

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

BABA AHMED Nassim^{1*}, BENMOUSSAT Abderrahim²

¹ Département de Physique, Faculté des Science, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, Tlemcen, Algérie.

² Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.

*Auteur correspondant : nassimbaba@yahoo.fr

Résumé - Nous sommes intéressés dans cette étude au matériau polymère polyéthylène (PE) utilisé comme matériau absorbant dans le capteur solaire qui constituera l'étude de son comportement énergétique durant l'exposition solaire et à l'influence de son vieillissement sur la durabilité et l'efficacité énergétique des capteurs solaires constitueront son comportement en vieillissement. Ainsi, la caractérisation physico-chimique du PE 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 notre étude, nous avons conçu et expérimenté deux types de dispositifs solaires à effet de serre qui sont un distillateur solaire simple et capteur solaire plan. Les températures des différents éléments constituant le système changent instantanément, et échangent de ce fait entre eux de la chaleur par conduction, convection, rayonnement et évaporation.

Mots Clés : Polyéthylène – Capteur solaire – Efficacité énergétique – Vieillissement du PE

1. Introduction

Le développement de nouveaux comportements et d'énergies de substitution est indispensable. Pour diversifier le bouquet énergétique, plusieurs types de ressources naturelles sont à notre disposition : la géothermie, l'éolien, la biomasse, l'eau et le soleil. L'énergie solaire, qui est à l'origine de la plupart des énergies sur Terre, est aussi une source inépuisable d'approvisionnement immédiat en énergie. La satisfaction des besoins en eau potable est en augmentation d'une manière continue alors que les réserves se trouvent constamment diminuées et mal réparties. Dans les régions où l'eau potable est rare comme les zones arides et semi arides, la production de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou d'une eau salée peut s'effectuer à partir de l'énergie solaire en utilisant les dispositifs énergétiques à effet de serre qui sont des capteurs solaires. Une des problématiques dans la captation solaire dans ce procédé est le choix des matériaux et leurs sélectivité pour optimiser l'absorption et réduire les transferts thermiques à travers l'isolation ou encore les matériaux transparents pour diminuer les réflexions et obtenir le maximum de rayonnement convertis. Certains matériaux se trouvent à la frontière entre les applications mécaniques et physiques, comme par exemple les matériaux polymères qui ont vu leur utilisation croître dans divers domaines vu leur

facilité de mise en œuvre, leur faible coût de production et leurs caractéristiques mécaniques. Un problème majeur que l'on rencontre pour les polymères thermoplastiques concerne leur durée de vie. De nombreux travaux ont été menés pour prédire la durée de vie. La compréhension et la prédiction de la durabilité de ces matériaux par rapport à leur dégradation sont, d'une façon générale, moins avancées et assez disparates selon le mode de vieillissement [1, 2]. Tous les matériaux utilisés dans les dispositifs à effet de serre se caractérisent surtout par leur instabilité plus au moins rapide dans le temps vis-à-vis du rayonnement solaire et surtout sa fraction ultraviolette (UV). Le vieillissement climatique des polymères entraîne l'évolution des propriétés du matériau tant sur le plan mécanique que chimique ou morphologique. Il combine, pour l'essentiel, les effets de la lumière, de la température et de l'oxygène. L'humidité, la pluie, le vent (et le vent de sable), la poussière, l'ozone et la pollution chimique sont d'autres agents aussi importants.

Nous sommes intéressés dans cette étude au matériau polymère, le polyéthylène (PE) utilisé comme matériau absorbant dans le dispositif solaire qui constituera l'étude de son comportement énergétique durant l'exposition solaire. Dans un second temps, l'influence de son vieillissement sur la durabilité et l'efficacité des dispositifs solaires constituera son comportement en vieillissement. La question de la durabilité du PE est alors clairement posée. En effet, des ruptures prématurées ont été constatées depuis une dizaine d'années [2], et ceci est dû essentiellement aux canicules de chaleur qui amplifient le phénomène. Le polyéthylène industriel totalement transparent aux UV, contient des défauts de structures (double liaisons, liaisons vinyliques), des impuretés métalliques restent du catalyseur et d'oxygène dont les proportions ont une grande influence sur la stabilité du matériau. Cette photodégradation est due essentiellement à la fraction ultraviolet contenue dans le spectre solaire et dans les longueurs d'onde sont comprises entre 280 et 400 nm [3, 4] et à la température. Le matériau est aussi transparent aux rayonnements infrarouges (IR) entre 800 et 1400 cm⁻¹ (7,1 à 12,5 μm) au maximum d'émission du corps noir. Aussi différentes actions sont menées au niveau du polymère pour qu'il présente d'une part une bonne couverture thermique et d'autre part une bonne stabilisation aux UV. La méthodologie d'étude consiste à mener l'étude dans un prototype solaire de laboratoire permettant de voir le comportement énergétique et le comportement en vieillissement.

2. Matériel et méthode

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.

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°C ± 3°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 $\rho_{PE} = (0,929 \pm 0,01) \text{ g.cm}^{-3}$.

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

➤ 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. 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 :

$$C_p = \frac{k}{a \cdot \rho} \quad (1)$$

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.

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

bac absorbant, Couverture verrière, Isolation thermique.
 Couverture extérieure, Tuyauterie,

Concernant le capteur solaire, Le banc d'essai a été réalisé au sein du au 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°, une longitude de -1,17° et une altitude de 750m. Le site est caractérisé par un ensoleillement très important, avec une irradiation moyenne journalière estimé à 6000Wh/m², une durée d'insolation d'environ 3000 heures par an et un indice de clarté K_t moyen estimé à 0,75 [5]. Le capteur plan solaire à un seul vitrage est représenté sur la figure 3, dont la surface totale est égale à 2,6 m², et la surface d'ouverture égale à 2.4 m². Il est monté sur une structure rigide en acier réglable à plusieurs niveaux d'inclinaison de 0°, 32°, 45°, 60° et 90°.

3. Résultats et discussion

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. L'histogramme de la figure 5 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 fais 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 la caractérisation du capteur solaire plan étudié par le calage hivernal est représentée graphiquement par la figure 6.

Côté vieillissement, la Figure 7 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. La composition chimique des films minces de PE a été vérifiée par spectrométrie infrarouge (IR) en mode transmission. Cette technique permet d'identifier et de doser les fonctions chimiques présentes au sein du matériau. Sur le spectre IR du PE pur (Figure 8), nous avons retrouvé toutes les bandes d'absorption caractéristiques du PE identifiées par Gulmine et al. [6] et par George et al. [7]. Ceci confirme que notre matériau est un PE. Le tableau 3 résume les principales bandes d'absorption IR du PE et leurs attributions [8] :

D'autre part et afin de vérifier que notre matériau est un PE, nous avons eu recours à la densimétrie qui a permis d'évaluer précisément, au moyen d'une balance, la masse du corps et celle

du même volume de solvant (l'eau dans cette étude) déplacé en utilisant le principe d'Archimède. La mesure de la densité a été réalisée à l'aide d'une balance analytique équipée d'un kit de mesure de densité avec une précision de 0,1 mg. Les 5 mesures (pour intégrer la dispersion des résultats) ont été réalisées assez rapidement (moins de 30 secondes) pour ne pas laisser le temps à l'eau de pénétrer dans les films.

Tableau 3 : Bandes d'absorption IR du PE et leurs attributions

Nombre d'ondes ^a (cm ⁻¹)	Nombre d'ondes ^b (cm ⁻¹)	Attribution
2919		Elongation asymétrique du CH ₂
2851		Elongation symétrique du CH ₂
1473 et 1463	1460	Déformation de flexion du CH ₂
1377		Elongation symétrique du CH ₃
1366 et 1351	1362 et 1350	Déformation de balancement du CH ₂ de la phase amorphe
1306	1304	Déformation de torsion du CH ₂
	1076	Déformation de balancement du C-C de la phase amorphe
731 à 720	720	Déformation de rotation du CH ₂

^a Résultats de Gulmine et al. [6], ^b Résultats de George et al. [7].

La calorimétrie différentielle à balayage (DSC) a permis de déterminer la température de fusion T_f et le taux de cristallinité χ_c du PE. 5 essais ont été effectués afin de tenir compte de la dispersion des résultats. Le matériau dont nous disposons a une masse volumique de $\rho_{PE} = (0,929 \pm 0,01) \text{ g.cm}^{-3}$, une température de fusion de $T_f = 115 \text{ °C}$ et un taux de cristallinité de $\chi_c = 39 \pm 0,02$. Ceci nous a permis de confirmer que le matériau est un polyéthylène basse densité (PEbd).

Nous avons réalisé des vieillissements accélérés sur le film mince du PE. Une attention particulière a été portée à l'évolution de la composition chimique du PE industriel, déterminée par spectrométries infrarouge et ultraviolet. Le film de PE a été exposé dans des étuves ventilées, à des températures entre 80 et 120 °C jusqu'à 40 jours. A intervalle de temps régulier, les échantillons ont été prélevés et analysés, notamment, par spectrométrie IR et UV. Nous avons suivi les produits d'oxydation du PE selon deux approches :

- L'approche classique qui consiste à suivre la concentration totale des produits carbonyles (C=O) et hydroxyles (-OH) à partir des absorbances des pics IR composites à $\approx 1720 \text{ cm}^{-1}$ et à $\approx 3400 \text{ cm}^{-1}$.
- L'approche plus rigoureuse qui consiste à mettre en œuvre des techniques de dérivation chimique pour déterminer les concentrations élémentaires des différents produits d'oxydation.

Dans l'approche classique, les produits d'oxydation du PE vieilli ont été analysés de façon globale par spectrométrie IR. La concentration totale des produits carbonyles (C=O) a été déterminée à partir de l'absorbance du pic IR composite centre vers 1720 cm^{-1} (Figure 9) en utilisant la loi de Beer-Lambert et un coefficient d'extinction molaire $\epsilon_{c=O}$ moyen.

La valeur du coefficient d'extinction molaire moyen $\epsilon_{c=O}$ dépend à la fois des coefficients d'extinction molaire élémentaires des différents groupes carbonyles ϵ_i , mais aussi de leurs proportions molaires $\%_{\text{mol}}$. Typiquement, les coefficients d'extinction molaire élémentaires des carbonyles (C=O) varient entre $\approx 150 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ pour les aldéhydes et $680 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ pour les acides carboxyliques (Tableau 4). En première approximation, nous avons choisi une valeur moyenne

pour $\epsilon_{c=0}$ de $360 \text{ mol.L}^{-1}.\text{cm}^{-1}$. Cette valeur tient compte des proportions et des coefficients molaires des différents groupes carbonyles formes entre 80 et 120 °C dans l'air.

Tableau 4 : Coefficients d'extinction molaire utilisés pour déterminer la concentration des différentes espèces carbonyles par spectroscopie IR.

Nombre d'ondes (cm^{-1})	Composé	ϵ ($\text{mol L}^{-1} \text{cm}^{-1}$)
1718 - 1700	Acides carboxyliques	680 [9]
1735 - 1718	Cétones	350 [10]
1730 - 1736	Aldéhydes	155 [9]
1738 - 1746	Esters	590 [10]

Dans le cas des produits hydroxyles (-OH), la concentration totale a été déterminée à partir de l'absorbance du pic IR composite centre vers 3370 cm^{-1} (**Figure 10**) en utilisant la loi de Beer-Lambert et un coefficient d'extinction molaire $\epsilon_{\text{O=H}}$ moyen. Cependant, les coefficients d'extinction molaire élémentaires des hydroxyles (-OH) c'est-à-dire des hydroperoxydes, des acides et des alcools sont du même ordre de grandeur $\approx 70 \text{ mol.L}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ (**Tableau 5**). Nous avons donc gardé cette valeur moyenne pour $\epsilon_{\text{O=H}}$.

Tableau 5 : Coefficients d'extinction molaire utilisés pour déterminer la concentration des différentes espèces hydroxyles par spectroscopie IR.

Nombre d'ondes (cm^{-1})	Composé	ϵ ($\text{mol L}^{-1} \text{cm}^{-1}$)
3550	hydroperoxydes libre (ROOH)	70 [11]
3415	hydroperoxydes associés (ROOH)	70 [11]
3550 - 3200	alcool/phenol	70 [10]
3200 - 2500	Acide	70 [10]

4. Conclusions

Nous avons étudié le comportement énergétique du polyéthylène basse densité utilisé comme matériau absorbant par une simulation expérimentale dans un prototype de distillateur solaire et par une simulation numérique. L'étude a été complétée par une caractérisation en vieillissement du matériau où le problème majeur que l'on rencontre pour les polymères thermoplastiques tel que le PE concerne leur durée de vie où de nombreux travaux ont été menés. La compréhension et la prédiction de la durabilité de ces matériaux par rapport à leur dégradation sont, d'une façon générale, moins avancées et assez disparates selon le mode de vieillissement. Tous les matériaux utilisés dans les dispositifs à effet de serre se caractérisent surtout par leur instabilité plus au moins rapide dans le temps vis-à-vis du rayonnement solaire et surtout sa fraction UV.

En comportement énergétique sous exposition solaire, le PE a présenté un maximum d'échanges thermiques caractérisés par une grande absorption et une faible réflexion. Le distillateur solaire conventionnel est basé sur le principe de l'effet de serre. Lors de la distillation, l'augmentation de la température fait réchauffer l'eau saumâtre qui s'évapore. Cette capacité d'évaporation grandit au fur et à mesure que la température augmente jusqu'à ce que l'air atteigne sa saturation en vapeur d'eau. La vapeur d'eau ainsi obtenue se condense sous le vitrage. Les gouttelettes d'eau s'écoulent vers la

partie inférieure. Les variations des températures nous suggèrent à dire que la production d'eau distillée dépend évidemment de l'énergie solaire incidente et aussi de la surface absorbante ; entre autre un volume de 2 litres de distillat de très bonne qualité a pu être récupéré en fin de journée. On a constaté également un fort gradient de température entre la nappe d'eau, la zone tampon saturée de vapeur d'eau et la vitre, ce qui favorise la condensation et l'évaporation.

Lors de la distillation solaire l'influence de l'écart de température entre l'absorbeur et la vitre sur l'efficacité de l'échange thermique est à considérer. Il a été utilisé pour obtenir les variations de certains paramètres, en fonction de certains facteurs à la région de Tlemcen, qui est une région bénéficiant d'un bon ensoleillement, surtout durant la d'été. Nous avons étudié à cet effet, l'influence de cet écart sur les différentes quantités échangé, les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'augmentation de la puissance absorbée par l'absorbeur augmente la température de l'absorbeur,
- L'augmentation de la température de l'absorbeur augmente la puissance utile reçue par l'air,
- L'augmentation de la température de l'absorbeur a pour effet d'augmenter la température de l'air,
- Les pertes globales augmentent avec l'augmentation de l'écart de température entre l'absorbeur et la vitre,
- L'augmentation de l'écart de température entre l'absorbeur et la vitre augmentera le rendement du capteur solaire,
- Une augmentation de l'écart de température entre l'absorbeur et le vitrage minimisera l'entropie du système.

A la fin on pense que des études peuvent être développées sur :

- Les pertes de chaleur, car la diminution de ces pertes à un grand effet sur l'efficacité des capteurs solaires,
- Les pertes de charge, qui ont une grande influence sur le rendement du capteur solaire, et leurs effets sur la minimisation de l'entropie et la maximisation de l'énergie,
- Déterminer les facteurs responsables de la génération de l'entropie du fluide caloporteur.

En comportement en vieillissement sous exposition thermique du PE comporte les conclusions suivantes :

- Le vieillissement thermique du PE dans l'air consiste en une perte physique et une consommation chimique suivies immédiatement par une oxydation brutale du polymère,
- Dès que la totalité des antioxydants a disparu, le PE s'oxyde brutalement et se fragilise. On peut donc raisonnablement considérer que la durée de vie du PE correspond au temps d'induction de l'oxydation qui, lui-même correspond au temps nécessaire pour perdre l'ensemble des antioxydants ($t_f \approx t_i = t_s$),
- Les produits d'oxydation les plus polaires, c'est-à-dire les groupements alcools et acides carboxyliques, sont les principaux contributeurs à l'absorption d'eau d'un PE non oxyde, ayant un taux de cristallinité de 39 %, est extrêmement faible ≈ 18 ppm.

Références

1. S. CASTAGNET, Y. DEBURCK, "Relative influence of microstructure and macroscopic triaxiality on cavitation damage in semi-cristalline polymer", Mater. Sci. Eng., A448, 2007, 56-66.
2. I. MKACHER, « Vieillissement thermique des graines de PE et de PVC des câbles électriques », Thèse de Doctorat, PARISTECH et Ecole nationale supérieure des arts et métiers de PARIS, Décembre 2012.
3. W. WANG, B. QU, "Photo and thermo-oxidative degradation of photocrosslinked ethylene-propylene-diene terpolymer", Polymer degradation and stability, 81, 2003, 531-537.
4. A. KUMAR, S. COMMERUC, V. VERNEY, "Ageing of elastomers: A molecular approach based on rheological characterization", Polymer degradation and stability, 85, 2004, 751-757.
5. Ministère de l'Energie e des Mines, « Bilan énergétique nationale de l'année 2010 », Edition 2011. www.mem-algeria.org.
6. J. V. Gulmine et al., "Polyethylene characterization by FTIR", Polymer Testing, 21(5), 557-563, 2002.

7. G. A. George et al., "Real-time analysis of the thermal oxidation of polyolefins by FT-IR emission", *Polymer Degradation and Stability*, 48(2), 199-210, 1995.
8. S. Krimm, C.Y. Liang, G. B. B. M. Sutherland, "Infrared Spectra of High Polymers. II. Polyethylene", *The Journal of Chemical Physics*, 25(3), 549-562, 1956.
9. D. J. Carlsson, D. M. Wiles, "The Photodegradation of Polypropylene Films. III. Photolysis of Polypropylene Hydroperoxides", *Macromolecules*, 2(6), 597-606, 1969.
10. J. Lacoste, D. J. Carlsson, "Gamma-, photo-, and thermally-initiated oxidation of linear low density polyethylene: A quantitative comparison of oxidation products", *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 30(3), 493-500, 1992.
11. M. H. Tabankia, J.-L. Philippart, J.-L. Gardette, "Photo-oxidation of block copoly(ether-ester) thermoplastic elastomers", *polymer degradation and stability*, 12(4), 349-362, 1985

Figures :

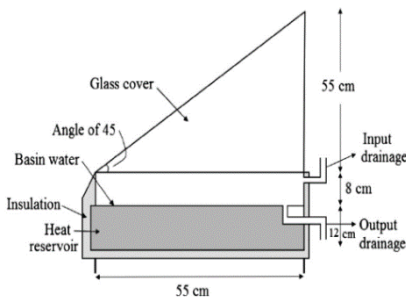


Figure 1 : Prototype du distillateur solaire réalisé.



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



Figure 3 : Représentation du capteur solaire plan

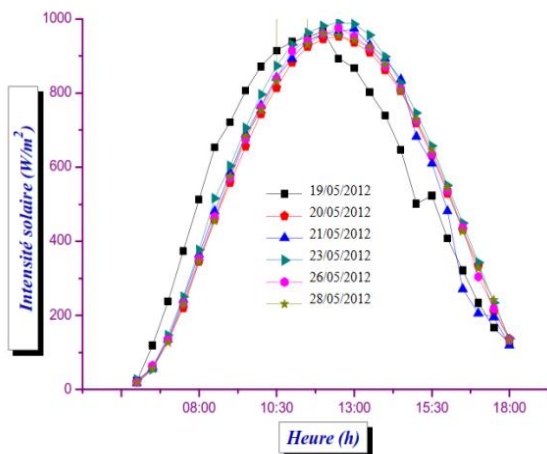


Figure 4 : Insolation des journées

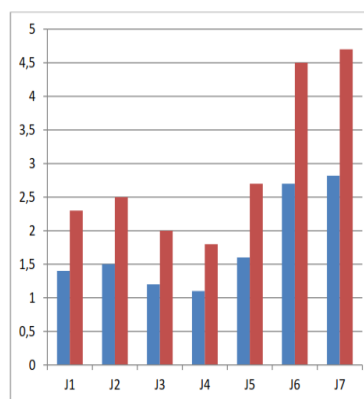


Figure 5 : Production journalière en eau

d'expérience.

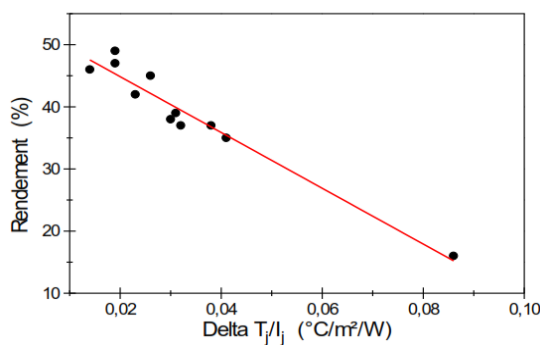


Figure 6 : Evolution du rendement journalier η_j en fonction de $\Delta T_j / I_i$

distillée

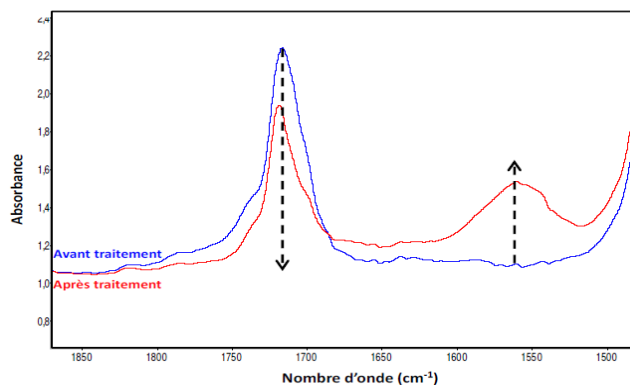


Figure 7 : évolution du spectre IR d'un PE oxyde avant et après traitement par nh_3 pendant 7 jours

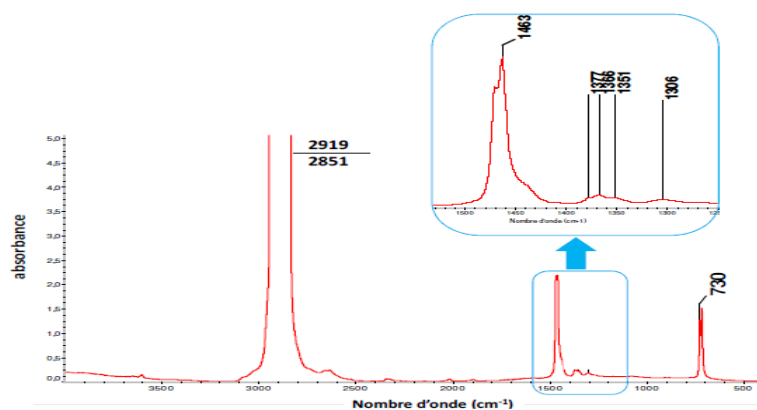


Figure 8 : Spectre IR en transmission d'un film de PE. La représentation inclut un zoom de la zone 1 550 – 1 300 cm^{-1} pour montrer toutes les bandes d'absorption du PE.

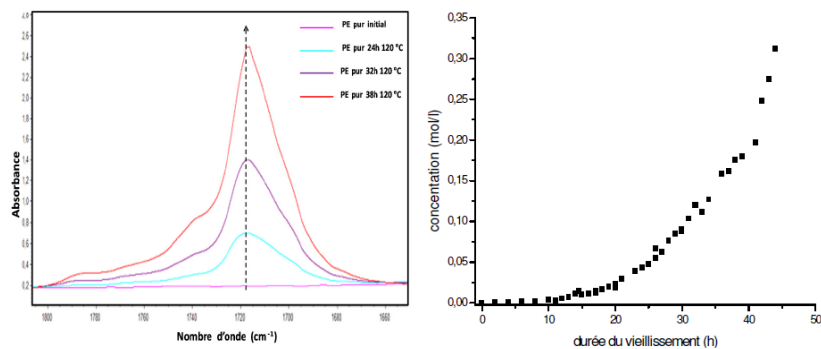


Figure 9 : Accumulation des espèces carbonyles ($\text{C}=\text{O}$) au cours du vieillissement thermique du PE pur dans l'air à 120 °C.

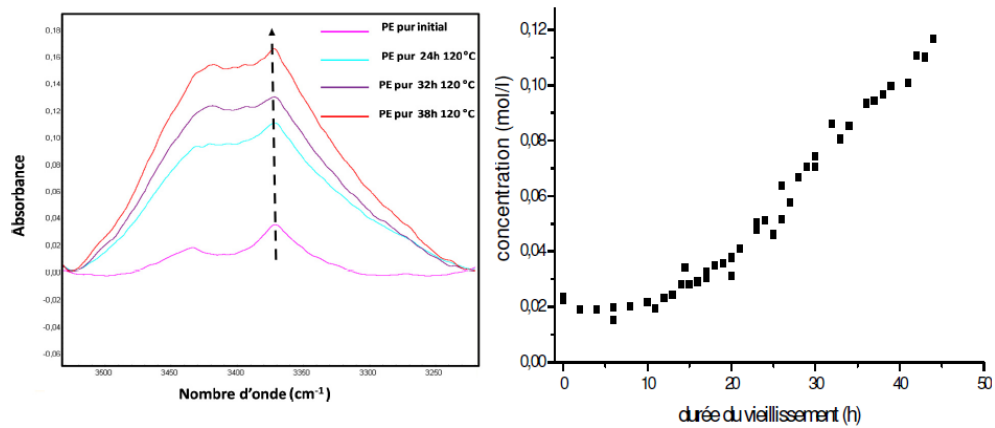


Figure 10 : Accumulation des espèces hydroxyles (-OH) au cours du vieillissement thermique du PE pur dans l'air à 120 °C.