

3.2 Microscopie électronique à balayage (MEB) et spectrométrie à dispersion d'énergie (EDX) couplée au MEB :

3.2.1 Principe :

La microscopie électronique à balayage (MEB) ou, en anglais, « Scanning Electron Microscopy » (SEM) est utilisée pour obtenir des images de la surface de l'échantillon. Le fonctionnement du microscope est basé sur l'émission des électrons produits par la cathode et la détection des électrons secondaires émergents de la surface sous l'impact d'un très fin pinceau d'électrons primaires qui balaye la surface observée et permet d'obtenir des images avec une résolution pouvant atteindre quelques nanomètres et une très grande profondeur de champ. La spectrométrie à dispersion d'énergie (EDX) couplée au MEB permet l'analyse qualitative et quantitative de la composition chimique de la surface examinée (éléments minéraux/métalliques présents dans l'échantillon). Elle consiste à analyser les rayons X générés par l'échantillon placé sous le faisceau d'électrons du microscope électronique à balayage. Le rayonnement émis lors de l'interaction entre les rayons X et la matière de l'échantillon est retranscrit sous forme de spectre, où apparaissent les pics d'intensité variable, caractéristiques des éléments métalliques ou minéraux en présence.

3.2.2 Conditions d'analyse :

La microscopie électronique à balayage (MEB) a été réalisée au laboratoire de microscopie à l'université de Tlemcen sur un appareil HITACHI TM1000-Swift-ED couplé à un spectromètre à dispersion d'énergie EDX et piloté par un micro-ordinateur (**figure 12**).



Figure 12 : Appareil MEB HITACHI TM1000-Swift-ED.

3.3 Analyse thermique :

3.3.1 Principe :

Cette analyse permet de déterminer l'évolution thermique d'un matériau ; on peut suivre les transformations qui ont lieu aux différentes températures et essayer de déterminer les phénomènes chimiques qui sont responsables des effets observés. Cette méthode permet aussi de donner une idée sur la stabilité thermique des échantillons par la détermination des

quantités de masses perdues en fonction de la température et par la détermination de la température maximale de chauffage.

Les différentes techniques d'analyse thermique sont la thermogravimétrie, l'analyse thermique différentielle et la calorimétrie :

- L'analyse thermogravimétrique (ATG) permet de déterminer les variations de masse d'un échantillon en fonction du temps pour une vitesse constante d'augmentation de la température. On sait ainsi que, à chaque perte de masse il y a eu une réaction au sein de l'échantillon. On a donc un suivi précis de la masse de l'échantillon en fonction de la température,
- L'analyse thermique différentielle (ATD), apparue en 1887 à la suite des travaux de H. Le Chatelier, consiste à mesurer l'écart de température entre l'échantillon et la substance de référence, soumise à la même loi d'échauffement. Cette technique d'analyse permet de suivre les phénomènes exo et endothermiques qui ont lieu lorsque les échantillons sont traités thermiquement,
- La calorimétrie différentielle programmée ; appelée aussi calorimétrie différentielle à balayage ou, en anglais, « Differential Scanning Calorimetry » (DSC) mesure l'écart de flux de chaleur entre l'échantillon et un matériau de référence soumis aux mêmes variations de température dans une atmosphère contrôlée. Cette technique d'analyse permet donc de déterminer la température et la chaleur dégagée ou consommée lors d'une transformation.

3.3.2 Conditions d'analyse :

L'analyse thermique ATG-ATD des échantillons a été réalisée au laboratoire de catalyse en chimie organique (LACCO) de l'université de Poitiers. L'appareil utilisé est de type SDT Q600 (**figure 13**). L'analyse a été faite sous air avec une rampe de température de 5°C /min dans l'intervalle de 25 à 1200 °C pour quelques échantillons et à 1000 °C pour d'autres.



Figure 13 : Appareil d'analyse thermique « SDT Q600 instrument »

3.4 Calorimétrie différentielle à balayage (DSC) : La température de fusion (T_f), le taux de cristallinité (χ_c) et le temps d'induction à l'oxydation (TIO) des échantillons ont été mesurés

par analyse calorimétrique différentielle (DSC, differential scanning calorimetry) à l'aide de calorimètres de type Q10, Q20 (**figure 14**) ainsi que Q1000 de la société TA Instruments. Ces calorimètres ont été calibrés avec de l'indium au laboratoire LCSCO à l'université de Tlemcen. La masse des échantillons a varié entre 4 et 8 mg.



Figure 14 : Appareil de mesure par analyse calorimétrique différentielle

3.4.1 Température de fusion et taux de cristallinité :

Le principe de fonctionnement du calorimètre consiste à mesurer le flux de chaleur nécessaire au maintien du matériau à la même température que celle de l'échantillon de référence. L'enregistrement d'un signal proportionnel à la différence de flux de chaleur entre ces deux éléments permet de déterminer l'enthalpie de fusion. Lors d'un essai, un échantillon polymère de 4 à 8 mg est placé dans des capsules hermétiques en aluminium. Il est chauffé sous azote (débit de $50 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$) avec une vitesse de chauffe de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ par minute de 25 à $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Les essais sont réalisés sous azote afin d'éviter toute oxydation thermique du matériau. Cette technique permet de déterminer la chaleur de fusion ΔH_f (aire sous le pic endothermique-**Figure 15**) et la température de fusion T_f (position du sommet du pic endothermique).

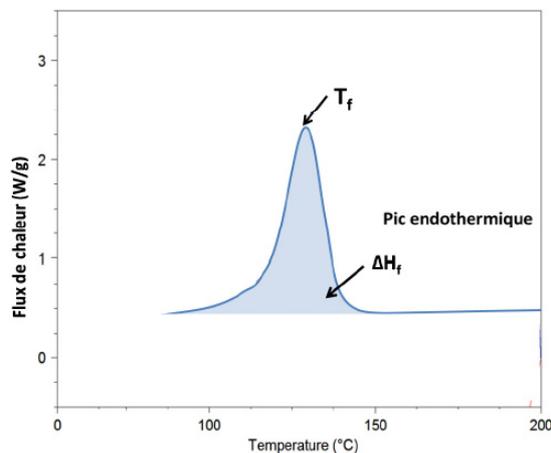


Figure 15 : Détermination de T_f et ΔH_f par DSC pour le PE.

Cette technique a donc permis de caractériser la morphologie du matériau étudié :

- La température de fusion permet d'estimer la taille des cristaux et la masse molaire du matériau. Ainsi, une température de fusion élevée implique généralement de gros cristaux issus d'une masse molaire élevée et d'un degré d'enchevêtrement faible.
- Le taux de cristallinité (χ_c) correspond au rapport entre l'enthalpie de fusion du polymère (ΔH_f) et celle de ce même polymère considéré comme 100 % cristallin (ΔH_f^0) :

$$\chi_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \quad (10)$$

Dans notre étude, nous avons choisi $\Delta H_f^0 = 290 \text{ (J.g}^{-1}\text{)}$ [16, 17] pour le PE.

3.4.2 Temps d'induction à l'oxydation (TIO) :

Le temps d'induction à l'oxydation (TIO) correspond au temps nécessaire pour amorcer l'oxydation du polymère sous oxygène pur dans des conditions isothermes sévères. Lors d'un essai de TIO, un échantillon polymère de 4 à 8 mg est placé dans des capsules ouvertes en aluminium, il est chauffé sous azote (débit de 50 mL.min^{-1}) de 50 à 200 °C puis il est maintenu pendant environ 5 minutes à 200 °C. Ensuite, une fois la température équilibrée, l'azote est remplacé par l'oxygène pur (même débit) et la variation du flux de chaleur au cours du temps est enregistrée par un ordinateur. Le TIO correspond à l'onset (temps nécessaire à l'apparition) du pic d'oxydation du polymère (**Figure 16**). Les mesures ont été répétées deux à trois fois pour estimer la dispersion des résultats sur les échantillons.

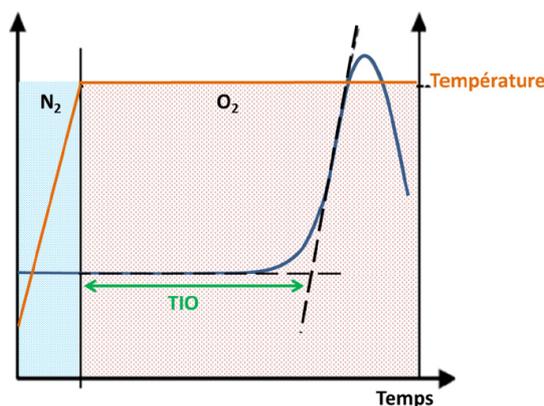


Figure 16 : Détermination du TIO par DSC pour le PE stabilisé.

Le TIO est une mesure de la quantité d'antioxydants présents dans le polymère. En effet, l'oxydation rapide a lieu après que la quantité d'antioxydants de l'échantillon est totalement épuisée. Pour le PE pur, le TIO est très faible (autour de 2 minutes) alors que pour un PE stabilisé, il est autour de quelques centaines de minutes. Par conséquent, cette technique peut être utilisée pour doser les antioxydants dans un polymère, mais aussi pour suivre leur disparition au cours du vieillissement thermique.

3.5 Spectroscopie d'absorption UV- visible du solide :

3.5.1 Principe :

L'absorption d'un rayonnement électromagnétique par des molécules dans le domaine énergétique de l'ultraviolet (λ : 200 - 400 nm) et le visible (λ : 400 - 800 nm) donne lieu à des transitions entre différents niveaux électroniques. L'envoi d'un photon de fréquence ν provoque une variation de l'état d'énergie de l'espèce chimique. L'énergie nécessaire pour passer de l'état E_n à l'état E_{n+1} ou l'inverse est : $\Delta E = E_{n+1} - E_n = h \nu$ (h : constante de Plank).

La spectroscopie UV - Visible concerne les transitions des électrons de valence des ions entre les orbitales atomiques ou moléculaires. Les transitions électroniques peuvent être classées en plusieurs groupes selon la nature des sauts électroniques :

- Les transitions d-d rencontrées dans le cas des ions des métaux de transition,
- Les transferts de charge qui impliquent un transfert d'électrons d'une orbitale occupée localisée sur un donneur à une autre non occupée localisée sur un accepteur,
- Les transitions $n-\pi^*$ et $\pi-\pi^*$ qui concernent les sauts d'électrons π ou d'électrons n de doublets libres dans les orbitales moléculaires des molécules organiques.

Le spectre d'absorption est obtenu après analyse de la lumière transmise ou réfléchiée par le milieu absorbant placé entre la source de la lumière et le détecteur. Les spectrophotomètres comprennent une ou deux sources polychromatiques, un milieu dispersif qui sépare les différentes fréquences (monochromateur à prisme, ou à réseau ou les deux à la fois), une cellule contenant l'échantillon, un système de détection (photomètre). Ce dernier compare l'intensité lumineuse avant et après interaction avec la substance. La technique de transmission est utilisée pour les solutions homogènes. Dans le cas de catalyseurs solides ou de suspensions troubles, cette technique est remplacée par la réflexion diffuse ou réflectance.

3.5.2 Transmission :

Dans le cas des liquides, des gaz ou des solides transparents, on analyse la lumière transmise

par l'échantillon et on définit la transmittance $T = \frac{I}{I_0}$ ou absorbance $A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right)$.

I_0 est l'intensité incidente et I l'intensité transmise ou réfléchiée.

La concentration de l'absorbant [Abs] est reliée à A par la relation : $A = \epsilon$ [Abs] ; où ϵ est le coefficient d'extinction molaire.

3.5.3 Réflexion :

Lorsqu'un faisceau de lumière d'intensité I_0 arrive sur une poudre en lit plan, deux phénomènes de réflexion se produisent : la réflexion spéculaire pour laquelle les

microcristaux constituant le lit agissent comme un miroir et la réflexion diffuse pour laquelle les grains diffusent le rayonnement dans tout l'espace (**figure 17**).

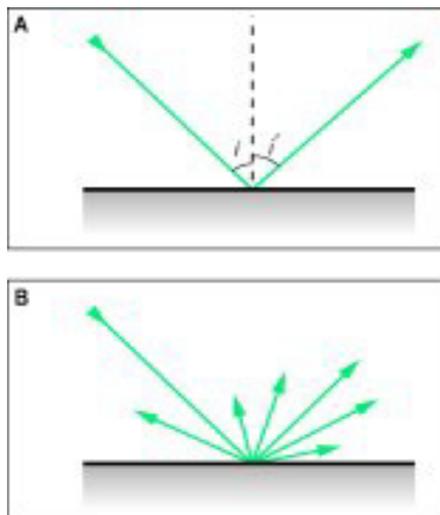


Figure 17: Phénomène de réflexion : spéculaire (A) et diffuse (B).

L'échantillon absorbant une partie du rayonnement, l'intensité diffusée I sera plus faible que l'intensité incidente I_0 . De plus le détecteur ne reçoit qu'une faible partie du rayonnement diffusé I . La mesure devient alors délicate et une sphère d'intégration doit être employée. Cette sphère recouverte intérieurement d'un matériau hautement diffusant et peu absorbant (MgO ou $BaSO_4$ par exemple) réfléchit la lumière diffusée et permet d'augmenter la fraction de I arrivant au détecteur (30 à 50 %). Le pourcentage de réflexion de l'échantillon est comparé à celui d'un composé standard (blanc dans un grand domaine de longueur), l'intensité I_0 étant envoyée alternativement sur l'échantillon et sur la référence.

3.5.4 Conditions d'analyse :

L'analyse UV-visible en réflexion diffuse a été effectuée dans notre laboratoire (LCSCO) sur un appareil Perkin Elmer, Lambda 800 piloté d'un micro-ordinateur (**figure 18**).



Figure 18 : Spectromètre UV-Visible

3.5.5 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

a. Principe : La spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (ou FTIR : Fourier Transformed Infra-Red spectroscopy) s'appuie sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le composé analysé. Elle permet, via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, l'identification des fonctions chimiques présentes dans l'échantillon. Le domaine infrarouge entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} correspond au domaine de vibration des molécules. Pour qu'une molécule soit active de manière significative en infrarouge, elle doit présenter un moment dipolaire permanent non nul. L'absorption d'un photon IR est associée à la vibration du moment dipolaire de la molécule qui peut être interprétée en termes de changement d'énergie vibrationnelle sur un mode donné. Il en résulte que seuls les modes de vibration impliquant une vibration du moment dipolaire de la molécule sont observés en infrarouge. Comme dans tout phénomène d'absorption, les longueurs d'onde IR pouvant être absorbées correspondent aux énergies de vibration du mode de la molécule absorbante.

b- conditions d'analyse : L'analyse infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été réalisée au laboratoire de spectroscopie et pharmacologie structurale de l'université de Tlemcen. Les spectres ont été enregistrés soit en transmittance (T) soit en absorbance (A) entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} à l'aide d'un spectromètre AVATAR 320 FT-IR THERMO-NICOLET (**figure 19**).



Figure 19 : Spectromètre AVATAR 320 FT-IR

IV. Tests de la conversion thermosolaire :

Nous avons pour objectif, dans la première partie, le dimensionnement d'un prototype de laboratoire d'un distillateur à simple effet de serre et ensuite apprécier l'influence de certains paramètres sur les performances du distillateur. En second, on va étudier l'influence de quelques caractéristiques thermophysiques sur un capteur solaire. Pour ces différents paramètres, nous ferons des relevés sur l'évolution de la température de la zone tampon, la température de la face externe du vitrage et la température de la face externe de l'isolant, il est aussi fait des relevés sur la température ambiante.

tôle en fer galvanisé et couverte par un film noir en Polyéthylène. Les dimensions de la surface de l'absorbeur sont :

Longueur : 0,55 m Largeur : 0,55 m Hauteurs : 0,75 m et 0,20 m

Epaisseur : 1,5 mm Superficie de la base : 0,3025 m²

Pour la réalisation du bac absorbant, il a suffi d'une tôle en fer galvanisée de 1m × 2 m × 15mm, à cet effet cette dernière est découpée en cinq parties et soudée en un seul bac absorbant dont les dimensions sont indiquées dans le paragraphe 4.1.1. Enfin, on obtient la structure qui est présentée dans la figure 17.

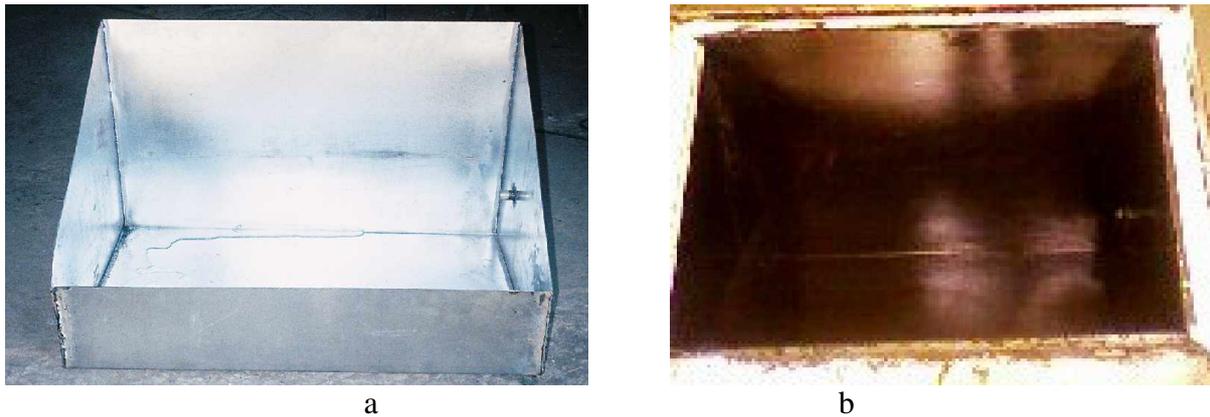


Figure 22 : Le bac absorbant : a – sans film en PE, b – avec film en PE.

- *Couverture verrière (verre)* : Pour sa simplicité et son bas coût, on a utilisé du verre ordinaire dont les dimensions de la vitre sont :

Longueur : 0,75 m Largeur : 0,55 m Epaisseur : 0,5 mm

Superficie de la base : 0,4125 m²

On a choisi du verre ordinaire pour sa bonne conductivité thermique, sa bonne transmission du rayonnement visible et sa mouillabilité. Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres constituants du distillateur on a utilisé de la silicone.

- *L'isolation thermique et couverture extérieure* : L'isolation thermique du distillateur est en laine de verre de verre et du bois. L'épaisseur de la laine de verre est de 5 cm et celle du bois est de 2 cm. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement. Les dimensions de l'isolant thermique sont :

Longueur de base : 0,89 m Largeur de base : 0,69 m Epaisseur : 0,05 m et 0,02 m

Superficie de la base : 0,6141 m²

Donc, on fabrique un coffre d'isolation thermique (figure 18) dont on immerge à l'intérieur une couche en laine de verre qui est recouverte d'un coffre en bois confectionné de 4 madriers de 4m×15cm×2cm, découpés en morceaux assemblés à l'aide d'une colle spéciale bois et fixés avec des vis.



Figure 23 : Le coffre d'isolation thermique

- Cuve de récupération du distillat : On a utilisé une cuve graduée.
- Tuyauterie : La tuyauterie utilisée entre le bac absorbant et la cuve de récupération est en matière plastique de nom commercial « Tigre ».
- Composants standards : Ces composants ont été choisis de façon constructive et selon la disponibilité sur le marché, et sont résumés dans le **tableau 2.3**.

Tableau 2.3 : Désignation des composants du prototype de distillateur

Désignation	Unité	Nature et dimensions	
Le bac :		tôle galvanisée	Film noir en PE
Matériau		1,5	0.5
Epaisseur	mm	0,55*0,55*0,75	0,6*0,6*0,8
Dimensions	m		
La couverture transparente :		Verre ordinaire	
Nature		01	
Nombre		5	
Epaisseur	mm	0,55*0,75	
Dimensions	m	0.898	
Emissivité			
L'isolation thermique :		Laine de verre	Bois ordinaire
Nature		50	20
Epaisseur arrière	mm	50	20
Epaisseur latérale	mm	0.04	0.04
Conductivité			
Résine	M	3 × 1,50	
Manchon tigre 15/21		1	
Silicone mécanique	Tube	1	
Silicone	Tube	6	
Peinture blanche	Kg	1	
Papier aluminium	m ²	5	
Colle bois	Tube	1	
Colle patex	Tube	1	
Boulonnerie		50	
Revêts 4mm×20mm		20	
Vis 4mm×25mm			
Coudes 15/21		4	
Vannes 15/21		3	
Manchons en fer galvanisé 15/21		1	
Téflon		12mm×0,075mm×12m	
Entonnoir + conduite flexible	15/21	1	

- Montage : Le bac absorbant est équipé d'un système de remplissage et de vidange. Les soudures du bac sont isolées par une couche épaisse de silicone mécanique et le tout est

badigeonné par un film polymère en PE. Le distillateur est recouvert d'une couche de résille épaisse de 4 mm. Le remplissage se fait du côté droit du bac à l'aide d'une tuyauterie composée d'un raccord en cuivre 15/21, d'un tube tigre 15/21, d'un robinet en bronze du même diamètre, d'un coude en tigre 15/21 et d'un tuyau en polyvinyle avec son entonnoir. La vidange est réalisée en bas du bac à l'aide d'un manchon 15/21 soudé, raccordé à un bout de tube tigre 15/21 et un robinet en bronze 15/21. La récupération du distillat est exécutée par une saignée en tôle galvanisée et soudée à l'intérieur du bac. L'évacuation de celui-ci vers l'extérieur est réalisée par une tuyauterie constituée par un manchon soudé 15/21, un morceau de tube tigre, une vanne en bronze 15/21, un coude en tigre 15/21 et un tube en tigre. Des glissières en aluminium de 20cm fixées sur le bord du bac à l'aide des revêts permettent l'introduction d'une plaque en verre de 4 mm d'épaisseur pour la fermeture de ce dernier. Une couche de silicone est placée sur tout le pourtour du verre. Tous les côtés extérieurs du bac sont protégés par des cornières longues en aluminium boulonnés aux extrémités et on a placé 6 thermocouples sur toutes les parties de celui-ci. On a effectué deux types de distillateurs : Le premier est réalisé comme indiqué ci-dessus, et le deuxième est réalisé en collant des feuilles d'aluminium à la face extérieure du coffre d'isolation thermique.

4.2 Tests d'exposition solaire :

Nous présenterons deux tests d'exposition solaire sur le même distillateur. Dans le premier, nous utiliserons un film polymère noir en PE comme absorbeur de chaleur et, dans le deuxième, nous mettons un bac en fer galvanisé peint en noir et recouvert d'un film polymère noir en PE comme absorbeur de chaleur.

On a utilisé des instruments pour mesurer certains nombres de paramètres très importants pour l'expérience dont les indicateurs sont illustrés dans la **figure 24**.

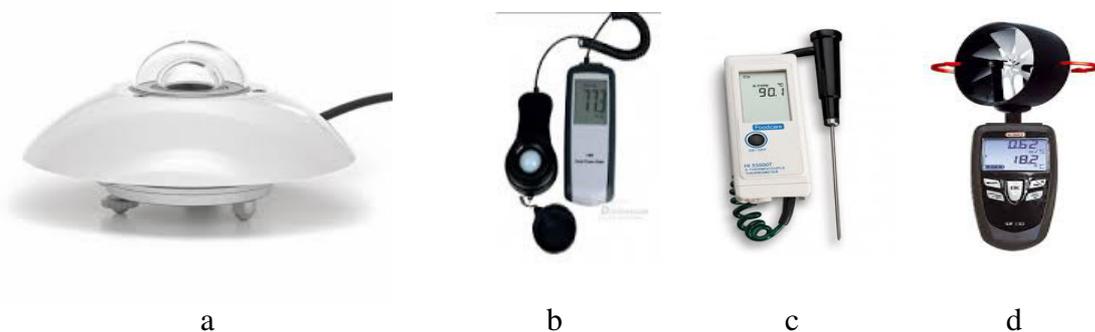


figure 24 : Instruments de mesure utilisés.

- a) Pyranomètre analogique pour mesurer le rayonnement solaire global,
- b) Pyranomètre électronique (Kipp & Zonen type CM11) pour mesurer le rayonnement solaire sur un plan incliné,

c) Thermomètre digital type K pour mesurer la température de l'air à l'entrée et à la sortie du conduit de l'absorbeur (0 à 400 °C),

d) Anémomètre à hélice (Kimo LV110) pour mesurer la vitesse et le débit d'air soufflé par un ventilateur muni d'un multi variateur de vitesse (0 à 40 m/s).

La campagne de tests a été axée sur les mesures de la température ambiante du milieu environnant, de la température de la surface extérieure de la vitre, de la température de l'eau salée, de la température de la surface extérieure de l'isolant et du débit de l'eau distillée en fonction du temps. Nous avons procédé à la variation de certains paramètres pour constater leurs effets sur l'évolution de ceux mesurés. Les paramètres variés sont les suivants :

- *La concentration en sel de l'eau saumâtre* : L'eau saumâtre utilisée est synthétique. Elle est préparée en dissolvant une quantité connue de sel de cuisine ordinaire dans une quantité connue d'eau distillée. Elle est préparée en utilisant la relation simple : $m = C.V$ (11)

m : la quantité de sel en grammes (g), V : le volume d'eau distillée nécessaire en litres (l)

C : la concentration de sel désirée en grammes par litres (g/l).

Les concentrations utilisées sont les suivantes : 1^{ère} partie : 5 g/l ; 2^{ème} partie : 2, 4 et 8 g/l.

- *la hauteur en eau saumâtre* dans le bac est donnée par : $V = S.h \Rightarrow h = \frac{V}{S}$ (12)

h : hauteur désirée en centimètre (cm), S : surface d'évaporation du bassin (cm²), V : volume nécessaire (ml).

- *l'isolation* : Deux types d'isolations ont été testés à savoir premièrement l'application d'une couche de peinture blanche sur la surface extérieure toute entière y compris la base du boîtier et deuxièmement l'intégration d'un système en feuilles d'aluminium.

- *mesure des températures* : Lors des essais expérimentaux, on utilise des thermocouples pour la mesure des différentes températures. Les thermocouples sont adaptés pour ce genre d'utilisation. Un thermocouple est formé par la soudure au chalumeau de deux différents fils métalliques. Suivant l'effet Seebeck, une tension thermoélectrique apparaît au niveau de la jonction en fonction de sa température. Lorsque ces deux fils sont connectés aux bornes de l'acquisition de données (Fluke Hydra data Logger 2625A) on forme un thermocouple à deux jonctions (T₁ : jonction chaude et T₂ : jonction froide) comme montré en **figure 25**.

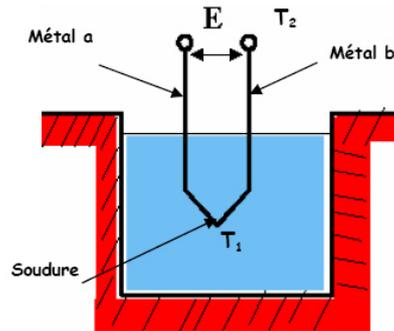


Figure 25 : Schéma représentatif d'un thermocouple relié aux bornes d'une acquisition de données.

Par effet Seebeck, ce thermocouple génère une tension qui est proportionnelle à la différence de température des deux jonctions. Si on veut mesurer la température T_1 , alors on doit compenser l'effet de la jonction froide T_2 ce qui est fait automatiquement par notre système d'acquisition de données grâce à un circuit électronique interne. Notre acquisition de données se charge également de la conversion électronique de la tension thermoélectrique délivrée par la jonction chaude à une température directement lue en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$). L'étalonnage d'un thermocouple consiste à relever sa réponse à l'aide de notre acquisition de données quand sa soudure est placée dans un milieu dont la température est connue. Cette opération est effectuée au minimum en deux points fixes correspondants aux températures de changement d'état de l'eau. C'est-à-dire le point 0°C et le point 100°C . Pour les besoins de notre étude expérimentale, il nous faut trois (03) thermocouples dont les résultats des mesures d'étalonnage sont donnés dans le **tableau 2.4**.

Tableau 2.4 : Etalonnage des thermocouples

N° du thermocouple	Température mesurée au point 100°C	Température mesurée au point 0°C
1	99.5	0.0
2	99.5	0.1
3	99.7	0.0

On remarque que les écarts enregistrés (maximum 0.5°C) sont inférieurs aux valeurs limites tolérées pour le cas des thermocouples de type K, à savoir $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$. Nous concluons alors que nos thermocouples sont bons pour l'utilisation dans notre banc d'essai expérimental.

le thermocouple de type K a été utilisé pour les mesures de températures de l'eau saumâtre et du milieu environnant, et le thermomètre digital pour mesurer la température de la vitre et de l'isolant. Le thermocouple est une association de deux fils métalliques de natures différentes, soudés à l'une de leurs extrémités appelée « soudure de mesure » et comportant à l'autre extrémité deux « bornes » de raccordement qui sont à la température θ_a de l'appareil de mesure ou de l'ambiance. Lorsque la soudure de mesure se trouve à une température θ différente de

θ_a , il apparaît entre les bornes de raccordement une f.é.m. qui dépend du couple métallique et des températures θ et θ_a . Le thermocouple de type K est une jonction de Chromel et d'Alumel et possède une plage de mesure allant de -100 à + 1370°C. L'Alumel est un alliage composé de 95% de nickel, 2% d'aluminium 2% de manganèse et 1% de silicium alors que le Chromel est un alliage composé de 80% de nickel et 20% de chrome.

- *Etalonnage des thermomètres* : Tout appareil sensible de mesure doit subir d'abord un étalonnage avant utilisation. L'opération d'étalonnage des thermomètres se fait par la vérification de la mesure du zéro (0°C) en plongeant le point de soudure dans un récipient qui contient de la glace fondante et par la vérification de la mesure du 100 °C en plongeant le point de soudure dans un récipient qui contient de l'eau bouillante. Ensuite, les mesures sont effectuées après cinq (05) minutes pour chaque thermomètre. Les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 2.5**.

Tableau 2.5 : Indicateurs de températures des thermocouples

Type de thermomètre	Thermocouple type K	Thermomètre digital
Indication De Température à 0°C	- 0.13	0.00
Indication de Température à 100°C	94.45	98.70

L'emplacement des thermocouples au sein du prototype de distillateur solaire est représenté dans la **figure 26**.

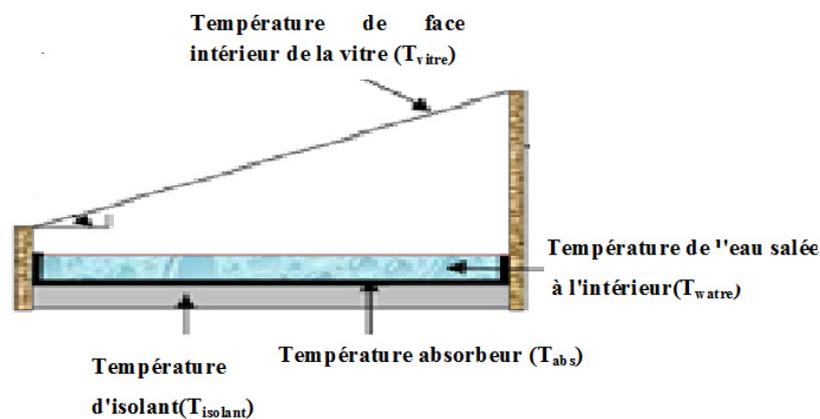


Figure 26 : Emplacement de thermocouples

4.2.1 Tests d'exposition solaire avec film polymère noir :

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux pour chaque journée avec l'explication des paramètres prise en compte. Les symboles utilisés sont :

- T1 : température de la face externe de la vitre, T2 : température de la nappe d'eau (°C),
 T3 : température du bac absorbant (°C) T4 : température de la zone tampon (°C),
 T5 : température de l'atmosphère (°C) C : concentration de l'eau saumâtre (g/l),
 h : la hauteur de l'eau saumâtre dans le bassin (mm) Q : le volume d'eau distillée (ml),
 V : volume de l'eau utilisé (l) h : la hauteur de l'eau saumâtre dans le bassin (cm).

Journée du 15 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 16 Mai 2011
 h =6,75 mm ; C =5 g/l ; V=1 l ; Q_{total} = 619 ml ; PH eau distillée = 6,87

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	vent
10h00	33,9	47,2	44,3	49,2	29,2	/	/	nuages intermittents	calme
11h00	42,8	63	61,6	63,9	29,2	10	10	clair	//
12h00	46,1	68,4	67,6	69,3	30,4	60	70	//	//
13h00	47,7	69,1	70	69,8	31,7	92	162	//	//
14h00	45,2	67,4	70	69,1	31,9	93	255	//	//
15h00	44,2	66,8	67,1	69,2	30,8	100	355	//	Moyen
16h00	44,4	65	64,8	68,7	31,4	83	438	//	//
17h00	41,2	61	60,5	65,5	30,8	62	500	//	//
18h00	37,1	54,3	53,3	58,3	29,9	45	545	//	//
19h00	31,3	43	42,5	46,4	26,5	20	565	//	//
20h00	24,2	30,5	31,1	30,6	24,9	10	575	//	//
23h30	19,2	21,5	21,9	21,2	23,4	7	582	//	//
04h30	18,1	19,8	19,9	19,5	20,5	7	589	nuages	Calme
09h30	35,2	52,5	50,2	54,3	25	30	619	//	//

Calcul des moyennes :

Heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	39,82	57,79	57,56	60	29,7	51,81
à 09h30	36,47	52,1	51,8	53,92	28,25	43,85

Journée du 16 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 17 Mai 2011
 h =6,75 mm ; C =5 g/l ; V=1 l ; Q_{total} = 601 ml, PH eau distillée= 7,5

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	29,9	35,4	36	39,9	27,3	/	/	nuages intermittents	Moyen
11h00	41,3	58,5	56	51	28,9	30	30	clair	//
12h00	46,3	66,5	65,2	67,6	29,5	78	108	//	//
13h00	45,2	66,1	67,1	67,5	31,1	85	193	nuages intermittents	//
14h00	46,5	67,5	69,1	69,3	32,7	89	282	clair	//
15h00	45,8	66,3	65,3	68,9	33,1	91	373	//	//
16h00	44	64,2	63,5	68,1	32	74	447	//	//
17h00	41,6	60,5	59,9	65,6	31,2	63	510	//	//
18h00	38	53,9	52,7	58,2	30	40	550	//	//
19h00	30,2	40,2	40,5	41,1	26,8	20	570	nuages intermittents	//
20h00	24,8	30,1	30,5	29,9	25,8	10	580	clair	//
23 h30	21,3	23,2	23,4	22,9	24,2	3	583	//	//
04 h30	17,2	19,8	20,5	19,5	19,8	10	593	nuages	//
9 h30	24,8	33,1	31,7	33,5	22,2	8	601	nuages	//

Tableau des moyennes :

Heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	39,41	55,38	55,07	57	29,85	52,72
à 09h30	35,49	48,95	48,67	50,21	28,18	42,92

Journée du 17 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 18 Mai 2011
 h = 6,75 mm ; C = 5 g/l ; V = 1 l ; Q_{total} = 519 ml ; PH eau distillée = 7,55

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	26,3	30,9	31,3	33,9	23,4	/	/	nuages	Moyen
11h00	38,8	53,3	52,8	57,3	26,9	13	13	nuages intermittents	//
12h00	41,3	62	62,1	64,1	27,8	69	82	clair	//
13h00	44,5	66,9	67,2	67,8	28,4	83	165	//	//
14h00	40,8	64,7	66,3	66,3	27,2	80	245	nuages	peu fort
15h00	35,3	50,1	51,6	51,9	26,3	40	285	nuages intermittents	Moyen
16h00	38,2	52,4	53,5	55,1	27,2	43	328	//	//
17h00	42,1	60,3	59,5	56	30,6	52	380	clair	//
18h00	35,4	53,1	52,3	56,5	27,5	42	422	//	//
19h00	30,3	41,8	41,4	43,5	25,3	23	445	//	//
20h00	23,9	30,5	31,2	30,5	23,5	10	455	//	//
23 h30	18,2	20,9	21	20,5	21,6	11	466	//	//
04 h30	18,9	20,5	20,6	20,3	19,5	13	479	couvert	//
9 h30	36,3	54,1	51,3	56,2	24	40	519	clair	//

Tableau des moyennes :

Heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	36,08	51,29	51,74	53,86	26,73	41,36
à 09h30	33,59	47,12	47,67	49,25	25,65	37,07

Journée du 18 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 19 Mai 2011
 h = 17,75 mm ; C = 5 g/l ; V = 3 l ; Q_{total} = 751 ml ; PH eau distillée = 7,8

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	30,4	32,5	34	39,3	25,8	/	/	clair	Moyen
11h00	37	52	54	55,4	26,3	/	/	//	//
12h00	42,6	62,9	62,8	63,1	27,2	53	53	//	Calme
13h00	44	67,2	67,8	66,6	30,1	95	148	//	//
14h00	44,9	68,3	70,6	68,2	29,8	105	253	//	un peu fort
15h00	46,3	67,9	69,5	67,8	31,4	95	348	//	//
16h00	43,3	66,1	66,9	69,5	30,3	94	442	//	Moyen
17h00	41,3	63	63,3	67,2	30,5	88	530	//	//
18h00	40,2	57,1	57,2	61,1	30,5	60	590	//	//
19h00	33,5	48,2	47,2	50,8	27,9	39	629	//	//
20h00	26,4	37,6	35,6	35	24,4	24	653	//	//
23 h30	18,1	22,5	21,3	21,1	21,7	27	680	//	//
04 h30	14,4	17,8	17	16,7	18,5	30	710	//	Calme
9 h30	35,8	45	47,1	50,4	23,7	41	751	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	39,08	56,61	57,17	58,54	28,56	59,36
à 09h30	35,58	50,57	51,02	52,3	27	53,64

Journée du 19 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 20 Mai 2011
 $h = 17,75 \text{ mm}$; $C = 5 \text{ g/l}$; $V = 3 \text{ l}$; $Q_{\text{total}} = 674 \text{ ml}$; PH eau distillée = 7,65

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	30,9	31,3	33	40,3	25,3	/	/	clair	Calme
11h00	39,2	53	52,9	56,6	28,1	/	/	//	Moyen
12h00	44,1	64,6	62,8	64,9	29,4	55	55	//	//
13h00	46,5	68,3	68,5	67,8	31,7	80	135	//	un peu fort
14h00	47,1	69,3	71,7	69,7	32,4	106	241	//	Moyen
15h00	46,1	68,9	68,7	70,7	33,7	99	340	//	//
16h00	45,8	66,6	66,9	70,2	33,9	90	430	//	un peu fort
17h00	43,3	62,9	63,3	67,3	33,1	72	502	//	//
18h00	40	57	57,5	61,1	31,1	65	567	//	//
19h00	36,5	49,2	48,4	52,4	29,5	38	605	//	Moyen
20h00	28,5	39,8	38	37,2	26,3	22	627	//	Calme
23 h30	24,1	25,9	25,3	24,9	26,8	20	647	//	Moyen
04 h30	16,5	20,8	19,9	19,5	20,9	7	654	//	Calme
9 h30	31,8	43,2	45,1	48,2	24,5	20	674	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	40,72	57,35	57,42	59,83	49,90	57
à 09h30	37,17	51,48	51,57	53,62	44,37	48,14

Journée du 23 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 24 Mai 2011
 $h = 17,75 \text{ mm}$; $C = 5 \text{ g/l}$; $V = 3 \text{ l}$; $Q_{\text{total}} = 656 \text{ ml}$; PH eau distillée = 7,33

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	27,8	31,7	32,7	36,8	24,5	/	/	nuages intermittents	Calme
11h00	37	50,5	50,7	54,4	27,2	/	/	clair	Moyen
12h00	41,3	61,1	61,3	62,3	28,8	48	48	//	//
13h00	44,2	65,5	66,3	56,4	30,5	82	130	//	//
14h00	46,3	67	69,1	67,3	31,8	108	238	//	//
15h00	45,9	67,9	68,9	70	31,3	85	323	//	//
16h00	47,8	67,1	67,9	70,9	31,9	81	404	//	//
17h00	42,3	63,1	63,3	67,1	29,5	77	481	//	//
18h00	38	55,8	55,5	58,7	28,8	57	538	//	//
19h00	31,9	46,2	44,8	46,3	23,9	47	585	//	//
20h00	25,3	36,9	35,2	34,1	21,8	26	611	nuages intermittents	//
23 h30	21,5	24,8	24,8	23,7	21	25	636	couvert	Calme
04 h30	20,6	22,5	22,7	21,9	20,8	10	646	//	Moyen
9 h30	25,9	30,7	31,5	31,8	23,6	10	656	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	38,89	55,70	55,97	56,75	28,18	55,54
à 09h30	35,41	49,34	49,62	50,12	26,81	46,85

Journée du 24 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 25 Mai 2011
 h =19,5 mm ; C =5 g/l ; V=5 l. Q_{total} = 640 ml ; PH eau distillée =7,69

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	27,9	26,8	30,8	36,4	26,1	/	/	clair	Moyen
11h00	35,4	42,6	44,9	49,5	27,8	/	/	//	//
12h00	40,8	54,1	54,3	58,2	30,5	/	/	//	//
13h00	43,5	62,1	62,8	63	31,3	65	65	//	//
14h00	44,8	65,5	66,9	64,1	30,1	79	144	//	//
15h00	45,8	66,8	68,8	68,8	32,1	91	235	//	//
16h00	44,6	65,5	66,9	69,2	32,4	84	319	//	//
17h00	44,6	63,2	62,9	66,7	30,5	78	397	//	un peu fort
18h00	40,8	58,6	57,9	61,5	29,8	66	463	//	Moyen
19h00	35,5	51,5	50,1	52,4	27,4	55	518	//	//
20h00	29,2	42,7	40,7	38,9	24,8	34	552	//	//
23 h30	22,2	27,7	27,1	25,8	23	50	602	//	Calme
04 h30	18,1	21,6	21,6	20,3	21,1	28	630	//	//
9 h30	27,9	31,5	31,8	38,1	25,9	10	640	nuages intermittents	Moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	39,35	54,49	55,18	57,15	29,34	50,18
à 09h30	35,79	48,58	49,10	50,92	28,05	45,71

Journée du 25 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 26 Mai 2011
 h =19,5 mm ; C =5 g/l ; V=5 l ; Q_{total} = 540 ml ; PH eau distillée =7,82

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	28,3	32	33,7	38,6	25,7	/	/	nuages intermittents	Moyen
11h00	32,2	37,5	39,4	43,9	26,5	/	/	//	//
12h00	34,9	46,8	46,9	47,2	27,2	/	/	nuages	//
13h00	39	53,3	54,4	55,5	30,2	43	43	nuages intermittents	//
14h00	37,1	56,1	57,9	54	26,8	65	108	nuages	//
15h00	44,5	60,6	62,8	63,5	31,3	45	153	clair	//
16h00	43,5	64	63,6	67,3	31,8	73	226	//	//
17h00	43,5	62,2	61,5	65,6	31,1	75	301	//	un peu fort
18h00	39,7	57,8	57,2	60,5	30,4	61	362	//	Moyen
19h00	35,4	50,7	49,4	50,9	27,9	54	416	//	//
20h00	28,8	42,6	40	38,4	24,8	32	448	//	//
23 h30	24,1	28,5	27,9	26,9	23,8	47	495	nuages intermittents	un peu fort
04 h30	19,2	23,6	23,1	22	22,1	25	520	clair	Calme
9 h30	34,2	39,6	42,5	48,2	27,9	20	540	clair	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	37	51,23	49,07	53,21	28,51	40,72
à 09h30	34,60	46,80	45,23	48,75	27,67	38,57

Journée du 26 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 27 Mai 2011
 h =19,5 mm ; C =5 g/l ; V=5 l ; Q_{total} = 643 ml ; PH eau distillée =7,57

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	30,9	32,1	33,5	38,3	28,9	/	/	clair	Moyen
11h00	38,6	46,3	47,6	54	30,1	/	/	//	//
12h00	43	58,2	58,1	61,1	31,7	/	/	//	//
13h00	37,5	65,9	56,9	66,6	33,8	26	26	//	//
14h00	48,1	69	70,1	70,1	33,3	90	116	//	//
15h00	49,2	69,1	70,5	71,5	33,8	98	214	//	//
16h00	49,9	68,3	68,1	72,2	34,8	90	304	//	//
17h00	46,7	65,2	65,1	68,9	33,7	87	391	//	//
18h00	41,9	60	59,8	62,8	32,2	70	461	//	//
19h00	39,2	53,2	52	53,7	31,2	52	513	//	//
20h00	31,6	44,9	42,7	40,8	27,4	35	548	//	Calme
23 h30	25,1	30,2	29,5	28,2	26,8	50	598	//	//
04 h30	22	25,9	25,4	24,6	24,8	25	623	//	//
9 h30	37,3	43,1	46,5	51,4	30,8	20	643	//	Moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	41,50	57,47	56,76	60	31,90	49,81
à 09h30	38,64	52,24	51,84	54,58	30,95	45,92

Journée du 29 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 30 Mai 2011
 h =39,75 mm ; C =5 g/l ; V=7 l ; Q_{total} = 632 ml ; PH eau distillée =7,8

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	33,9	31,4	33,2	43,1	32,2	/	/	clair	Moyen
11h00	38,4	42,8	44,9	51,8	32,5	/	/	//	//
12h00	44,2	54,8	55,5	58,6	35,1	/	/	//	//
13h00	47,3	63	63,9	64,2	36,1	45	45	//	//
14h00	48,9	67,9	69,1	69,2	35,9	69	114	//	//
15h00	50,3	69,1	70,5	71,2	34,8	86	200	//	//
16h00	48,8	68,9	68,2	71,8	35,2	90	290	//	//
17h00	48,3	66,5	65,9	69,9	35,3	84	374	//	//
18h00	45,2	62,8	61,8	64,3	32,8	71	445	nuages intermittents	//
19h00	42,3	57,2	56	55,9	32,2	63	508	//	//
20h00	33	48,6	46,3	44,1	26,9	44	552	//	//
23 h30	23,1	31,1	29,5	27,8	27,2	30	582	Nuages + pluie	Très fort
04 h30	23,4	27,3	26,9	25,9	24,9	25	607	nuages intermittents	Calme
9 h30	32,7	36,2	37	44,6	29,5	25	632	clair	Moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	43,69	57,54	57,75	60,37	33,54	50,18
à 09h30	39,98	51,97	52,05	54,45	32,18	45,14

Journée du 30 Mai 2011 jusqu'à 09h30 du 31 Mai 2011
 $h=39,75$ mm ; $C=5$ g/l ; $V=7$ l ; $Q_{total}=645$ ml ; PH eau distillée =7,63

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	31,8	30,6	32,3	38,9	35	/	/	clair	Moyen
11h00	37,8	41,5	43,1	50,4	32,1	/	/	//	Moyen
12h00	41,2	52,6	53,2	57,2	33,3	/	/	//	//
13h00	45,6	60,3	61,1	62,8	35,5	49	49	//	//
14h00	50	67,1	68,3	69,1	36,2	76	125	//	//
15h00	47,1	68,1	69,5	70,4	33,7	72	197	nuages intermittents	//
16h00	48,2	67,7	68,2	71,3	34,8	78	275	clair	//
17h00	45,2	64,3	63,4	66,5	32,8	87	362	nuages intermittents	//
18h00	41,1	59,1	58,1	60,5	31,2	68	430	//	//
19h00	36,3	53	51,3	51,5	28,3	58	488	//	//
20h00	30,3	45,5	43,2	40,9	25,5	44	532	//	Calme
23 h30	27,3	31	30,2	29,2	28,9	60	592	//	un peu fort
04 h30	19,8	24,1	23,6	22,2	21,8	30	622	//	Calme
9 h30	31,5	35,1	38,8	44,9	26,2	23	645	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	41,32	55,43	55,60	58,13	32,58	48,36
à 09h30	38,08	49,17	50,30	52,55	31,09	46,07

2^{ème} partie

Journée du 02 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 03 aout 2011
 $h=17,75$ mm ; $C=2$ g/l ; $V=3$ l ; $Q_{total}=631$ ml ; PH eau distillée =7,55

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	30,9	31,9	32,9	35,5	32,2	/	/	nuages intermittents	Calme
11h00	46,3	54,2	55,1	62,7	37,1	/	/	//	//
12h00	48,5	60,6	60,6	64,8	38,1	45	45	clair	//
13h00	52,2	70,3	70,8	72,8	38,3	65	110	//	//
14h00	54,8	74,4	76,9	77,4	39,3	100	210	//	//
15h00	52,1	70,5	72	72,7	39	83	293	nuages intermittents	//
16h00	54	70,2	73,9	75,8	42,9	72	365	//	Moyen
17h00	50,8	64	66	69,2	41,9	65	430	//	//
18h00	47,2	59,2	59,2	63,5	39,2	51	481	//	//
19h00	42,1	53,5	52,6	54,9	35,8	39	520	//	Calme
20h00	34,7	43,5	41,8	41,1	33,3	25	545	//	//
23 h30	25,5	30,2	29,8	28,5	25,5	35	580	//	//
04 h30	19,8	23,3	23,1	22,1	23,8	36	616	clair	//
9 h30	38,4	48,3	50,9	55	30,5	15	631	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	46,69	59,3	57,17	62,76	37,91	49,54
à 09h30	42,66	53,86	52,33	56,85	35,49	45,07

Journée du 03 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 04 aout 2011

h =17,75 mm ; C =2 g/l ; V=3 l ; Q_{total}= 643 ml ; PH eau distillée =7,74

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	32,7	33,3	34,5	41	30,9	/	/	clair	Calme
11h00	41,3	53,6	53,7	59,1	31,6	/	/	//	Moyen
12h00	48,6	65,3	64,5	68,2	33,5	40	40	//	//
13h00	51,5	70,7	71,1	72,7	34,8	60	100	//	//
14h00	53,5	72,9	75,1	75,2	35,9	95	195	//	//
15h00	53,5	73,2	75,1	76,8	35,9	102	297	//	//
16h00	51,8	70,4	71,9	75,2	37,3	88	385	//	//
17h00	48,6	66,2	66,8	70,8	35,7	75	460	//	//
18h00	44,6	60,2	59,1	64,2	34,1	60	520	//	//
19h00	36,4	49,9	48,7	49,5	29,4	47	567	//	//
20h00	28,9	38,9	37,2	36,3	27,1	23	590	//	//
23 h30	22,3	26,1	25,7	24,7	26,2	28	618	//	Calme
04 h30	20,1	22,9	22,6	22	24,1	20	638	//	//
9 h30	38,1	22,7	35,4	40,9	31,5	5	643	//	Moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	44,67	59,50	59,79	62,63	33,29	53,63
à 09h30	40,85	51,87	52,95	55,47	32	45,92

Journée du 04 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 05 aout 2011

h =17,75 mm ; C =2 g/l ; V=3 l ; Q_{total}= 627 ml ; PH eau distillée =7,66

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	33,1	32,7	35,4	40,9	31,5	/	/	clair	Moyen
11h00	42,3	53,8	54,3	59,2	33,1	/	/	//	//
12h00	49,1	65,9	68,4	68,6	34,5	38	38	//	//
13h00	51,3	72,8	71,3	71,3	35,6	57	95	//	//
14h00	51,7	72,7	74,7	74,4	35,5	103	198	//	//
15h00	51,3	71,1	73,2	74,4	35,3	100	298	//	un peu fort
16h00	50,1	68,2	69,5	72,9	37,4	90	388	//	//
17h00	47,5	64,3	64,2	69,2	36,4	75	463	//	//
18h00	44,1	58,8	57,9	63	34,7	55	518	//	Moyen
19h00	36,5	45,4	47,3	48,9	31,2	35	553	//	//
20h00	30,9	39,7	37,6	37,3	29,9	20	573	//	//
23 h30	23,9	27,6	26,8	26,3	27,3	25	598	//	Calme
04 h30	23,5	24	23,9	23,7	26,8	17	615	nuages	Calme
9 h30	40,8	48,7	51,9	56	34,2	12	627	clair	un peu fort

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	44,35	58,67	59,43	61,82	34,1	52,09
à 09h30	41,15	53,26	54,02	56,15	33,1	44,78

Journée du 05 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 06 aout 2011
 h =17,75 mm ; C =4 g/l ; V=3 l ; Q_{total} = 615 ml ; PH eau distillée =7,72

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	Vent
10h00	35,8	34,5	36,5	43,8	34,2	/	/	clair	un peu fort
11h00	44	56,3	55,8	61,3	33,8	/	/	//	//
12h00	49,8	65,9	65,6	68,8	36,3	42	42	//	//
13h00	50,4	69,1	69,8	71	35,1	68	110	//	Moyen
14h00	50	69,9	71,5	72,2	34,6	93	203	//	//
15h00	51,9	69,8	74,5	73,5	34,2	90	293	//	//
16h00	51,9	69,1	70,2	74,1	35,9	84	377	//	//
17h00	48,9	65	68,9	69,9	35,5	38	415	//	un peu fort
18h00	44,5	60,3	66,3	65	34,8	95	510	nuages intermittents	Moyen
19h00	37,3	49,7	48,8	49,2	31,9	38	548	//	//
20h00	32,1	40,6	39,3	38,4	30,2	22	570	//	//
23 h30	26,9	29	29,2	28,1	30,3	27	597	clair	Calme
04 h30	22,4	25,1	25,2	24,1	25,6	10	607	//	//
9 h30	41,3	50,5	52,1	56,2	34,9	8	615	//	Moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	45,47	59,10	60,65	62,47	34,22	51,81
à 09h30	42,20	53,91	55,26	56,82	33,37	43,92

Journée du 06 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 07 aout 2011
 h =17,75 mm ; C =4 g/l ; V=3 l ; Q_{total} = 605 ml ; PH eau distillée =7,85

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	vent
10h00	35,5	35,3	37,1	42,2	34,9	/	/	clair	moyen
11h00	47	57,3	57,7	62,8	38	/	/	//	//
12h00	52,4	68,1	69	71,6	39,1	35	35	//	calme
13h00	55,5	73,2	75,1	75,9	39,7	80	115	//	moyen
14h00	53,6	72,5	76,3	75,1	39,2	95	210	//	un peu fort
15h00	54,9	72,7	74,6	77	37,4	95	305	//	//
16h00	54,1	70,2	71,2	75,5	39,7	90	395	//	moyen
17h00	50,5	67,2	68,1	72,4	38,2	77	472	//	//
18h00	40,5	53,3	52,5	52,9	33,5	58	530	nuages	//
19h00	35,8	44,5	43,9	43,7	32,1	33	563	//	//
20h00	30,7	37,9	37	36,1	30,1	17	580	nuages intermittents	calme
23 h30	29,6	30,2	30,5	29,8	32,2	10	590	clair	fort
04 h30	26,5	26,5	26,3	26,2	30,3	5	595	//	//
9 h30	39	49,4	55,1	55,1	31,2	10	605	//	moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	46,40	59,29	60,22	62,29	36,53	52,72
à 09h30	42,67	54,16	55,31	56,87	35,4	43,21

Journée du 07 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 08 aout 2011
 $h = 17,75 \text{ mm}$; $C = 4 \text{ g/l}$; $V = 3 \text{ l}$; $Q_{\text{total}} = 632 \text{ ml}$; PH eau distillée = 7,85

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	vent
10h00	33,4	34,2	38,1	40,5	32,5	/	/	clair	moyen
11h00	44,4	55,1	58	60,9	34,1	/	/	//	//
12h00	49,2	66,3	41,1	69,3	35,1	40	40	//	un peu fort
13h00	52,3	70,2	70,2	72,5	36,2	84	124	//	//
14h00	51,8	70,9	72,2	73,1	35,3	93	217	//	//
15h00	50,7	69,1	79,5	73	35,4	93	310	//	//
16h00	49,4	68,1	75,8	72,9	35,3	86	396	//	//
17h00	47,4	63,9	69,7	68,9	35,3	73	469	nuages intermittents	//
18h00	42,2	57,8	62,3	61,7	33,2	60	529	clair	//
19h00	33,1	46,2	46,3	44,5	29	33	562	//	moyen
20h00	27,8	35,9	34,5	33,8	27,5	23	585	//	//
23 h30	22,7	25,8	25,6	24,8	26,3	20	605	//	calme
04 h30	19,9	22,5	22,1	21,9	23,8	15	620	//	//
9 h30	34,7	44,5	44,2	50,7	26,1	12	632	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	43,79	57,97	58,88	61	33,53	53,18
à 09h30	39,92	52,17	52,82	54,89	31,79	45,14

Journée du 10 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 11 aout 2011
 $h = 17,75 \text{ mm}$; $C = 8 \text{ g/l}$; $V = 3 \text{ l}$; $Q_{\text{total}} = 693 \text{ ml}$; PH eau distillée = 7,82

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	vent
10h00	29,6	33,1	33,2	38,8	26,2	/	/	très clair	moyen
11h00	40,9	53,3	54,1	58,9	28,5	/	/	//	//
12h00	47,1	64,8	64,1	67,3	30,2	52	52	//	//
13h00	50	70,8	71,3	72,4	32	96	148	//	//
14h00	51,2	71,8	74,2	74,1	33,5	87	235	//	un peu fort
15h00	50,2	70,8	74,4	74,4	31,5	100	335	//	//
16h00	48,3	68,3	70,5	72,9	33,1	95	430	//	//
17h00	44,9	63,3	64,2	67,9	33,1	88	518	//	//
18h00	42,4	57,6	45,8	62,5	31,2	54	572	//	//
19h00	32,1	45,8	27,9	43,2	27,2	45	617	//	calme
20h00	26,1	35,1	33,4	32,5	25,3	19	636	//	//
23 h30	19,5	23,8	23,8	22,1	23,5	27	663	//	//
04 h30	18,1	20,5	20,2	19,5	22,2	15	678	//	//
9 h30	34,6	44,4	43,3	51,2	25,9	15	693	//	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	42,07	57,70	55,73	60,35	30,16	57,81
à 09h30	38,21	51,67	50,02	54,05	28,81	49,5

Journée du 11 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 12 aout 2011
 $h = 17,75 \text{ mm}$; $C = 8 \text{ g/l}$; $V = 3 \text{ l}$; $Q_{\text{total}} = 662 \text{ ml}$; PH eau distillée = 7,84

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	vent
10h00	30,6	32	32,3	38,7	28,2	/	/	très clair	moyen
11h00	40	51,8	51,3	57,2	29,2	/	/	//	//
12h00	48	63,8	63,4	66,8	31,5	35	35	//	//
13h00	50,8	70,1	71	72,1	33,8	88	123	//	//
14h00	51,1	71,9	73,4	74,1	34,5	99	222	//	un peu fort
15h00	49,2	69	70,7	72,4	33	103	325	//	//
16h00	49,8	67,5	68,2	72	35,8	90	415	//	//
17h00	46,3	63,1	63,3	68,3	34,3	77	492	//	//
18h00	43,5	57,2	56,3	62	32,8	68	560	nuages intermittents	moyen
19h00	34,2	46,3	44,5	44,3	29	33	593	//	//
20h00	29,5	37,2	35,8	34,9	28,7	20	613	//	//
23 h30	22,3	26,3	26,1	24,8	26,3	22	635	clair	calme
04 h30	18,1	21,3	20,8	20,3	21,8	17	652	//	//
9 h30	30,8	35,2	37	38,5	26,7	10	662	nuages	moyen

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	43,90	57,26	57,29	60,25	31,89	55,72
à 09h30	39,58	50,90	51	53,31	30,4	47,28

Journée du 13 aout 2011 jusqu'à 09h30 du 14 aout 2011
 $h = 17,75 \text{ mm}$; $C = 8 \text{ g/l}$; $V = 3 \text{ l}$; $Q_{\text{total}} = 635 \text{ ml}$; PH eau distillée = 7,79

heure	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	Q	Q _{cumulé}	état ciel	vent
10h00	32	31,5	34,5	39,1	31,9	/	/	clair	moyen
11h00	43,2	52,8	55,1	59,4	33,4	/	/	//	//
12h00	49,5	64,9	66,2	68,1	34,5	57	57	//	//
13h00	53,3	71,4	73,9	72,8	36,4	78	135	//	//
14h00	53	72,8	75,9	75,2	36,3	95	230	//	//
15h00	53	71,3	74,5	75,1	35,3	95	325	//	//
16h00	50,7	68,5	69,5	72,5	35,8	87	412	//	//
17h00	48,9	65,2	65,7	69,6	35,8	70	482	//	//
18h00	43,9	58,7	57,8	62,1	33,9	52	534	//	//
19h00	34,5	46,9	45,2	44,8	29,5	30	564	//	calme
20h00	27,3	36,9	34,9	34,1	26,1	18	582	//	moyen
23 h30	20,9	25,1	25	23,4	23,5	20	602	//	calme
04 h30	19,5	20,9	20,6	20,3	20,1	19	621	couvert	moyen
9 h30	30,9	39,5	40,9	45,2	24,1	15	636	clair	//

Tableau des moyennes :

heure	T _{1mov}	T _{2mov}	T _{3mov}	T _{4mov}	T _{5mov}	Q _{mov}
à 20h	44,56	58,38	59,38	61,16	33,53	52,90
à 09h30	53,54	51,97	52,83	54,40	31,18	45,35

4.2.2 Tests d'exposition solaire avec film polymère sur support en acier :

Nous présenterons directement les résultats sous forme tableaux ainsi que des graphes avec des interprétations dans le chapitre 5. Sinon, on respecte les mêmes campagnes de tests et on fait les mêmes mesures de températures. Les différents tests effectués se sont déroulés durant

le mois de mai 2012. La campagne de tests a été axée sur les mesures de la température ambiante du milieu environnant, de la température de la surface extérieure de la vitre, de la température de l'eau salée, de la température de la surface extérieure de l'isolant et du débit de l'eau distillée en fonction du temps. En même temps nous avons procédé à la variation de certains paramètres pour constater leurs effets sur l'évolution de ceux mesurés. La concentration utilisée est : 5 g/l. Deux types d'isolations ont été testés à savoir premièrement l'application d'une couche de peinture blanche sur la surface extérieure toute entière y compris la base du boîtier et deuxièmement l'intégration d'un système en feuilles d'aluminium. On peut voir sur la **figure 27** la variation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée du distillateur selon les jours de l'expérience. Il est plus intense de 12h30 à 13h30 tandis qu'il est moins intense à la fin de la journée, puisque, la durée d'insolation est plus longue pendant la période estivale. La **figure 27** montre que les journées des expériences ont été claires sauf celles du 21/05/2012 et du 26/05/2012 où il y avait un passage des nuages discontinus ce qui a influé sur l'intensité solaire.

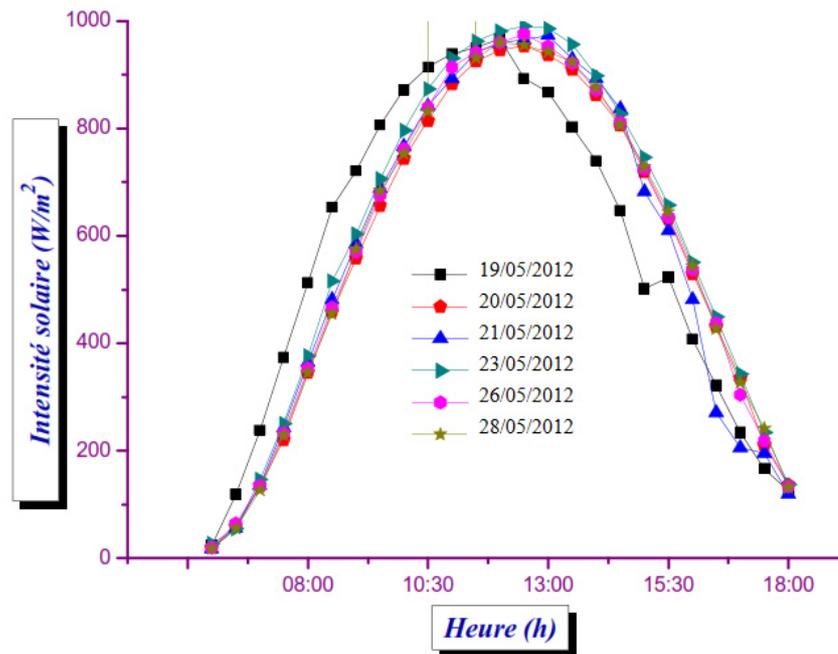


Figure 27 : Insolation des journées d'expérience.

Définitions les symboles utilisés : T_a : température ambiante du milieu environnant ($^{\circ}\text{C}$), T_s : température de l'absorbeur ($^{\circ}\text{C}$), T_v : température de la face externe de la vitre ($^{\circ}\text{C}$), T_B : température de la surface extérieure de l'isolant ($^{\circ}\text{C}$).

• **Test du jour 1 (19/05/2012)** : Le but du premier test est de faire fonctionner pour la première fois le distillateur solaire toute la journée et savoir comment le système fonctionne. Pour cela, on va tout résumer dans les tableaux suivant :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B (°C)	état ciel	Vent
08h30	26	21	26	x	clair	Calme
9h00	27	21,6	26,6	28	//	//
10h00	28	25,5	30,7	29,8	//	//
11h00	31,6	32,4	30,3	33,5	//	//
12h00	32	41,1	35	34,5	//	//
12h20	36	43,5	36,8	34,8	//	//
12h35	37	45,1	37,6	36,4	//	//
13h00	33	47,2	39,6	36,7	//	//
13h25	34	48,4	39	38	//	//
14h25	36	54,5	44,2	41,5	//	//
15h25	33,9	56,3	44	38,2	//	//
16h25	35,4	54,1	41,2	38,6	//	//
17h30	34,5	52,4	40	39,2	//	//

Heure	Manipulations et observations	Résultats
08h 30	- Pour connaître le débit du bac de l'absorbeur, on l'a rempli avec 3 litres d'eau dans un récipient puis on fait descendre cette eau dans le distillateur. - Le récipient a mis 15 mn pour se vider. - Après quelques minutes de fonctionnement, l'eau n'arrivait pas en bas du distillateur incliné très légèrement. En effet, on a voulu par ce test, connaître la quantité de l'eau que peut emmagasiner notre bac absorbeur. C'est pour cela qu'on a ajouté 2 litres d'eau (total de 5 litres).	Le débit de la solution est de un litre par minute.
09h 05	- Arrivées des premières gouttes d'eau dans le réservoir en bas du distillateur. - Arrivée des premières gouttes du condensat dans le récipient.	La quantité emmagasinée dans le distillateur pour ce test est de 3,3 litres.
09h 50		
09h 55		
10h 00		Quantité d'eau distillée 0.06 l
10h 40	On a constaté la formation de gouttelettes le long de la vitre. On a donc mis un récipient pour collecter et mesurer la production d'eau distillée.	
11h 00		Production : 0,15 l.
12h 00		Production : 0,3 l.
13h 00		Production : 0,6 l.
14h 00		Production : 0,8 l.
15h 00		Production : 1 l.
16h 00		Production : 1,2 l.
17h 00		Production : 1, 3 l.
18h 00	Arrêt du système.	Production finale : 1.3 l

- **Test du jour 2 (20/05/2012)** : A partir des résultats du premier jour et pour mieux comprendre le fonctionnement de notre distillateur, un deuxième jour de test a été réalisé. Pour cela, on a commencé les tests plus tôt et on a mis une quantité plus grande d'eau. Pour cela, on va tout résumer dans les tableaux suivants :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B (°C)	état ciel	vent
9h00	22	21,6	22,4	x	clair	un peu fort
10h00	23	26,8	24,4	23,9	//	fort
11h00	23,9	31,8	27,6	26,8	//	//
12h00	27,8	37	30,4	28,6	//	//
12h15	27,8	39,6	33,1	29,1	//	//
12h30	30	41,5	33,3	32,5	//	//
12h45	30	43,3	34,9	33,4	//	//
13h00	33,5	45,4	34,5	31,8	//	//
13h15	33,5	47,1	36,1	33,2	//	//
13h30	32,4	47,7	36,6	32	//	//
14h00	30	49,8	37,4	32	//	//
14h30	32	50,4	37,4	33,8	//	//
15h00	29,3	50,6	36,4	31	//	//
15h30	25,2	48	31,3	28	//	//

Heure	Manipulations et observations	Résultats
08h 15	Puisque on a vu que le distillateur emmagasinait 3,3 litres de solution, on a mis donc 4 litres et on a laissé le distillateur fonctionné.	
10h 40	Ajout de 2 litres d'eau. elle attire avec elle une quantité d'eau emmagasinée (liaison hydrogène). Total de la solution : 6 litres	Production : 0,2 l.
11h 00		Production : 0,25 l.
11h 35		Production : 0,35 l.
15h 30	Une grande production d'eau distillée durant mon absence. le distillateur fonctionne tout seul.	Production : 1,27 l.
18h 45	Arrêt du système.	Production finale : 1,5 l.

- **Test du jour 3 (21/05/2012):** Le 3^{ième} jour a pour but de faire d'autres tests et d'essayer de trouver des réponses aux différentes interrogations. C'est pour cela qu'on a versé 3 litre de solution la nuit précédant le test pour savoir si le distillateur va produire beaucoup plus d'eau distillée le matin ou pas. Mais, le climat ce jour-là n'était pas au beau fixe. Malgré cela, on a fait le test qui est synthétisé dans les tableaux suivants :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B	état ciel	Vent
9h00	24	24	23,5	x	nuages	Calme
10h00	25	28,2	27,8	27,8	//	un peu fort
11h00	25,5	34,7	30,8	30,6	//	très fort
12h00	28	42,5	31,2	29,2	//	//
12h15	27,9	44,7	31,6	27,6	//	//
12h30	29	46,1	31,8	26	//	//
13h00	30,2	47,9	33,5	26,2	//	//
13h45	29,8	49,9	27,5	29,5	//	//
14h00	30	51,5	37,2	32,1	//	//
14h40	29,4	51,6	37,3	33,1	/	//
15h00	29,5	51,2	38,4	32,2	//	//
15h30	27,8	49,9	34,8	31,6	//	//
16h00	27,2	48	33,4	31,4	//	//

Heure	Manipulations et observations	Résultats
19h le 20/05	3 l de solution dans le distillateur	
08h le 21/05	Début du test. Vitre humide.	Pas de condensation
08h 45	Ajout de 2 litres d'eau	
09h 00	Arrivées des 1 ^{ères} gouttes d'eau dans le récipient.	
10h 00		Production : 0,1 l
11h 00	la météo n'est pas bonne (beaucoup de nuages).	
12h 00	Ciel bleu mais nuageux.	Production : 0,2 l
13h 50		Production : 0,6 l
17h 00		Production : 1,1 l
18h 00	Arrêt du système.	Production finale: 1,2 l

- **Test du jour 4 (23/05/2012)** : L'objectif de la 4^{ème} journée est de vérifier encore une fois la robustesse du distillateur et voir comment il réagit lorsqu'on met un plus grand volume d'eau. Le résumé détaillé de la journée est donné dans les tableaux suivants :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B (°C)	état ciel	Vent
9h10	24,7	22,8	24,7	x	très clair	calme
10h10	24	35,8	29,8	26,5	//	un peu fort
11h10	29,4	48,3	31,8	27	//	//
12h00	27,3	55,4	41,2	30,7	//	//
12h20	29,6	56,3	43	31	//	//
12h40	32,2	59,4	42,6	32	//	//
13h00	34,3	59,7	44,6	31,9	//	//
13h20	30,8	59,9	45,7	32,3	//	//
13h40	31,8	60	45	31,7	//	//
14h00	32,4	57,1	43	33,2	//	Fort
14h30	31,3	56,3	39,5	29,9	//	//
15h00	29,5	53,4	37	33,4	//	//
16h00	33	52,3	37,5	32,8	//	//

Heure	Manipulations et observations	Résultats
08h 20	Démarrage. Condensation sur la vitre d'eau.	
08h 40	Ajout de 3 litres d'eau. Arrivée des 1 ^{ères} gouttes du condensat dans le récipient.	
08h 45	Ajout de 3 litres d'eau	
08h 50	Ajout de 3 litres d'eau. On a mis au total 9 l d'eau + une quantité du soir.	
10h 00	Faible rendement à cause du grand volume initial d'eau.	Production : 0,05 l.
10h 45		Production : 0,125 l.
11h 00		Production : 0,17 l.
11h 35	La condensation est plus grande et l'eau est plus chaude.	Production : 0,25 l.
11h 50		Production : 0,3 l.
12h 10		Production : 0,4 l.
12h 30		Production : 0,5 l.
12h 45		Production : 0,6 l.
13h 00		Production : 0,7 l.
13h 15		Production : 0,75 l.

13h 35		Production : 0,85 l.
13h 50		Production : 0,9 l.
14h 10		Production : 1 l.
14h 30		Production : 1,1 l
16h 00		Production : 1,4 l
17h 00		Production : 1,5 l
18h 10	Arrêt du système.	Production finale: 1,6 l

- **Test du jour 5 (26/05/2012)** : Cette journée 5 a pour but de tester le distillateur solaire après modifications et de mesurer la température Tampon du mélange air-vapeur à l'intérieur du distillateur et ceci en utilisant une sonde de température universelle. Le résumé du Jour 5 est donné dans les tableaux suivants :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B (°C)	état ciel	Vent
9h00	22	20,8	21	x	clair	Fort
10h00	24	31,5	29	24	//	//
11h00	27	46,1	34,5	29,5	//	//
12h00	28	54,3	39	30,2	//	//
12h20	31	55,8	39,9	31,3	nuages	//
12h40	27,2	54,8	39,2	30,8	//	//
13h00	29,7	54,1	38,2	31,4	//	//
13h20	27,7	55,8	36,1	27,1	//	//
14h00	20,9	42,6	27,2	20,7	couvert	//
17h00	20,5	31,7	25,4	18,8		
18h00	20	29,5	25,1	18,4		

Heure	Manipulations et observations	Résultats
07h 30	Démarrage. Puisqu'on va être utilisé une sonde de Température, on a mis une quantité minimale de la solution (4 litres) pour que le distillateur fonctionne tout seul.	
07h 40	On a commencé à prendre les mesures de T° à l'intérieur et à l'extérieur du distillateur.	T _{ext} = 6°C, T _{a-v} = 12°C
09h 30		T _{ext} = 10°C, T _{a-v} = 32°C
09h 40		T _{ext} = 11°C, T _{a-v} = 33°C
09h 45		T _{ext} = 11°C, T _{a-v} = 34°C
09h 50		T _{ext} = 11°C, T _{a-v} = 36°C Production : 0,05 l.
10h 00		T _{ext} = 12°C, T _{a-v} = 37°C
10h 05		T _{ext} = 12°C, T _{a-v} = 38°C
10h 10		T _{ext} = 12°C, T _{a-v} = 39°C
10h 15		T _{ext} = 12°C, T _{a-v} = 40°C
10h 20		T _{ext} = 13°C, T _{a-v} = 41°C
10h 30		T _{ext} = 13°C, T _{a-v} = 42°C Production : 0,125 l.
10h 35		T _{ext} = 13°C, T _{a-v} = 43°C
10h 45		T _{ext} = 14°C, T _{a-v} = 44°C
11h 00		T _{ext} = 14°C, T _{a-v} = 45°C Production : 0,125 l.

11h 10		$T_{\text{ext}} = 14^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 46^{\circ}\text{C}$
11h 20		$T_{\text{ext}} = 15^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 47^{\circ}\text{C}$
11h 30		$T_{\text{ext}} = 15^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 48^{\circ}\text{C}$ Production : 0,4 l.
11h 40		$T_{\text{ext}} = 16^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 49^{\circ}\text{C}$
12h 00		$T_{\text{ext}} = 16^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 49^{\circ}\text{C}$ Production : 0,6 l.
12h 10		$T_{\text{ext}} = 16^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 49^{\circ}\text{C}$ Production : 0,7 l.
12h 15		$T_{\text{ext}} = 17^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 50^{\circ}\text{C}$
12h 25		$T_{\text{ext}} = 17^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 51^{\circ}\text{C}$ Production : 0,75 l.
12h 35		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 52^{\circ}\text{C}$ Production : 0,8 l.
12h 40	Présence de nuages	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 51^{\circ}\text{C}$
12h 45		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 52^{\circ}\text{C}$ Production : 0,9 l.
12h 50		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 53^{\circ}\text{C}$
13h 00	Toujours, présence de nuages	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 52^{\circ}\text{C}$ Production : 1 l.
13h 10		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 49^{\circ}\text{C}$
13h 15	On constate que $T_{\text{a-v}}$ diminue considérablement en présence des nuages (diminution de la radiation).	$T_{\text{ext}} = 17^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 46^{\circ}\text{C}$
13h 20	Radiation solaire augmente un peu et la T° à l'intérieur du distillateur augmente mais la T° extérieure ne varie pas.	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 43^{\circ}\text{C}$
13h 25		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 44^{\circ}\text{C}$
13h 30	Nuages	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 41^{\circ}\text{C}$
13h 35		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 42^{\circ}\text{C}$
13h 40		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 43^{\circ}\text{C}$
14h 00	Vu qu'il y'avait beaucoup de nuages, on a laissé le distillateur fonctionné tout seul.	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 43^{\circ}\text{C}$ Production : 1,2 l.
17h 00	Le distillateur était sec et pas de condensation. Toute la solution qui s'y trouvée s'est évaporée. Donc, une perte pour la production en eau distillée. Ajout de 2,5 litres de solution.	$T_{\text{ext}} = 19^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 37^{\circ}\text{C}$ Production : 1,5 l.
17h 15	Redémarrage de la condensation sur la vitre inclinée	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 34^{\circ}\text{C}$
17h 30	Arrivée des 1 ^{ères} gouttes du condensat dans le récipient	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 32^{\circ}\text{C}$
17h 45		$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 32^{\circ}\text{C}$
18h 15	Arrêt du système.	$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{a-v}} = 28^{\circ}\text{C}$ Production finale : 1,6 l.

- **Test du jour 6 (28/05/2012) :** Le but du 6^{ème} jour des tests est d'étudier un autre paramètre, à savoir la position du distillateur par rapport au mouvement du soleil. Le distillateur sera orienté de façon à être toujours en face du soleil. Le détail du Jour 6 est donné par les tableaux suivants :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B (°C)	état ciel	Vent
10h00	20,6	22,7	19	x	Nuages intermittants	très fort
11h00	23,6	32,4	27,8	22,5	//	//
12h05	23	41,8	28,5	25	//	//
12h30	23,2	45,6	30,4	25	//	//
13h00	24,9	49,7	31,2	25,6	//	//
13h30	25,4	51,8	33,7	29,9	//	//
14h00	25,1	55,6	35,4	29,3	clair	//
14h30	26,3	57,6	36,3	30,5	//	//
15h00	26	57,7	37,2	32,5	//	//
15h30	26,4	57,6	34,6	33,1	//	//
16h00	24	56,4	36	30,1	//	//

Heure	Manipulations et observations	Résultats
07h 45	Démarrage avec un apport initial de 3,5 l d'eau. Le distillateur est placé dans une position Est Sud-est.	
10h 00	Beaucoup de condensation.	Production: 0,25 l.
10h 20		Production : 0,4 l.
10h 30		Production : 0,5 l.
10h 45	Le distillateur en face du soleil.	Production : 0,6 l.
11h 00		Production : 0,7 l.
11h 10		Production: 0,75 l.
11h 20		Production: 0,85 l.
11h 35		Production : 0,9 l.
11h 45	La production est plus grande que les jours passés.	Production : 1 l.
11h 50		Production : 1,1 l.
12h 10	Changement de position du distillateur : Face Sud	Production : 1,2 l.
12h 20		Production: 1,25 l.
12h 30		Production: 1,35 l.
12h 45		Production : 1,4 l.
12h 55	Ajout d'1 litre d'eau. Un peu moins de la moitié d'eau a été évaporée et condensée ce qui représente un bon rendement.	Production : 1,5 l.
13h 10	Toute la solution à l'intérieur du distillateur est à l'arrêt, les deux derniers canaux sont toujours secs. Ajout d'1 litre de solution. Volume total 5,5 l.	Production : 1,6 l.
13h 20		Production : 1,7 l.
13h 30	changement de position du distillateur : Face Sud, Sud-ouest.	Production: 1,75 l.
13h 45		Production : 1,8 l.
14h 00		Production : 1,9 l.
14h 10		Production : 2 l.
14h 20		Production : 2,1 l.
14h 35	Changement de position du distillateur : Face Sud-Ouest, Ouest.	Production: 2,15 l.
14h 50		Production: 2,25 l.
16h 05	Retour. Assèchement de l'absorbeur. Ajout de 2,5 litres d'eau (ce volume n'est pas pris en compte dans le volume total). Il faut donc plus de temps à l'eau pour s'échauffer et	Production : 2,6 l.

	s'évaporer. On remarque que lorsqu'il n'y'a plus d'eau dans l'absorbeur, c'est que l'assèchement de l'absorbeur a commencé. Il faut donc laisser un certain temps à l'eau qui se trouve dans l'absorbeur à s'évaporer (diminution du volume, implique une plus grande évaporation), puis ajouter une petite quantité, de préférence goutte à goutte pour que le volume de l'eau qui se trouve dans le distillateur soit toujours minimum.	
17h 10	Arrêt du système.	Production finale : 2,7 l.

- **Test du jour 7 (29/05/2012) :** Le but du test du Jour 7 est de s'assurer du bon rendement du distillateur solaire (en suivant le mouvement du soleil) avec une plus grande quantité d'eau.

Le résumé détaillé du Jour 7 est donné dans les tableaux suivants :

heure	Ta (°C)	Ts (°C)	Tv (°C)	T _B (°C)	état ciel	Vent
9h20	25,3	22,6	24,6	x	clair	Calme
10h20	26,3	31,3	32	29,1	//	//
11h20	29,5	44,3	36	37,5	//	//
12h20	32,1	55,5	41,5	37,8	//	//
12h50	30,3	59,9	42,8	37,5	//	//
13h20	31	63,2	46,7	39,1	//	//
13h50	30,7	65,8	46,6	39,9	//	//
14h20	32,4	66,6	52,4	48,6	//	//
15h20	31,6	66,6	48,3	43	//	//
16h20	31,4	65,7	49,4	43,2	//	//
17h15	31,5	63,6	44,2	39,7	//	//

Heure	Manipulations et observations	Résultats
08h 30	Bac vide. Ajout d'6,6 litres d'eau dans le bac absorbeur.	
08h 40	Début de formation des gouttes du condensat sur une partie de la vitre.	
09h 15	1 ^{ère} descente du condensat le long de la vitre vers la gouttière.	
09h 10	La condensation augmente.	
09h 30		Production : 0,1 l.
09h 45		Production : 0,2 l.
10h 00		Production : 0,3 l.
10h 20		Production : 0,4 l.
10h 35		Production : 0,5 l.
10h 55		Production : 0,6 l.
11h 10		Production : 0,7 l.
11h 20		Production : 0,8 l.
11h 40		Production : 0,9 l.
11h 55		Production : 1 l.
12h 10	Changement de la position du distillateur : face sud.	Production : 1,1 l.
12h 35		Production : 1,2 l.

12h 55		Production : 1,3 l.
13h 10		Production : 1,4 l.
13h 25		Production : 1,5 l.
13h 35		Production : 1,6 l.
13h 45	Changement de position du distillateur : Face Sud / Sud-Ouest. Remarque importante : Pas d'assèchement du distillateur à cause du plus grand volume d'eau. Donc, puisque la journée est encore longue et puisque la surface de contact entre l'absorbeur et l'eau est plus grande pendant le Jour 7, l'évaporation de l'eau va croître plus rapidement que celle du Jour 6.	
13h 55		Production : 1,7 l.
14h 10		Production : 1,8 l.
14h 25		Production : 1,9 l.
14h 40		Production : 2 l.
14h 55		Production : 2,1 l.
15h 00	Changement de position : Face Sud-Ouest / Ouest.	
17h 00	Retour	Production : 2,7 l.
17h 20	Assèchement de l'absorbeur. Ajout d'1,5 l d'eau.	
19h 00	Fin des tests.	Production finale : 2,85 l.

4.3 Conception du capteur solaire :

4.3.1 Description du banc d'essai :

Le banc d'essai a été réalisé au sein du laboratoire d'énergétique et matériaux au niveau de la faculté de technologie de l'université de Tlemcen situé au Nord-ouest Algérien à une latitude $35,28^\circ$, une longitude de $-1,17^\circ$ et une altitude de 750m. Le site est caractérisé par un ensoleillement très important, avec une irradiation moyenne journalière estimée à 6000Wh/m^2 , une durée d'insolation d'environ 3000 heures par an et un indice de clarté K_t moyen estimé à 0,75 [18]. Le capteur plan solaire à un seul vitrage est représenté sur la **figure 28**, dont la surface totale est égale à $2,6\text{ m}^2$, et la surface d'ouverture égale à $2,4\text{ m}^2$. Il est monté sur une structure rigide en acier réglable à plusieurs niveaux d'inclinaison de 0° , 32° , 45° , 60° et 90° .



Figure 28 : Représentation du capteur solaire plan

Le capteur solaire plan est de forme parallélépipédique construit en tôle galvanisée de 1,5 mm d'épaisseur et renforcé à l'intérieur par des cornières métalliques et recouvert à l'extérieur par du bois en chêne liège comme isolant thermique et entre les deux il y a une couche de laine de verre de 5 cm d'épaisseur sur les surfaces latérales ainsi que sur la surface arrière. Son poids total à vide est de 36 kg et sa capacité géométrique est de 76,5 litres et sa capacité réelle mesurée après au gonflement dû à la pression du réseau est de 81 litres. Sa face avant, peinte en noire, à une surface de 0,76 m². A l'intérieur, on recouvre la tôle par un film noir en PE comme absorbeur de chaleur. La couverture transparente est constituée de deux vitres ordinaires de 4 mm d'épaisseur avec un espace entre les vitres de 1.5 cm. Comme conseillé dans la littérature [19], l'espace entre l'absorbeur et le vitrage est de 5 cm. Cela minimise l'effet de bord tout en assurant de faibles pertes par convection. Le bac (Figure 29) est réalisé en tôle noire de 1 mm d'épaisseur. Sur ses bords supérieurs sont fixées des cornières (Tôle pliée) qui supportent le jeu du double vitrage.

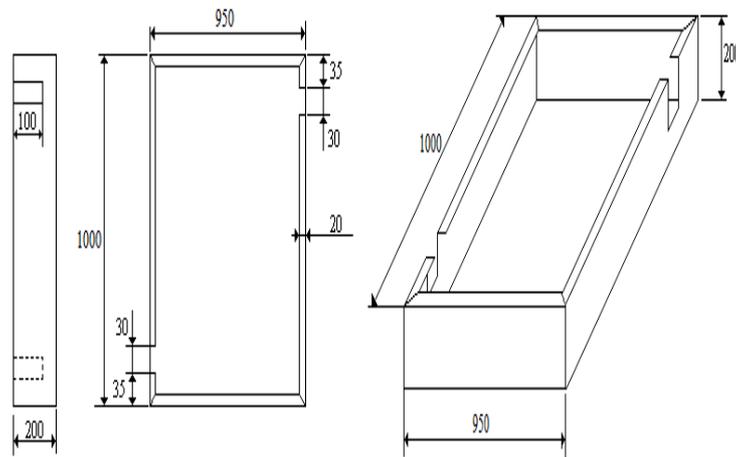


Figure 29 : Schéma descriptif du bac

Les caractéristiques techniques du capteur solaire plan objet de notre étude expérimentale sont résumées dans le **Tableau 2.6**.

Tableau 2.6 : Caractéristiques du capteur solaire

Désignation	Unité	Nature et dimensions	
Le bac :			
Matériau		tôle galvanisée	Film noir en PE
Epaisseur	mm	1	0.5
Dimensions	mm	1000*950*200	1000*950*200
La couverture transparente :			
Nature		Verre ordinaire	
Nombre		02	
Epaisseur	mm	4	
Dimensions		980*940	
Emissivité		0.898	

L'isolation thermique :			
Nature		Laine de verre	Chêne liège naturel expansé
Epaisseur arrière	mm	50	20
Epaisseur latérale	mm	50	20
Conductivité		0.04	0.04
La lame d'air :			
Entre vitrage	mm	15	
Entre absorbeur et vitrage	mm	50	

4.3.2 Mesures de l'éclairement :

Notre objectif est d'étudier l'effet de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'angle d'inclinaison du capteur solaire plan sur le rendement instantané de ce dernier. Ce capteur existe déjà et fait partie d'un banc d'essai réalisé au laboratoire d'énergétique et matériaux de l'université de Tlemcen. Le rendement d'un capteur solaire plan en régime permanent, appelé également rendement instantané peut être évalué expérimentalement par deux méthodes, à savoir la méthode calorimétrique et la méthode du bilan thermique. Mais compte tenu de la faible précision de la première citée, c'est généralement la seconde qui est utilisée et qui fait l'objet des différentes normes. En effet une fois le régime permanent établi, un bilan thermique effectué aux bornes du capteur permet d'exprimer le rendement journalier du

système par l'équation suivant :

$$\eta_j = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_{fs} - T_{fe})}{A_c \cdot G} \quad (13)$$

Où m : Débit massique du fluide caloporteur, C_p : Chaleur spécifique de l'eau, T_{fs} : Température de sortie du fluide, T_{fe} : Température d'entrée du fluide, A_c : Surface du capteur solaire, G : flux solaire global incident.

Les différents tests effectués se sont déroulés durant le mois d'Avril 2012. La prise de température initiale de l'eau se trouvant à l'intérieur du capteur solaire est prélevée chaque matin au début des tests alors que la température finale est prise en fin de journée pour chaque test et l'acquisition de données est déchargée sur un micro-ordinateur où l'on enregistre les données numériques pour faire les différents traitements. Les conditions des tests sont présentées sur les figures au-dessous où sont reportées les variations de l'éclairement solaire ainsi que la température ambiante sous lesquelles les tests ont été effectués.

Durant la journée du 21/04/2012, le ciel était dégagé et la température ambiante moyenne lors du test est de 31.77°C. Un vent moyen durant la matinée et on a noté un léger passage nuageux lors de l'après-midi (à partir de 15h30). Ce passage nuageux discontinu a réduit l'éclairement solaire comme montré sur la **figure 30**. Le rendement journalier moyen du capteur solaire est appréciable.

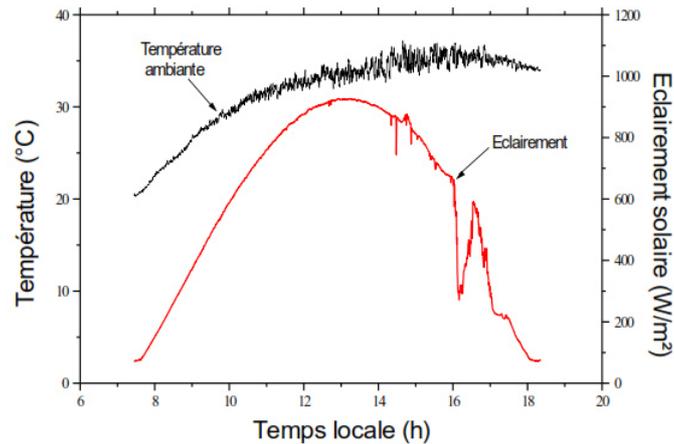


Figure 30 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesurée sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 21/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 47%.

La journée du 22/04/2012 est caractérisée par un ciel clair avec quelques nuages légers et discontinus observés en après-midi. La température ambiante moyenne lors du test est de 34.07°C et le vent reste moyen. Le rendement journalier moyen qui est de 37% est un peu plus faible par rapport à celui de la journée précédente. Ceci est principalement dû au fait qu'au début du test. Le rendement du système sera alors plus faible car pour un système thermique solaire, le rendement est inversement proportionnel à sa température. Plus le système est chaud, plus les pertes sont élevées et le gain est réduit.

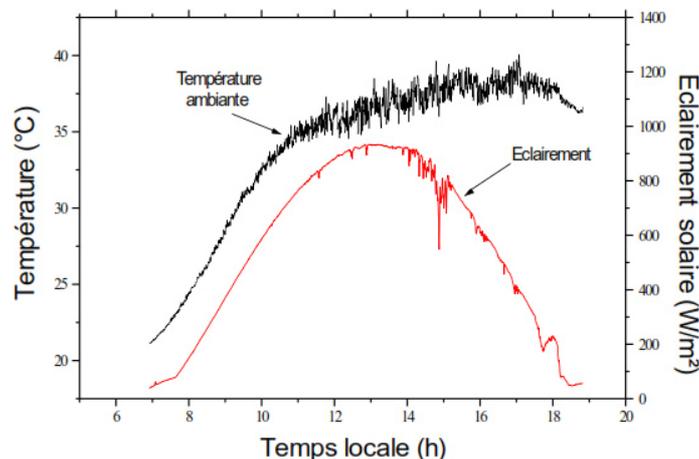


Figure 31 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 22/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 37%.

Durant la journée du 23/04/2012 beaucoup de nuages ont été observés et la composante directe du rayonnement solaire était pratiquement absente. La température ambiante moyenne lors du test est de 29.82°C c'est-à-dire un jour peu froid par rapport aux autres jours, le vent reste moyen. Le rendement journalier moyen du système est très faible de l'ordre de 16%. Ceci est principalement dû au faible éclairement solaire enregistré durant toute la journée.

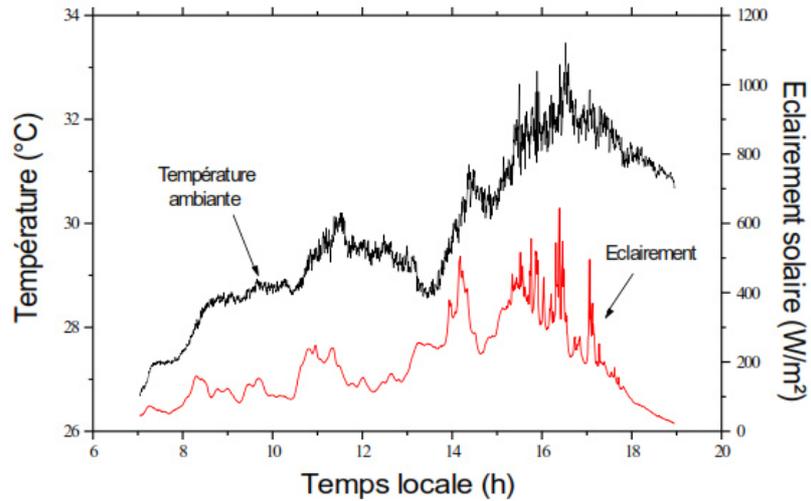


Figure 32 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 23/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 16%.

La journée du 24/04/2012 se caractérise par un ciel peu clair tel qu'on observe quelques nuages discontinus et à partir de 14 h 30 le ciel devient plutôt couvert. La température ambiante moyenne est de 33.07°C et le vent reste moyen. Le rendement journalier moyen du chauffe-eau durant cette journée est plutôt élevé (45%).

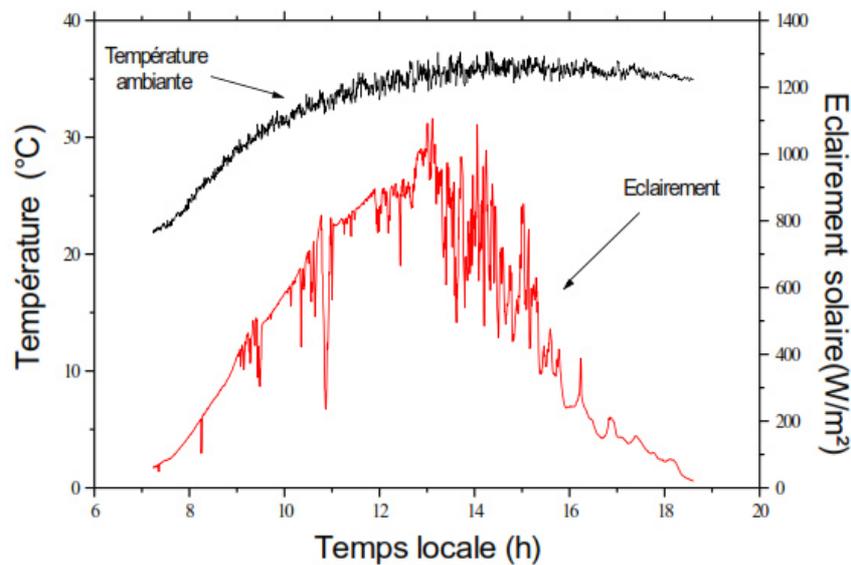


Figure 33 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 24/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 45%.

La journée du 25/04/2012 se caractérise par la présence de brume durant toute la journée. En effet la température ambiante est assez élevée (34.89°C) et c'est la composante diffuse qui prédomine dans l'éclairement solaire global. Le vent reste moyen et Le rendement journalier moyen du capteur solaire est moyen 39%.

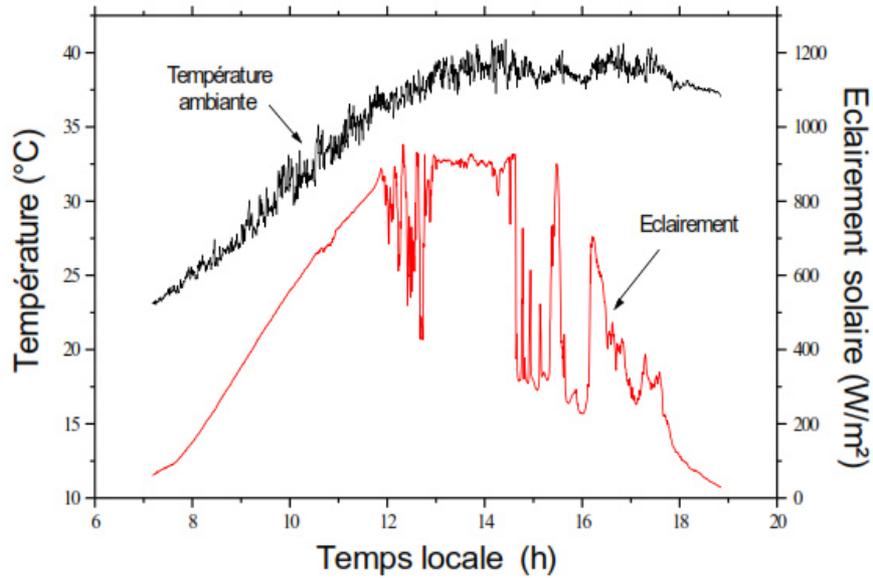


Figure 34 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 25/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 39%.

La journée du 26/04/2012 est pratiquement semblable à la précédente mais avec en plus un léger vent de sable. La température ambiante moyenne est de 34.18°C. Le rendement journalier moyen (42%) est un peu plus grand que celui de la journée précédente.

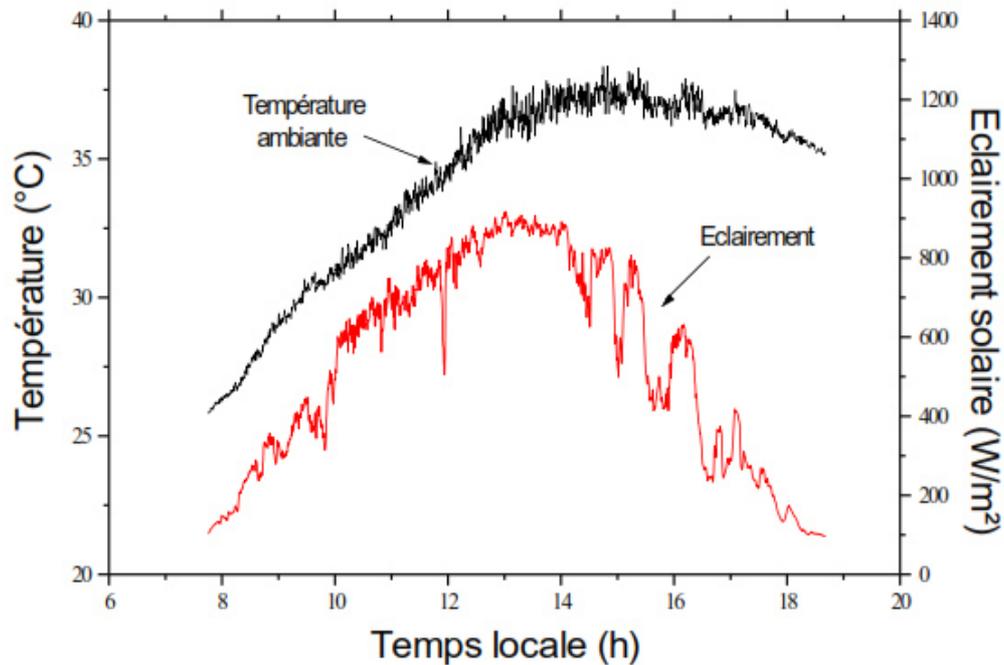


Figure 35 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 26/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 42%.

La journée du 28/04/2012 est similaire aux deux précédentes mais avec une température ambiante égale à 30,45°C. Le rendement journalier moyen est assez élevé (46%).

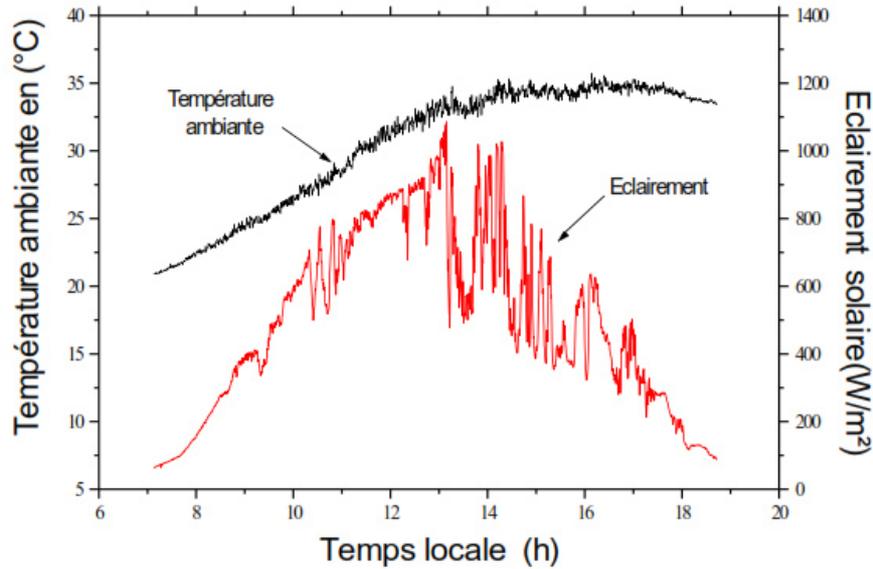


Figure 36 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 28/04/2012. Le rendement journalier moyen est de 46%.

Lors de la journée du 29/04/2012, le ciel était pratiquement dégagé sauf un très léger passage enregistré aux alentours de 13h. La température ambiante moyenne est 29.85°C c'est-à-dire un jour peu froid par rapport aux autres jours et le vent reste moyen. Durant ce test, on note un rendement journalier moyen très élevé (49%) du fait que l'irradiation globale est importante.

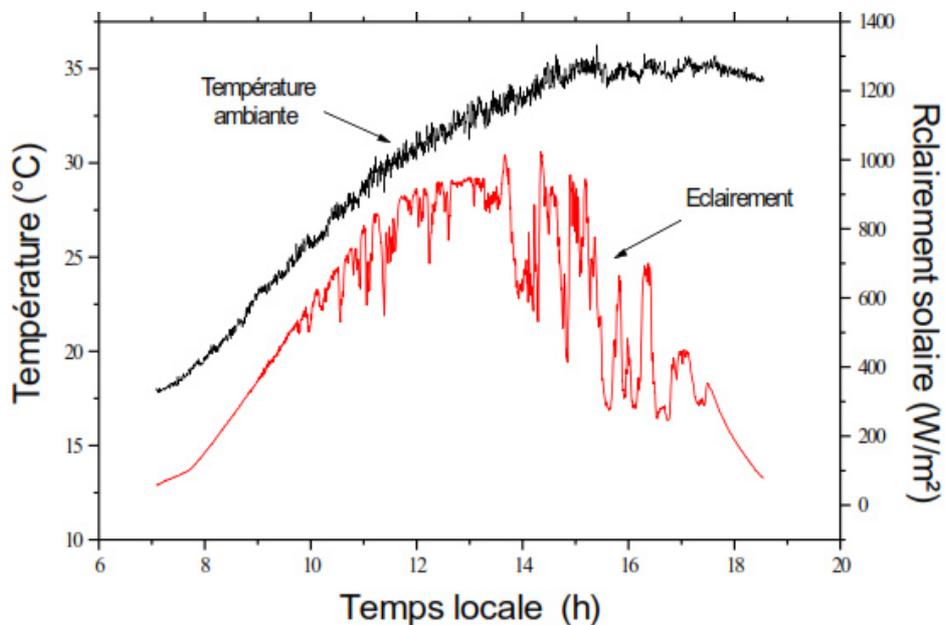


Figure 37 : Evolution de la température ambiante et de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan d'ouverture du capteur lors de la journée du 29/04/2012. Le rendement journalier moyen est 49%.

Les résultats de cette campagne de tests sont regroupés dans le **tableau 2.7**.

Tableau 2.7 : Résultats des campagnes de tests.

Date	H_{in} (W.h/m ²)	T_s (°C)	Δt (h)	T_a (°C)	ΔT_j (°C)	I_j (W/m ²)	$A * H_{in}$ (KJ)	η_j	$\Delta T_j / I_j$ (°C.m ² /W)
21/04/2012	6374.02	56.3	10.91	37	11.17	584.23	17439.31	0.47	0.019
22/04/2012	6611.81	50.6	11.91	33.5	18.22	555.14	18089.91	0.37	0.032
23/04/2012	2274.95	51.6	11.91	30.2	16.57	191.01	6224.26	0.36	0.086
24/04/2012	5471.02	60	11.38	34.3	12.79	480.75	14968.71	0.45	0.026
25/04/2012	5768.5	55.8	11.66	31	15.36	494.72	15782.61	0.39	0.031
26/04/2012	5817.66	57.7	10.92	26.4	12.35	532.75	15917.12	0.42	0.023
28/04/2012	5797.57	63.2	11.60	33	7.17	499.79	15862.15	0.46	0.014
29/04/2012	6111.24	66.6	11.46	32.4	10.29	533.26	16720.35	0.49	0.019

V. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté le matériau étudié où on a étalé toutes ses caractéristiques théoriques et mesurées expérimentalement. Ensuite, les techniques de caractérisation du vieillissement ont été développées. Et enfin, on a clôturé cette partie par exposer les tests de l'exposition solaire comme application expérimentale du comportement énergétique du matériau étudié suivant trois dispositifs solaires à effet de serre.

Ainsi, la caractérisation physico-chimique, du polyéthylène basse densité, a montré que le matériau présente des valeurs de conductivité thermique, de diffusivité thermique et de capacité thermique lui permettant d'être utilisé comme matériau absorbant où la conversion du rayonnement solaire en chaleur est appréciable dans le dispositif à effet de serre considérés. Les valeurs de l'éclairement dans le site considéré qui est le site de Tlemcen, ont été effectuées. Et suite aux tests énergétiques, on confirme la bonne tenue du PE nous ramène à une température maximale atteinte au niveau du matériau absorbeur est de 105 °C, ce qui est suffisant pour la distillation solaire où un maximum d'eau distillé a été obtenu lorsque les conditions de températures extrêmes sont considérées.

Dans le chapitre 3, nous traitons la modélisation et simulation numérique du même comportement énergétique en présentant le modèle mathématique ainsi que sa partie algorithmique afin de faire la résolution du système d'équations différentielles par la méthode de RUNGE-KUTTA dans les dispositifs solaires.

VI. Références bibliographiques:

- [1] G. E. DIETER, "Engineering design, a materials and processing approach", McGraw-Hill.
- [2] G. PAHL, W. BEITZ, "Engineering design", Springer.
- [3] M. M. FARAG, "Selection of materials and manufacturing processes for engineering design", Prentice Hall.