

Evaluation de l'efficacité énergétique et du comportement en endommagement d'un film polymère noir sur le rendement des dispositifs solaires.

N. Baba Ahmed¹, A. Benmoussat¹

¹Laboratoire en sciences des matériaux et environnement Université de Tlemcen - Algérie

Email: nassimbaba@yahoo.fr

Résumé

La production et la consommation d'énergie par prélèvement massives de combustibles fossiles contribuent à la modification de l'équilibre thermique à la surface de la terre en produisant des gaz à effet de serre auxquels on attribue le réchauffement actuel de la planète. Elle a introduit un excès des émissions de CO₂ qui n'a pas encore trouvé sa place dans le cycle de la matière organique et a contribué à l'augmentation de l'effet de serre. Une des voies explorée consiste à rechercher et à utiliser de nouvelles technologies sobres et propres, qui ne conduisent ni à l'épuisement des ressources ni à la modification de l'environnement et permettent un développement durable. Une des applications du solaire thermique est la production de l'eau douce à partir d'eau saumâtre et/ou d'eau salée ce qui nous ramène à développer les distillateurs solaires. Pour cela, on a besoin de connaître et d'améliorer le comportement des matériaux utilisés pour la conception de ses dispositifs, notamment les matériaux fonctionnels, qu'on utilise pour leurs propriétés physiques en général.

On s'intéressera dans ce travail aux matériaux polymères utilisés comme film noir absorbeur de chaleur et plus précisément le polyéthylène (PE). D'après la norme ISO 9080:2003, les films en PE sont censés résister à une pression hydrostatique constante pendant une durée de 50 ans à température ambiante (20°C) avec l'eau comme fluide interne. La question de la durabilité du PE est alors clairement posée. En effet, des ruptures prématurées ont été constatées depuis une dizaine d'années, et ceci est dû essentiellement aux canicules de chaleur qui amplifient le phénomène.

Notre objectif étant, tout d'abord, l'étude du comportement énergétique du PE comme absorbeur de chaleur, et ensuite voir l'influence de son vieillissement sur la durabilité et l'efficacité des distillateurs solaires.

Une problématique de l'étude est proposée pour faire un choix sur le type de matériau utilisé c'est-à-dire le polyéthylène comme matériau absorbeur de chaleur et montre les forts enjeux associés à cette étude. Par la suite, nous décrirons le rôle et l'intérêt du choix du matériau étudié dans la réalisation et la conception du distillateur solaire. Ainsi, on procède à la caractérisation physico-chimique du matériau d'étude et à l'analyse de sa microstructure initiale. De ce fait, nous effectuons des mesures de l'émissivité, de la conductivité thermique du matériau étudié pour valider notre choix.

Les discussions ont porté sur les résultats des expositions solaires qui ont montrés qu'une température maximale de 90°C a été obtenue à la surface de l'absorbeur et qui a

permis au système de fonctionner jusqu'à une certaine heure après le coucher du soleil, en particulier pour une épaisseur de nappe d'eau supérieure à 3cm ; il en résulte donc une augmentation du rendement global du dispositif. Par ailleurs, on a remarqué que le débit de production ne dévient mesurable que lorsque le gradient de température entre la nappe et le vitrage avoisine une température de 10°C. L'influence d'isolation est très marquée ; avec le bois tout seul on atteint à peine des températures de 50°C, mais en combinant à ce dernier le système en aluminium brillant (réflecteur), on dépasse 70°C. De même l'épaisseur de la nappe d'eau illustre son influence en l'obtention de production nocturne lorsque l'épaisseur avoisine 3cm. On a utilisé d'autres combinaisons et on a atteint des températures supérieures à 90 °C.

Les résultats numériques de la modélisation ont montrés qu'ils sont en adéquation avec ceux obtenus expérimentalement, sauf qu'on constate qu'il y a un petit décalage dans la distribution de température suite à un problème de perte thermique due essentiellement à une déperdition de la chaleur au niveau de l'isolation.

L'étude du vieillissement du film polymère en PE suite à son utilisation au sein distillateur solaire nous ramène à caractériser des échantillons vieillis, après utilisation où différentes techniques sont mises en œuvre pour déterminer la cinétique de dégradation du PE qui affecte ses propriétés mécaniques. Ces essais consistent essentiellement en des essais en laboratoire qui sont le plus représentatif de la sollicitation réelle.

Mots clefs : Polyéthylène, distillateur solaire, comportement énergétique, vieillissement chimique, absorbeur.

Matériel et méthodes :

Nous utilisons différentes méthodes de caractérisation du matériau d'étude : composition chimique, émissivité, conductivité thermique, diffusivité thermique, masse volumique et nous présenterons les résultats des tests d'exposition solaire : les différentes températures et l'éclairement solaire. Nous finirons par relater les différentes techniques expérimentales utilisées pour la caractérisation physico-chimique du vieillissement des échantillons du matériau d'étude, en l'occurrence, la diffraction des rayons X (DRX), la microscopie électronique à balayage (MEB), la spectrométrie à dispersion d'énergie (EDX) couplée au MEB, l'analyse thermique, l'UV-visible du solide et l'infra-rouge à transformée de Fourier (FTIR). Ces techniques d'analyse vont nous permettre d'évaluer les propriétés structurales et texturales de notre matériau d'étude.

Le PE, utilisée dans cette étude, est fabriqué au complexe

pétrochimique de Skikda (Algérie). Le film commercial de polyéthylène basse densité (PEBD) a 117 μm environ. Nous avons mesuré quelques propriétés de notre matériau le PE et nous résumons les résultats obtenus comme suit :

➤ Emissivité : On présente les résultats obtenus pour le matériau étudié, le film en PE, dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Les résultats de mesure de l'émissivité du matériau d'étude

Valeur de l'émissivité		Incertitude type composée	Incertitude élargie
8 - 14 μm	1-20 μm		
0,98	0,97	0,004	0,007

Les valeurs ont été obtenues après étalonnage sur une feuille d'aluminium rugueux, en considérant la même valeur d'émissivité dans les deux bandes de mesure. Les mesures ont été réalisées à température ambiante ($21^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$). On note que la valeur d'émissivité est légèrement plus élevée dans la bande 8-14 μm que dans la bande 1-20 μm .

➤ Masse volumique : La masse volumique du film polymère en PE a été caractérisée en utilisant un pycnomètre. La valeur de la masse volumique retrouvée par la mesure $\rho_{PE} = (0,929 \pm 0,01) \text{ g.cm}^{-3}$.

➤ Conductivité thermique, Diffusivité thermique et Capacité thermique massique : Nous présentons les résultats obtenus sur un film polymère en PE utilisé comme absorbeur de chaleur dans les dispositifs à effet de serre. Les valeurs de la conductivité et la diffusivité thermique du film polymère en PE sont caractérisées par la méthode périodique présentée au chapitre 2. La valeur de la conductivité thermique obtenue est $k_{PE} = (0,48 \pm 0,01)$ et la valeur de la diffusivité thermique est $a_{PE} = (0,314 \pm 0,02)$. La valeur de la capacité thermique massique du film polymère en PE est donnée par le calcul de la valeur de C_{pPE} à partir des valeurs de la masse volumique mesurée, de la conductivité et de la diffusivité

thermique en utilisant la relation suivante : $C_p = \frac{k}{a \cdot \rho}$

On obtient la valeur de la capacité thermique massique suivante : $C_{pPE} = (1,645 \pm 0,012)$.

➤ Autres propriétés : Nous récapitulons quelques propriétés intrinsèques au film en PE dans le **tableau 2**.

Tableau 2 : Quelques propriétés du matériau d'étude

Propriétés	Unité	Valeur
Densité		$0,943 \pm 0,001$
Température de fusion	$^\circ\text{C}$	$127,6 \pm 0,1$
Taux de cristallinité	%	40 ± 2
Masse molaire moyenne	Kg / mol	220
Module d'élasticité	Mpa	345 ± 50
Température de transition vitreuse	$^\circ\text{C}$	110
Coefficient de dilatation	K^{-1}	$2 \cdot 10^{-4}$

Nous présenterons deux études l'une sur un distillateur solaire en utilisant un bac en fer galvanisé peint en noir et recouvert d'un film polymère noir en PE comme absorbeur de chaleur et l'autre sur un capteur solaire plan. Nous présenterons les résultats expérimentaux dans les deux cas. L'acquisition des différents éléments pour la réalisation du distillateur solaire a été obtenue pour la plupart dans le commerce et sa conception est très simple,

facile à construire et surtout à maintenir. Comme le montre les **figure 1** et **figure 2**, il est constitué de :

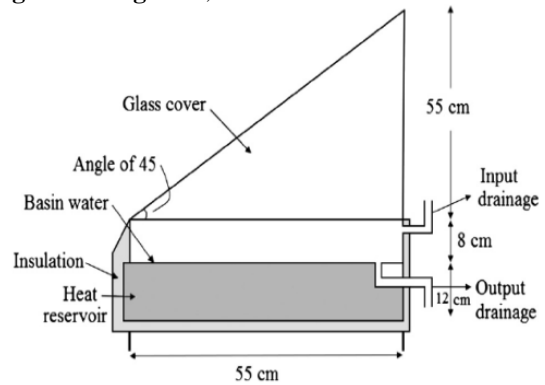


Figure 1 : Prototype du distillateur solaire réalisé.



Figure 2 : distillateur solaire avec une isolation en bois bien sec peint en blanc avec film d'aluminium.

Concernant le capteur solaire, 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 6000 Wh/m^2 , une durée d'insolation d'environ 3000 heures par an et un indice de clarté K_t moyen estimé à 0,75 [1]. Le capteur plan solaire à un seul vitrage est représenté sur la **figure 3**, 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 3 : Représentation du capteur solaire plan

Résultats :

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. En même temps nous avons procédé à la variation de certains paramètres pour constater leurs effets sur l'évolution de ceux mesurés. On peut voir sur la **figure 4** la variation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée des dispositifs solaires 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 4** 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.

Pour le distillateur, Les tests expérimentaux du distillateur solaire avec Bac + PE ont été réalisés durant le mois de Mai 2012. Pour bien expliquer ses tests, on donne tout d'abord la production journalière d'eau distillée par le distillateur solaire, puis on prendra chaque jour à part et on présentera plus d'interprétations sur les tests.

La production journalière d'eau distillée durant sept jours d'expérimentation (les jours sont numérotés de 1 à 7) est donnée par la **figure 5**.

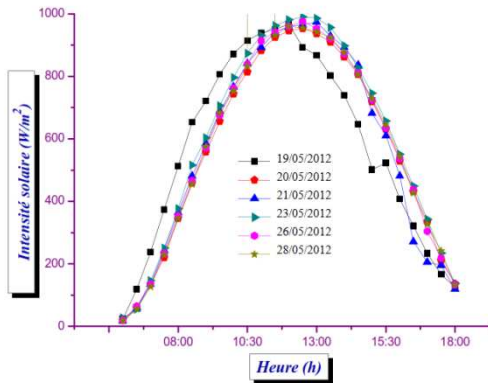
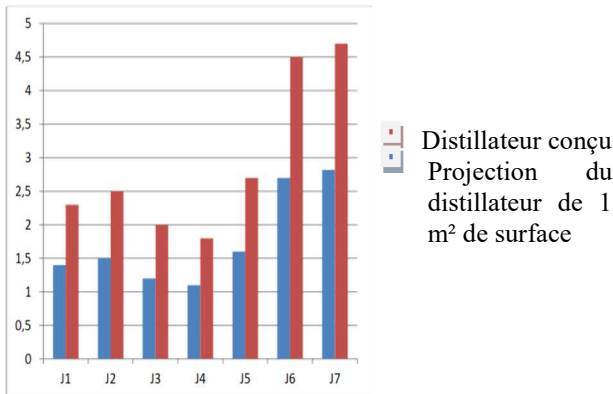


Figure 4 : Insolation des journées d'expérience.



L'histogramme de la **figure 21** représente la production journalière réelle d'eau distillée du distillateur solaire conçu et sa projection si la surface était de 1 m² pour pouvoir comparer avec la production d'autres distillateurs solaires dans le monde. On constate que la quantité d'eau distillée est assez importante pour ce qui est de la distillation solaire, surtout durant le 6^{ième} et 7^{ième} jour. En effet 2,82 litres (4,7 litres/m²) est une bonne production comparativement à d'autres distillateurs solaires conçus dans le monde, et surtout avec les premiers tests faits en 2011. On fait remarquer que durant tous les tests, le distillateur solaire étudié avait toujours la même position presque horizontale pour qu'on puisse l'utiliser comme Distillateur plan (stagnation de la solution dans l'absorbeur). Pour avoir plus d'interprétations sur les expériences réalisées, chaque jour va être traité à part.

Pour le capteur solaire, l'évolution du rendement journalier et les équations de caractérisation du capteur solaire plan étudié par le calage hivernal est représentée graphiquement. La **figure 5** est relative au lissage de premier degré.

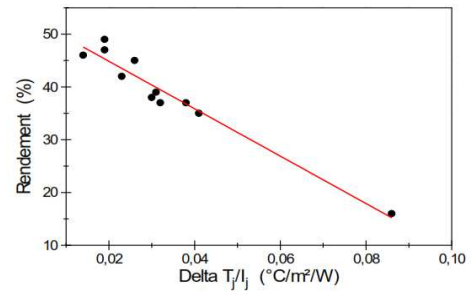


Figure 5 : Evolution du rendement journalier η_j en fonction de $\Delta T_j / I_j$ avec un lissage linéaire de premier degré.

Côté vieillissement du PE, la **Figure 6**, montre l'évolution du spectre IR d'un PE oxyde, dans la zone des carbonyles, avant et après traitement par NH₃ pendant 7 jours. Nous notons une forte diminution de la bande d'absorption des carbonyles centrée vers 1720 cm⁻¹ et l'apparition d'une bande d'absorption intense des carboxylates vers 1555 cm⁻¹. Il y a donc eu transformation des acides carboxyliques en carboxylates. Par contre, on n'observe pas la formation d'amides ce qui indique qu'il n'y aurait pas de groupes esters parmi les produits d'oxydation du PE.

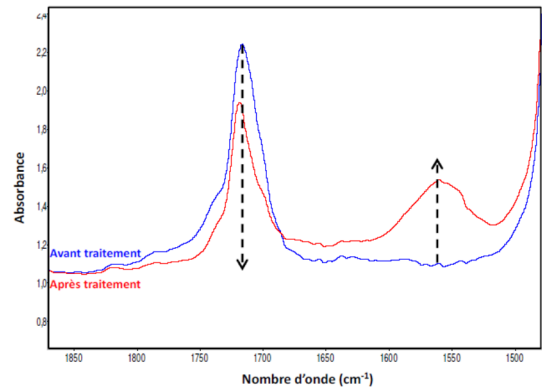


Figure 6 : Evolution du spectre IR d'un PE oxyde avant et après traitement par NH₃ pendant 7 jours.

Références :

- [1] Ministère de l'Energie e des Mines, « Bilan énergétique nationale de l'année 2010 », Edition 2011. www.mem-algeria.org.