes conditions climatiques, la production d'eau douce du distillateur solaire double bassin double pente est de 85 % plus élevé que celle du distillateur solaire simple bassin double pente.

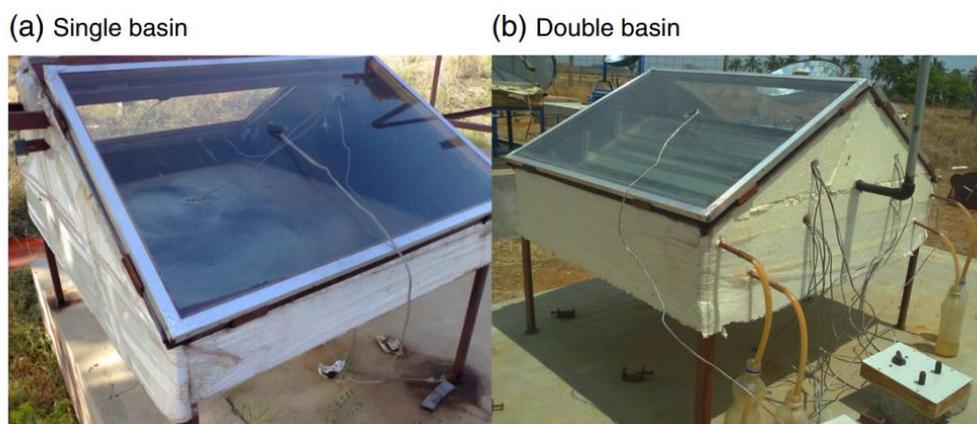


Fig.1.39 Etude expérimentale distillateur simple bassin double pente et distillateur double bassins double pentes [65]

[66] ont développer un programme informatique pour simuler l'effet de l'orientation (Est-Ouest), (Nord-sud) sur les performances d'un distillateur solaire simple bassin double pente symétrique, et d'un distillateur double bassin simple pente asymétrique (Figure 1.41). Les simulations ont été effectuées sous les conditions climatiques de Constantine en Algérie. Les résultats de la simulation ont montré que l'angle d'inclinaison optimum des couvertures en verre des deux distillateurs est de 10° . De plus, la profondeur de l'eau à l'intérieur des bacs qui permet d'obtenir une production journalière maximale est de 0,02 m. L'orientation Nord-Sud permet d'obtenir une stabilité de l'ensoleillement qui rentre dans les bacs. Il a été aussi noté que, la production journalière du distillateur solaire simple pente double bassins est supérieur de 22,57% et de 16,23

% à celle du distillateur solaire double pentes simple bassin lorsque les deux systèmes sont orientés respectivement Nord-Sud et Est-Ouest. Enfin, La production journalière du distillateur solaire double bassin simple pente augmente de 16,76 % lorsqu'il est orienté dans la direction Nord-Sud.

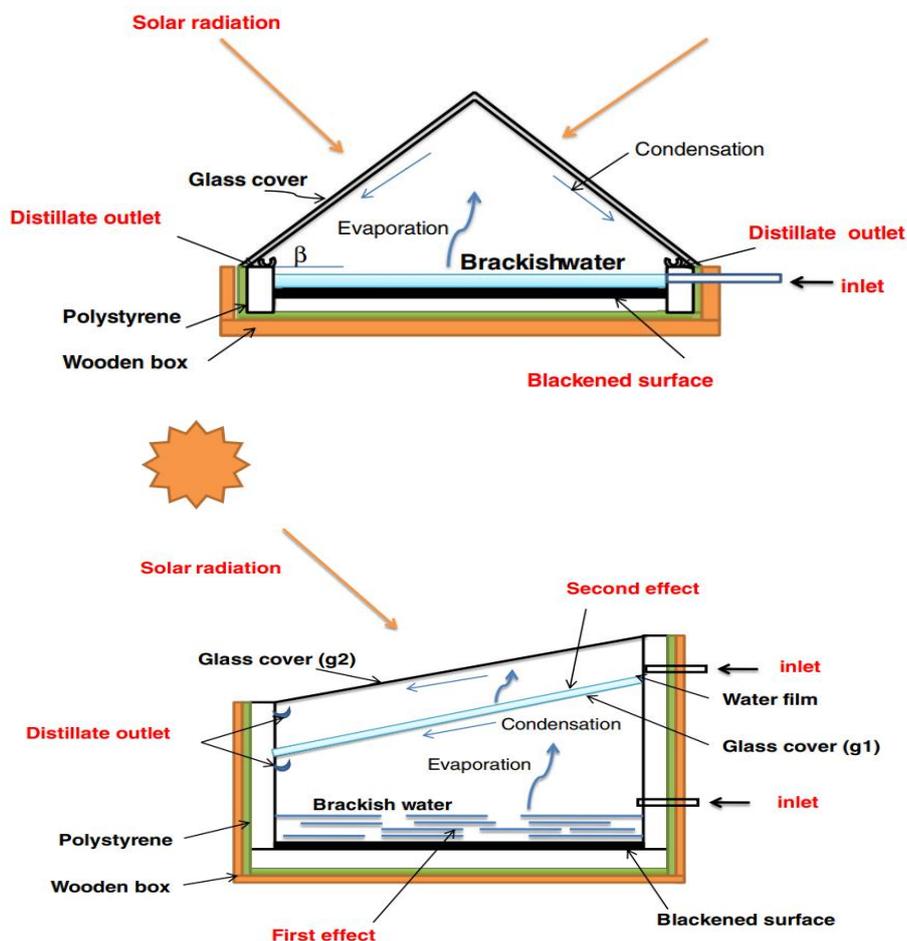


Fig.1.40 Etude numérique comparative d'un distillateur simple bassin double pentes et d'un distillateur solaire double bassin simple pente

En 2019, [67] ont réalisé une investigation expérimentale d'un distillateur solaire double pente, double bassin avec incorporation d'un matériau à changement de phase (Figure 1.42). Les résultats ont montré que le système proposé est plus performant que les distillateurs solaires conventionnelles avec une production journalière de 4,596 litre par jour et un rendement énergétique de 27,21 %.

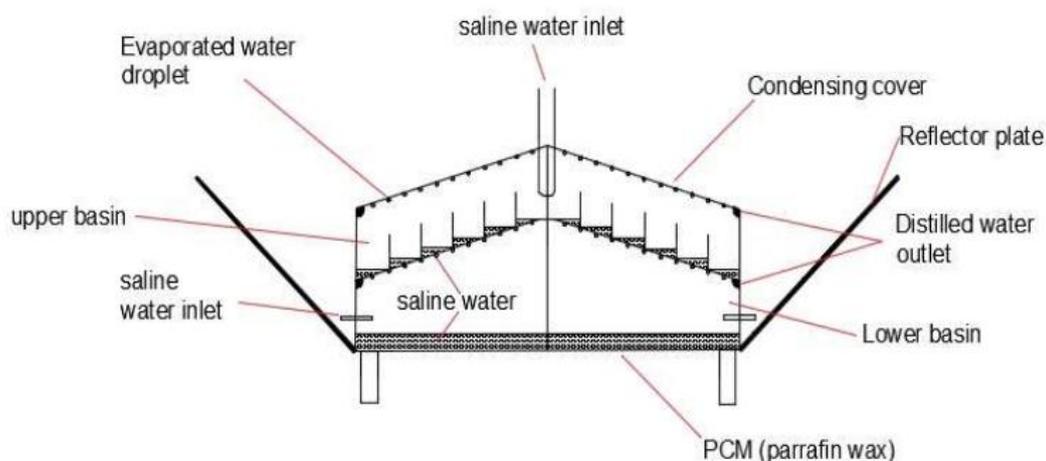


Fig.1.41 Distillateur solaire double bassin et double pente avec matériau à changement de phase.

Synthèse des travaux : L'utilisation de plusieurs bassins afin de récupérer l'énergie de condensation généralement perdu dans l'environnement permet d'améliorer les performances des distillateurs solaires. Cependant le système est beaucoup plus complexe à mettre en œuvre pour un gain en moyenne de 50 %.

C. Modification portant sur l'ajout d'un condenseur

Un condenseur peut être prévu sur un distillateur solaire afin d'augmenter la surface de condensation et ainsi la quantité d'eau produite. Un condenseur peut être interne ou externe. Un condenseur interne est construit à l'intérieur du distillateur et est orienté de sorte que les rayons solaires ne l'atteignent le moins possible. Un condenseur externe est construit à l'extérieur du distillateur solaire et est connecté à lui grâce à un conduit de passage.

[68] ont mené une étude numérique et expérimentale sur un distillateur solaire type bassin muni d'un condenseur externe (Figure 1.43). L'étude, qui a pour but de déterminer les modes de transfert de masse du distillateur vers le condenseur externe. Les résultats ont montré que 75 % de la production d'eau distillée est dû à la circulation naturelle. Par ailleurs, l'ajout du condenseur permet d'améliorer le rendement du distillateur de 50 %.

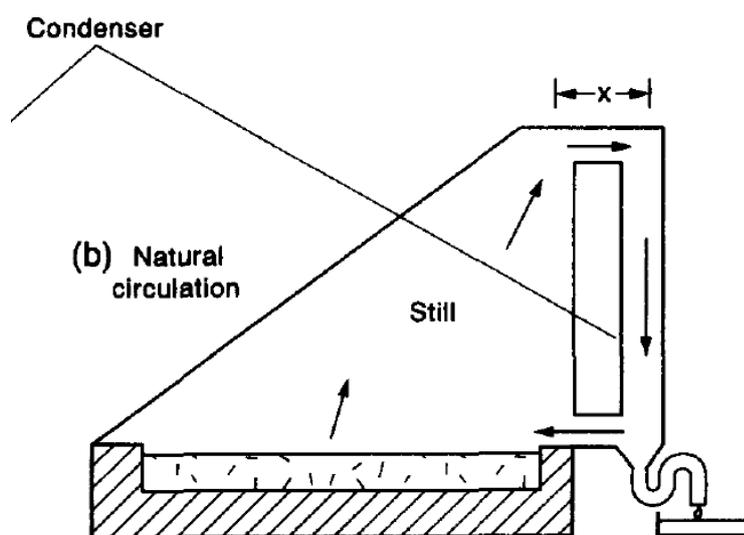


Fig.1.42 Distillateur solaire conventionnel type bassin avec condenseur externe [68]

[69] ont réalisé un distillateur solaire conventionnel type bassin avec une faible inclinaison de la couverture en verre et muni d'un réflecteur et d'un condenseur externe (Figure 1.44). La production journalière du distillateur trouvée est supérieure 7 l/m^2 pour un fonctionnement de 8 h durant la journée. L'ajout d'un condenseur externe, permet d'améliorer le rendement de plus de 75 % durant la période de juin à Aout. En l'absence du condenseur externe, le rendement du distillateur décroît de 70 %.

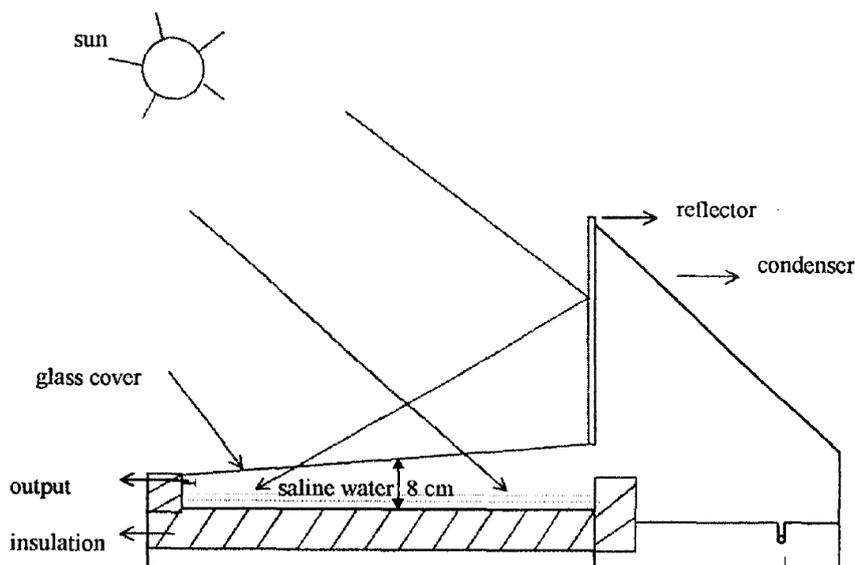


Fig.1.43 Distillateur solaire type bassin conventionnel avec condenseur externe [69]

[70] ont réalisé une étude numérique sur une distillateur type bassin multi-effet avec un bassin principale et 2 bassins secondaires. Les performances du système sont comparées aux performances d'un distillateur solaire conventionnel type bassin. Les résultats ont montré que la productivité en eau distillée du distillateur multi-effet est de 62 % supérieure à la productivité du distillateur solaire conventionnel type bassin. Le premier, deuxième et troisième effet contribue à hauteur de 60 %, 22 % et 18 % respectivement sur la production totale d'eau distillée.

[71] ont mené une étude important pour étudier les effets du transfert de masse vers le condenseur. L'objectif est de voir la prédominance entre les effets de purge, circulation naturelle et de diffusion. Trois prototypes ont été réalisé pour l'étude expérimentale. Un premier distillateur de type bassin conventionnel (Figure 1.45), un deuxième distillateur avec deux condenseurs externes connectés sur sa partie supérieure (Figure 1.46) et un troisième distillateur avec deux condenseurs connectés sur sa partie supérieure et sa partie inférieure (Figure 1.47). Le distillateur type bassin avec les condenseurs externes connectés sur la partie supérieure a une production d'eau distillée supérieure de 15,1 %, 15,08 % et 16,6 % à la production d'eau distillée pour les saisons d'été, d'automne et d'hivers. Par ailleurs, le distillateur type bassin avec les condenseurs externes connectés sur la partie supérieure et sur la partie inférieure a une production d'eau distillée supérieure de 30,54 %, 33,6 % et 35,8 % à la production d'eau distillée pour les saisons d'été, d'automne et d'hivers.

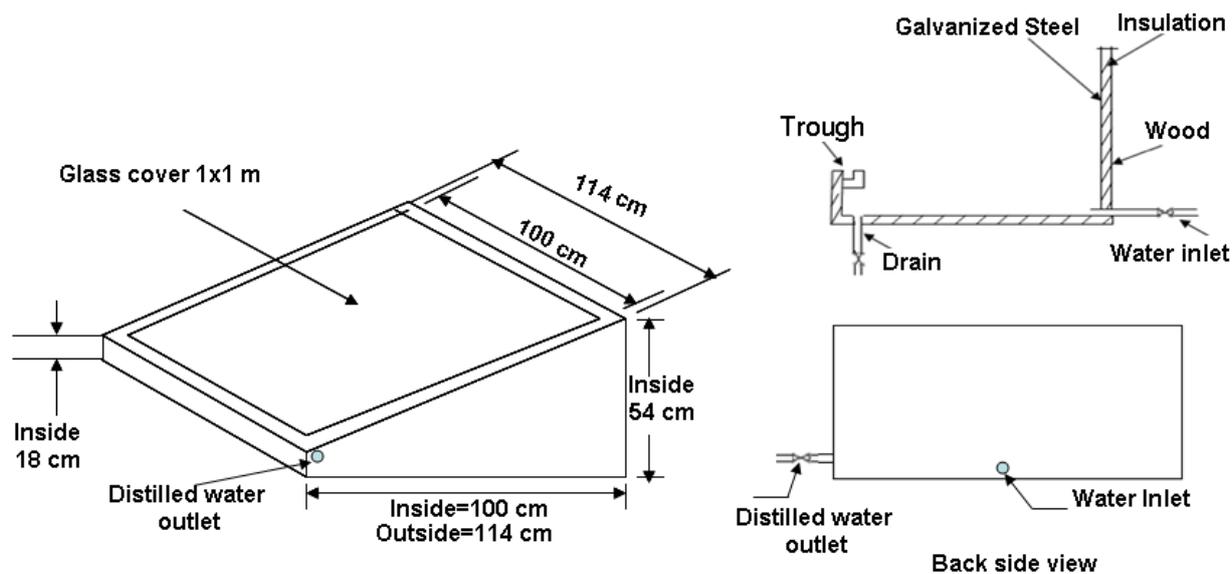


Fig.1.44 Distillateur solaire conventionnel type bassin [71]

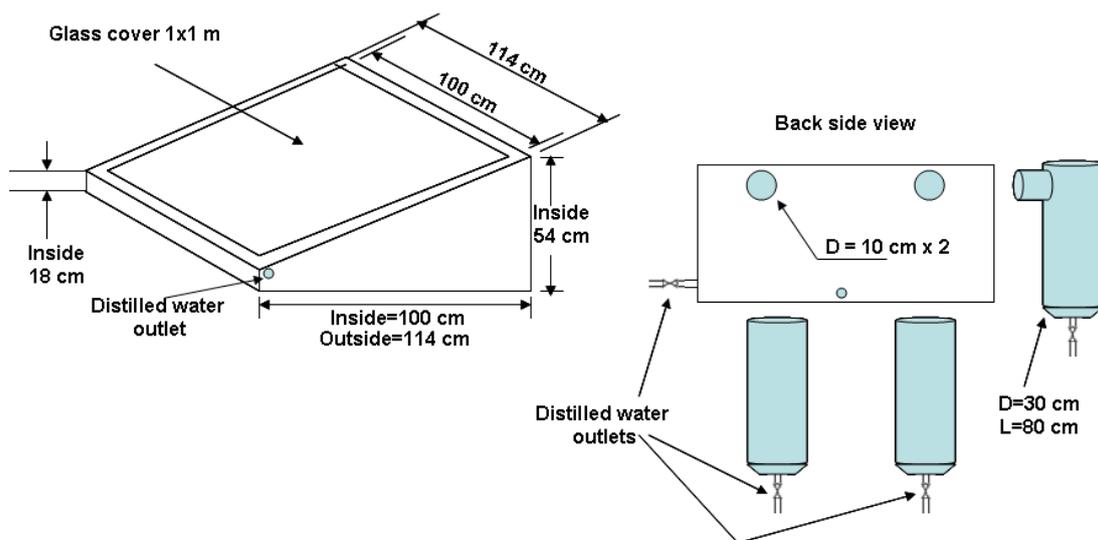


Figure 1.45 Distillateur solaire type bassin avec condenseurs connectés sur la partie supérieure [71]

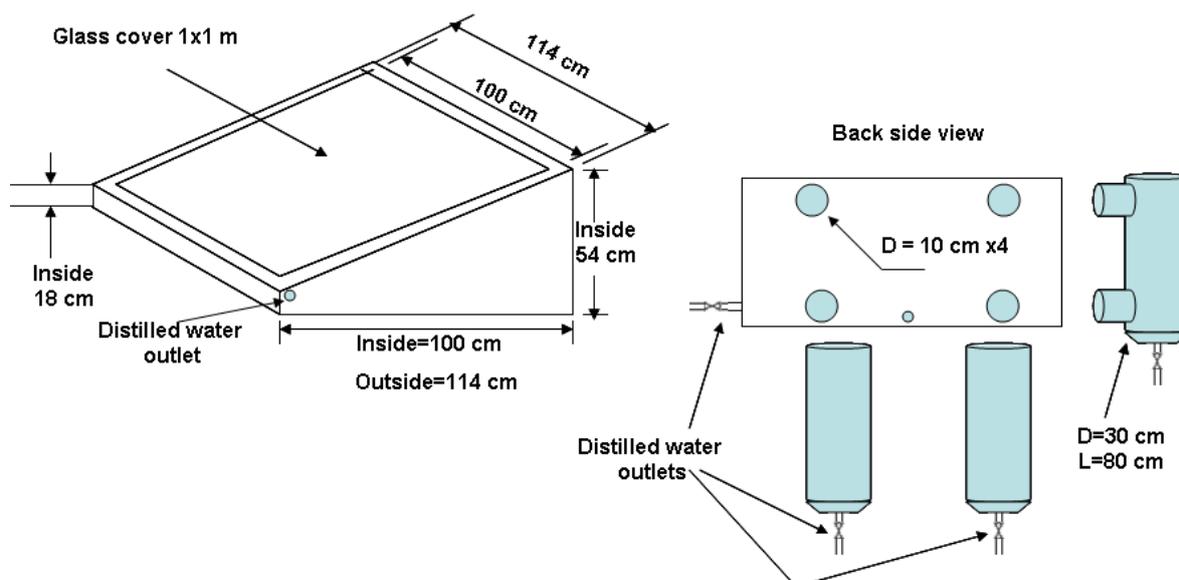


Fig.1.46 Distillateur solaire type bassin avec condenseurs connectés sur la partie supérieur et sur la partie inférieur [71]

[72] ont réalisé un prototype de laboratoire d'un distillateur solaire conventionnel type bassin de $1,8 \text{ m}^2$ équipé d'un condenseur externe en plastique (Figure 1.48). Les tests réalisés en laboratoire ont montré une production horaire d'eau distillé de $0,75 \text{ l}$ qui passe à $0,95 \text{ l}$ lorsque s'il y a un flux d'air qui circule à travers le condenseur pour simuler l'effet du vent.

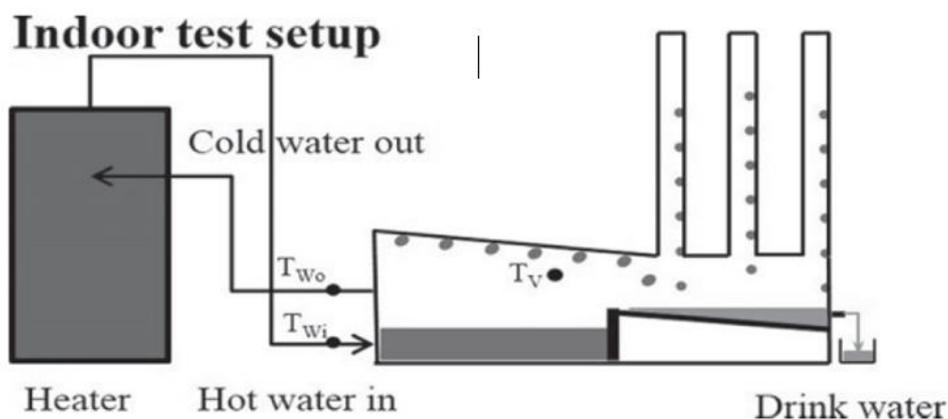


Fig.1.47 Distillateur solaire avec condenseur externe en plastique [72]

[73] ont réaliser une étude expérimentale pour évaluer l'apport sur les performances d'un distillateur solaire conventionnel type bassin équipé d'un condenseur interne (Figure 1.49). Les résultats ont montré que l'ajout d'un condenseur interne améliore la production d'eau distillée de $16,7 \%$.

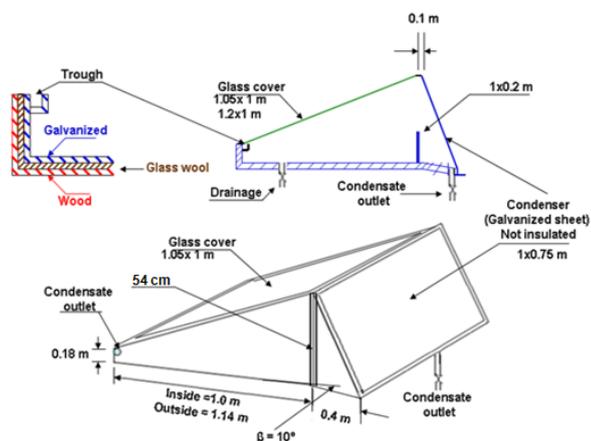


Figure 1.48 Distillateur solaire avec condenseur interne intégré [73]

Synthèse des travaux : L'ajout d'un condenseur externe améliore grandement le rendement des distillateurs solaires. Les condenseurs externes ont un impact supérieur au condenseur interne du fait de la prédominance de l'effet de la circulation naturelle sur l'effet de la purge lors des transferts de masse de vapeur vers le condenseur.

III. CONCLUSION

Cette étude bibliographique a permis de comparer de manière critique les différentes études portant sur les modifications sur les distillateurs solaires et de tirer des conclusions sur les effets de ces modifications sur les performances et le fonctionnement des distillateurs solaires. La remarque générale que nous pouvons en tirer est que chaque modification peut permettre d'améliorer les performances des distillateurs solaires, cependant leur mise en œuvre doit être maîtrisée. En effet, dans certains cas, l'effets de ces modifications peut affecter négativement les performances du distillateur solaire.

REFERENCES

- [1] H.N.Singh, SanjeevKumar et G.N.Tiwari, «Annual performance of an active solar distillation system,» *Desalination*, pp. 79-88, 2000.
- [2] B. Nayfeh, «Experimental study of the basin type solar still under local climate conditions,» *Energy Conversion and Management*, pp. 883-890, 2000.
- [3] H. A. Hikmet Ş. Aybar, «Simulation of a solar still to investigate water depth and glass angle,» *Desalination and Water Treatment*, pp. 1944-3986, 2009.
- [4] H. Singh, «Monthly performance of passive and active solar stills for different Indian climatic conditions,» *Desalination*, pp. 145 - 150, 2004.
- [5] A. Azooza et G. G. Younis, «Effect of glass inclination angle on solar still performance,» *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2016.
- [6] M. Keshtkar, M. Eslami et K. Jafarpur, «Effect of design parameters on performance of passive basin solar stills,» *Solar Energy*, pp. 884 - 907, 2020.
- [7] H. Fath, M. El-Samanoudy, K. Fahmy et A. Hassabou, «THERMAL - ECONOMICAL ANALYSIS AND COMPARISON BETWEEN PYRAMID CONFIGURATION AND SIGNAL SLOPE SOLAR STILLs,» *Seventh*

International Water Technology Conference Egypt, 2003.

- [8] P. Wassouf, T. Peska, R. Singh et A. Akbarzadeh, «Novel and low cost designs of portable solar stills,» *Desalination*, pp. 294 - 302, 2011.
- [9] R. Sathyamurthy, H. J. Kennady, P. Nagarajan et A. Ahsan, «Factors affecting the performance of triangular pyramid solar still,» *Desalination*, pp. 383 - 390, 2014.
- [10] W. M. El-Maghlany, «An approach to optimization of double slope solar still geometry for maximum collected solar energy,» *Alexandria Engineering Journal*, pp. 823 - 828, 2015.
- [11] P. Suneesh, J. Paul, R. Jayaprakash, S. Kumar et D. Denkenberger, «Augmentation of distillate yield in “V”-type inclined wick solar still with cotton gauze cooling under regenerative effect,» *Cogent Engineering*, 2016.
- [12] Y. Hitesh Panchal, «Economic and Exergy investigation of triangular pyramid solar still integrated to inclined solar still with baffles,» *International Journal of Ambient Energy*, 2017.
- [13] P. Pal, R. Dev, D. Singh et A. Ahsan, «Energy matrices, exergoeconomic and enviroeconomic analysis of modified,» *Desalination*, 2018.
- [14] A. Manokar, K.Kalidasa et G.Esakkimuthu, «Different parameters affecting the rate of evaporation and condensation on passive solarstill – A review,» *RenewableandSustainableEnergyReviews*, p. 309–322, 2014.
- [15] H. N. Panchal et D. P. K. Shah, «Effect of Varying Glass cover thickness on Performance of Solar still: in a Winter Climate Conditions,» *International Journal Of Renewable Energy Research, IJRES*, pp. 212-223, 2011.
- [16] G. TIWARI et V. B. RAO, «TRANSIENT PERFORMANCE OF A SINGLE BASIN SOLAR STILL WITH WATER FLOWING OVER THE GLASS COVER*,» *Desalination*, pp. 231-241, 1984.
- [17] V. BAPESHWAR et G. N. TIWARI, «Effect of Water Flow over the Glass on the Performance of a Solar Still Coupled with a Flat Plate Solar collector,» *Solar Energy*, pp. 277-288 , 1984.
- [18] S. A. LAWRENCE, S. P. GUPTA et G. N. TIWARI, «EFFECT OF HEAT CAPACITY ON THE PERFORMANCE OF SOLAR STILL WITH WATER FLOW OVER THE GLASS COVER,» *Energy Convers*, pp. 277-285,, 1990.
- [19] S. K. SINGH et G. N. TIWARI, «ANALYTICAL EXPRESSION FOR THERMAL EFFICIENCY OF A PASSIVE SOLAR STILL,» *Energy Convers*, pp. 571-576, 1991.
- [20] B. A. Abu-Hijleh, «Enhanced solar still performance using water film cooling of the glass cover,» *Desalination*, pp. 235-244 , 1996.
- [21] Y. El-Samadony et A. Kabeel, «Theoretical estimation of the optimum glass cover water film cooling parameters combinations of a stepped solar still,» *ENERGY*, pp. 1-7, 2014.
- [22] B. Janarthana, J. Chandrasekaran et S. Kumar, «Performance of floating cum tilted-wick type solar still with the effect of water flowing over the glass cover,» *Desalination*, p. 51–62, 2006.
- [23] T. Arunkumar, R. Jayaprakash, D. Denkenberger, A. Ahsan, M. Okundamiya, S. kumar, H. Tanaka et H. Aybar, «An experimental study on a hemispherical solar still,» *Desalination*, pp. 342-348, 2012.
- [24] M. Morad, H. A. El-Maghawry et K. I. Wasfy, «Improving the double slope solar still performance by using flat-plate solar collector and cooling glass cover,» *Desalination*, pp. 1-9, 2015.
- [25] S. Sharshir, G. Peng, L. Wu, N. Yang, F. Essa, A. Elsheikh, S. I. Mohamed et A. Kabeel, «Enhancing the solar still performance using nanofluids and glass cover cooling: Experimental study,» *Applied Thermal Engineering*, p. 684–693, 2017.

- [26] R. N. MORSE et W. R. W. READ, «A RATIONAL BASIS FOR THE ENGINEERING DEVELOPMENT OF A SOLAR STILL*,» *Solar Energy*, pp. 5-17, 1968.
- [27] A. El-Sebaili, «Effect of wind speed on some designs of solar stills,» *Energy Conversion & Management*, p. 523±538, 2000.
- [28] M. Boukar et A. Harmim, «Effect of climatic conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study,» *Desalination*, pp. 15-22, 2001.
- [29] El-Sebaili, «Effect of wind speed on active and passive solar stills,» *Energy Conversion and Management*, p. 1187–1204, 2004.
- [30] A. S. Nafey, M. Abdelkader, A. Abdelmotalip et A. Mabrouk, «Parameters affecting solar still productivity,» *Energy Conversion & Management*, p. 1797±1809, 2000.
- [31] P. I. COOPER*, «DIGITAL SIMULATION OF TRANSIENT SOLAR STILL PROCESSES,» *Solar Energy*, pp. 313-331, 1969.
- [32] M. FARID et F. HAMAD, «Performance of a single-basin solar still,» *Renel*ahh, Energy*, p. 75 83, 1993.
- [33] H. P. Garg et H. S. Mann, «Effect of climatic, operational and design parameters on the year round performance of single slope and double slope solar still under Indian arid zone conditions,» *Solar Energy*, p. 159–164, 1976.
- [34] B. Akash, M. Mohsen et W. Nayfeh, «Experimental study of the basin type solar still under local climatic conditions,» *Energy Conversion and Management 41*, p. 883–890, 2000.
- [35] G. N. TIWARI et MADHURI, «Effect of Water Depth on Daily Yield of the Still,» *Desahnatwn, 61*, pp. 67-75, 1987.
- [36] A. K. Tiwari et G. Tiwari, «Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition.,» *Desalination 195*, p. 78–94, 2006.
- [37] A. K. Tiwari et G. Tiwari, «Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: The effect of water depths,» *Desalination 207*, p. 184–204, 2007.
- [38] H. Taghvaei, H. Taghvaei, K. Jafarpur, M. K. Estahbanati, M. Feilizadeh, M. Feilizadeh et A. S. Ardekani, «A thorough investigation of the effects of water depth on the performance of active solar stills,» *Desalination 347*, p. 77–85, 2014.
- [39] M. Ahmed, M. Hrairi et A. Ismail, «On the characteristics of multistage evacuated solar distillation,» *Renewable Energy 34*, pp. 1471-1478, 2009.
- [40] M. Feilizadeh, M. K. Estahbanati, A. Ahsan, K. Jafarpur et A. Mersaghian, «Effects of water and basin depths in single basin solar stills: An experimental and theoretical study,» *Energy Conversion and Management 122*, p. 174–181, 2016.
- [41] J. A. Duffie, «New Materials in Solar Energy Utilization,» *Sol. Energy*, p. 114, 1969.
- [42] G. Bansal, D. B. Singh, C. Kishore et V. Dogra, «Effect of Absorbing Material on the performance of solar still: A mini review,» *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [43] B. A. AKASH, M. S. MOHSEN, O. OSTA et Y. ELAYAN, «EXPERIMENTAL EVALUATION OF A SINGLE-BASIN SOLAR STILL USING DIFFERENT ABSORBING MATERIALS,» *Renewable Energy, 14*, pp. 307-310, 1998.
- [44] S. Abdallah, M. M. Abu-Khader et O. Badran, «Effect of various absorbing materials on the thermal performance of solar stills,» *De salination 242*, p. 128–137, 2009.

- [45] H. N. Panchal, M. Doshi, P. Chavda et R. Goswami, «Effect of Cow dung cakes inside basin on heat transfer coefficients and productivity of single basin single slope solar still,» *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING RESEARCH, DINDIGUL Volume 1*, 2011.
- [46] R. Gugulothu, N. S. Somanchi, S. R. D. R et H. B. Banoth, «Experimental Investigations on Performance Evaluation of a Single Basin Solar Still Using Different Energy Absorbing Materials,» *Aquatic Procedia 4*, p. 1483 – 1491, 2015.
- [47] L. Sahota et G. Tiwari, «Effect of Al₂O₃ nanoparticles on the performance of passive double slope solar still,» *Solar Energy 130*, p. 260–272, 2016.
- [48] S. Sharshir, G. Peng, L. Wu, F. Essa, A. Kabeel et N. Yang, *The effects of flake graphite nanoparticles, phase change material, and film cooling on the solar still performance*, *Applied Energy*, p. 358–366, 2017.
- [49] V. Ramanathan, B. Kanimozhi et V. K. Bhojwani, «Experimental study on productivity of modified single-basin solar still with a flat plate absorber,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017.
- [50] H. Panchal et D. K. Patel, «Theoretical and experimental performance analysis of sandstones and marble pieces as thermal energy storage materials inside solar stills,» *International Journal of Ambient Energy*, 2017.
- [51] R. S. Hansen et K. K. Murugavel, *Enhancement of integrated solar still using different new absorber configuration: An experimental approach*, *Desalination*, p. 59–67, 2017.
- [52] H. R. Goshayeshi et M. R. Safaei, «Effect of absorber plate surface shape and glass cover inclination angle on the performance of a passive solar still,» *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 2020.
- [53] M. S. Yousef, H. Hassan et H. Sekiguchi, «Energy, exergy, economic and enviroeconomic (4E) analyses of solar distillation system using different absorbing materials,» *Applied Thermal Engineering*, p. 30–41, 2019.
- [54] R. Sathyamurthy, D. Mageshbabu, B. Madhu, A. M. Manokar et A. R. Prasad, «Influence of fins on the absorber plate of tubular solar still- An experimental study,» *Materials Today: Proceedings*, 2020.
- [55] M. S. SODH, A. KUMA, G. N. TIWAR et R. C. TYAGI, «SIMPLE MULTIPLE WICK SOLAR STILL : ANALYSIS AND PERFORMANCE,» *Solar Energy*, pp. 127-131, 1981.
- [56] A. N. MINASIAN et A. A. AL-KARAGHOUL, «AN IMPROVED SOLAR STILL: THE WICK-BASIN TYPE,» *Energy Convers. Mgm*, pp. 213-217, 1995.
- [57] A. Kabeel, «Performance of solar still with a concave wick evaporation surface,» *Energy*, p. 1504–1509, 2009.
- [58] J. Mahdi, B. Smith et A. Sharif, «An experimental wick-type solar still system: Design and construction,» *Desalination*, p. 233–238, 2011.
- [59] R. S. Hansen, C. S. Narayanan et K. K. Murugavel, «Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh,» *Desalination*, p. 1–8, 2015.
- [60] Z. Omara, A. Kabeel, A. Abdullah et F. Essa, «Experimental investigation of corrugated absorber solar still with wick and reflectors,» *Desalination*, p. 111–116, 2016.
- [61] Z. Haddad, A. Chaker et A. Rahmani, «Improving the basin type solar still performances using a vertical rotating wick,» *Desalination*, p. 71–78, 2017.
- [62] H. E. Gad, S. M. El-Gayar et H. E. Gad, «PERFORMANCE OF A SOLAR STILL WITH CLOTHES MOVING WICK,» *Fifteenth International Water Technology Conference*, 2016.
- [63] M. A.-N. B. J. Hilal Al-Hinai, «Parametric investigation of a double-e-eGt solar still in comparison with a single-effect solar still,» *Desalination*, pp. 75 - 83, 2002.

- [64] A. Al-Karaghoul et W. Alnaser, «Experimental comparative study of the performances of single and double basin solar-stills,» *APPLIED ENERGY*, pp. 317 - 325, 2004.
- [65] T. Rajaseenivasan, T. Elango et K. K. Murugavel, «Comparative study of double basin and single basin solar stills,» *Desalination*, pp. 27 - 31, 2013.
- [66] T. Abderachid et K. Abdenacer, «Effect of orientation on the performance of a symmetric solar still with a double effect solar still (comparison study),» *Desalination*, pp. 68 - 77, 2013.
- [67] A. R. DHURWEY, V. P. KATEKAR et S. S. DESHMUKH, «AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF DOUBLE BASIN, DOUBLE SLOPE, STEPPED SOLAR DISTILLATION SYSTEM,» *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, pp. 200-206, 2019.
- [68] F. HASSAN E. S et S. M. ELSHERBINY, «EFFECT OF ADDING A PASSIVE CONDENSER ON SOLAR STILL PERFORMANCE,» *Energy Convers. Mgmt*, pp. 63-72, 1993.
- [69] A. El-Bahi et D. Inan, «A solar still with minimum inclination, coupled to an outside condenser,» *DESALINATION*, pp. 79-83, 1999.
- [70] A. Madhlopa et C. Johnstone, «Numerical study of a passive solar still with separate condenser,» *Renewable Energy*, p. 1668–1677, 2009.
- [71] H. M. Ahmed, *Seasonal performance evaluation of solar stills connected to passive external condensers, Scientific Research and Essays*, pp. 444-1460, 2012.
- [72] R. Bhardwaj, M. t. Kortenaar et R. Mudde, «Inflatable plastic solar still with passive condenser for single family use,» *Desalination*, p. 151–156, 2016.
- [73] H. M. Ahmed, G. Ibrahim et G. C. Talisic, «Thermal Performance of a Conventional Solar Still with a Built-in Passive Condenser: Experimental studies,» *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, pp. 1-12, 2017.
- [74] F. K. Z. S. Ahmed Rahma, «Experimental investigation on the negative effect of the external condenser on the negative effect of the external condenser on the conventional solar still performance,» *Desalination*, p. 501, 2021.
- [75] H. Dinesh Mevada, «Investigation on evacuated tube coupled solar stil with condenser and fins: Experimental, exergo-economic and exergo-environment analysis,» *Case studies inCase Studies in Thermal Engineering*, p. 27, 2021.
- [76] A. El Sebail, «Advanced designs of solar desalination systems: a review,» *Sustain. Energy*, pp. 661 - 675, 2015.
- [77] A. Hanson, «Distillate water quality of a single-bassin solar still: Laboratory and field studies,» *Sol. Energy*, pp. 635 - 645, 2004.
- [78] G. Tiwari, «Present status of solar distillation.,» *Sol. Energy*, pp. 367 - 373, 2003.
- [79] S.Varun Raj, «Design and analysis of solar still,» *Mater.Today*, pp. 9179 - 9185, 2017.
- [80] K. SA, «Seawater desalination using renewable energy sources,» *Progress in Energy and Combustion Science*, p. 31:242–81, 2005.
- [81] Y. Chennan Li, «Solar assisted sea water desalination: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 136 - 163, 2013.
- [82] «Face au manque d'eau, les usines de dessalement foisonnent,» *La Croix*, 2022.
- [83] A. Agrawal, «An Experimental of single sloped bassin type spherical floating jute absorber.,» *int. J. Mech. Eng. Technol*, pp. 122 - 130, 2018.

- [84] S. Vikrant P. Katekar, «A review on research trends in solar still designs for domestic and industrial application,» *Journal of Cleaner production*, p. 257, 2020.
- [85] H. Jani et K. V. Modi, «Experimental performance evaluation of single basin dual slope solar still,» *Solar Energy*, pp. 186 - 194, 2019.
- [86] P. I. COOPER, «SOME FACTORS AFFECTING THE ABSORPTION OF SOLAR RADIATION IN SOLAR STILL,» *Solar Energy*, pp. 373-381, 1971.
- [87] S. Sharshir, G. Peng, L. Wu, F. Essa, A. Kabeel et N. Yang, «The effects of flake graphite nanoparticles, phase change material, and film cooling on the solar still performance,» *Applied Energy*, p. 358–366, 2017.
- [88] H. M. Ahmed, «Seasonal performance evaluation of solar stills connected to passive external condensers,» *Scientific Research and Essays*, pp. 444-1460, 2012.
- [89] R. Lal, S. Mishra et H. Dwivedi, «Comprehensive study of the different parameters of solar still.,» *Today Proc*, pp. 3572 - 3580, 2017.
- [90] R. S. Hansen et K. K. Murugavel, «Enhancement of integrated solar still using different new absorber configuration: An experimental approach,» *Desalination*, p. 59–67, 2017.