

CONCEPTION ET ETUDE DE PERFORMANCE D'UN CAPTEUR PLAN A EAU MULTI SYSTEMES

PRODJINONTO V. et AWANTO C.

Laboratoire d'Etudes et Recherche en Techniques Industrielles (LERTI)
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi
01 BP.2009, Cotonou (Bénin).
E- mail : prodjinontov@yahoo.fr

(Reçu le 26 octobre 2006 ; Révisé le 26 mars 2008 ; Accepté le 12 juin 2008)

RESUME

Les travaux de recherche ont porté sur la construction et l'étude de performance d'un capteur plan à eau multi systèmes. La particularité de ce capteur plan à eau est qu'il est doté d'un ensemble de 8 robinets qui, par un jeu de fermeture et d'ouverture d'un certain nombre d'entre eux permet d'avoir, avec le seul capteur construit, trois types de capteurs classiques. L'utilisateur d'un tel dispositif, fait un choix particulier d'une configuration, en fonction de ses besoins relatifs au débit, à la température ; mais aussi en tenant compte des conditions météorologiques. Les résultats satisfaisants obtenus, l'ont été grâce à un équipement de mesure très performant dont dispose le LERTI et ont porté sur l'exploitation d'une seule configuration.

Mots clés : Jeu de robinets, capteur multi systèmes, Choix de configuration, performance.

ABSTRACT

The research tasks related to the construction and the study of performance of a plane sensor to water multi systems. The characteristic of this plane sensor with water is that it is equipped with a whole of eight taps which, by a play of closing and opening of a certain number of them makes it possible to have, with the only built sensor, three types of traditional sensors. The user of such a device makes a particular choice of a configuration, according to his needs relating to the flow, the temperature; but also by holding account of the weather conditions. The satisfactory results obtained, were it thanks to very powerful equipment of measurement available to the LERTI and related to the exploitation of only one configuration.

Key words: Set of taps, sensor multi systems, choice of configuration, performance.

INTRODUCTION

Le déficit en énergie et la situation paralysante des économies de nos pays qu'il engendre, n'est plus un secret pour personne. Pour réduire un tant soit peu la forte pression qui s'exerce sur l'énergie électrique, nous avons entrepris de perfectionner le capteur plan à eau. Nous avons construit un prototype d'un capteur multi système pouvant offrir un service minimum en tout temps. Nous nous sommes particulièrement intéressés à son dimensionnement, à ses caractéristiques et sa performance. Le but poursuivi à terme est de passer à un capteur plus géant devant servir de démonstrateur à une vulgarisation du

système de captation. C'est la première phase notamment, les résultats de la première configuration que nous publions. De nombreux travaux sur la caractérisation d'un capteur plan ont été entrepris. Entre autres nous pouvons citer : Roger Bernard ; Gilbert Menguy et Marcel Schwartz [1] qui ont exprimé le rendement d'un capteur en fonction d'un coefficient F qui est égal à la quantité de chaleur réellement extraite rapportée à la quantité de chaleur extraite si l'absorbeur était à la température du fluide. M. Chateauinois et D. Roux [2] ont quant à eux exprimé le rendement en fonction d'un coefficient γ appelé coefficient optique du capteur solaire. Hottel-Whillier-Bliss [3] a de son côté caractérisé le capteur

plan à l'aide de la température de la plaque absorbante. Nous avons pour le présent travail adopté le modèle [1].

MATERIELS ET METHODES

1.1. Matériel

1.1.1. Capteur expérimental

Il est composé :

- d'une vitre de 1m de largeur ; de 1,5m de longueur et de 4mm d'épaisseur.

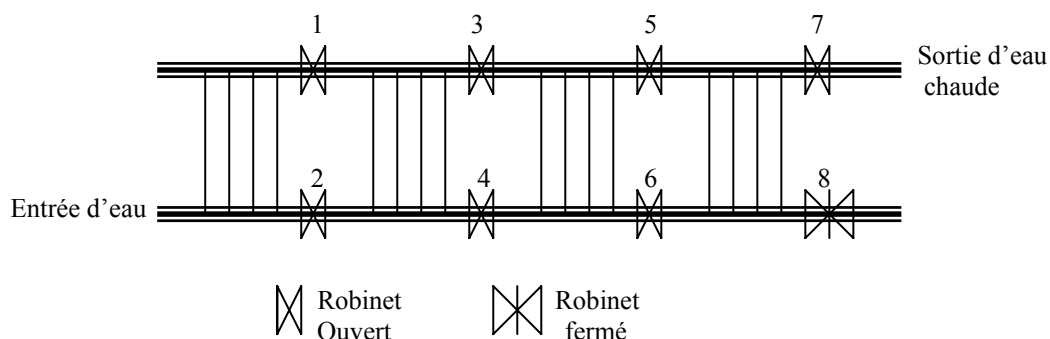
- d'un absorbeur en feuille de tôle acier de 1mm d'épaisseur ; de 1,464m de longueur et de 0,964m de largeur.

- d'un circuit caloporteur constitué de quatre groupes de quatre tuyaux en cuivre 12/14 soudés aux collecteurs, tuyaux en cuivre 26/28. Les collecteurs sont dotés de quatre robinets chacun grâce auxquels il est possible d'obtenir trois types de capteurs classiques

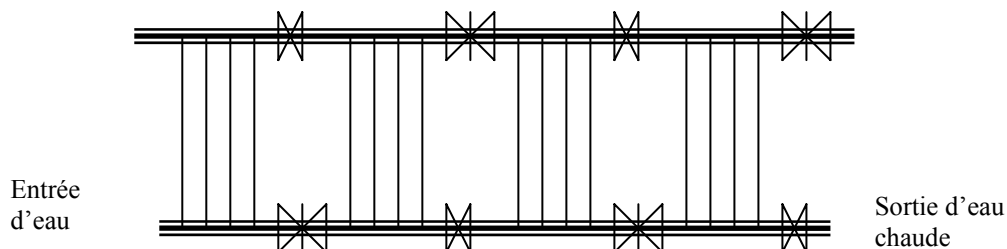
- d'un coffre métallique ayant à sa base une feuille de tôle acier de 2mm d'épaisseur, de 1,504m de longueur et de 1,004m de largeur (dimensions intérieures). Les faces latérales sont en feuilles de tôle acier de 1,5mm d'épaisseur et de 9cm de hauteur.

1.1.1.1 Les différentes configurations

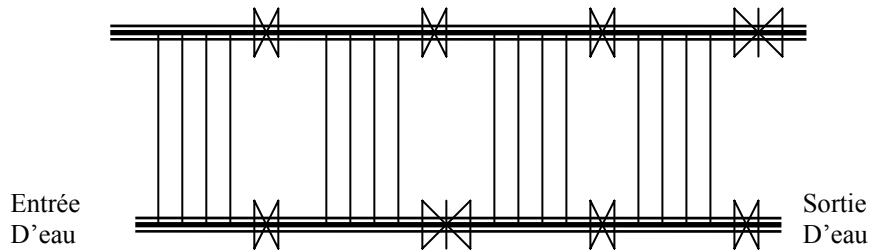
Configuration N°1



Configuration N°2



Configuration N°3



1.1.1.2 Fonctionnement

Dans la configuration N°1, seul le robinet N°8 est fermé. Le fluide s'échauffe de façon uniforme dans les quatre groupes de tuyaux. Il s'ensuit un afflux important d'eau chaude dans le collecteur d'eau chaude. Le débit est donc important car, on note un accroissement de la vitesse de l'eau chaude dans le collecteur. L'eau effectue un seul passage du collecteur d'eau froide vers le collecteur d'eau chaude ; sa température ne sera pas très élevée en comparaison avec les cas suivants.

Dans la configuration N°2, les robinets N° 2 ; 3 ; 6 et 7 sont fermés. Le fluide venant du ballon effectue quatre passages au sein du capteur avant de revenir au ballon de stockage. L'afflux d'eau chaude est relativement faible en comparaison avec le cas précédent ; par contre, le fluide a largement le temps de s'échauffer. La température sera très importante pour un débit assez faible en comparaison avec le cas précédent.

Dans la configuration N°3, les robinets N° 4 et 7 sont fermés. Le fluide venant du ballon effectue deux passages au sein du capteur avant de revenir au ballon. Ce dernier cas est intermédiaire entre les deux cas précédents ; débit et température seront intermédiaires entre ceux obtenus précédemment.

1.1.2. Ballon de Stockage

C'est un ballon d'une capacité de 100 litres, acquis dans le commerce.

1.1.3. Unité d'Acquisition de Données «Scanning Thermocouple»

Le LERTI dispose d'un appareil livré par SOLOMAT qui permet de mesurer des paramètres chimiques et

météorologiques tels que le pH, l'humidité relative, la température ambiante, la vitesse du vent, la pression, et l'ensoleillement. Une unité centrale MPM400 connectée avec un modumètre le 4013 et des sondes forment un système complet de mesure multicanaux. Le module d'environnement 4013 offre jusqu'à 32 canaux avec possibilité de stockage de données en temps réel d'alarme. Le processeur Matriciel MPM400 est l'unité centrale chargée du contrôle, de la mesure et de la surveillance des paramètres d'environnement et chimique ; il peut aussi être connecté à un pc.

1.2. Protocole d'Expérimentation

L'expérimentation concerne la configuration N°1 " une passe " du capteur et a pour objectif de procéder à une estimation de certaines caractéristiques du capteur telles que le coefficient de déperdition K ; le coefficient de débit Fq ; le facteur de correction de débit Fc ; la puissance utile Pu ; la puissance perdue Pp. Les paramètres observés sont : l'ensoleillement (I) ; les températures interne et externe de la vitre (Tvi ; Tve) ; la température de l'absorbeur (Tn) ; les températures interne et externe de l'isolant (Tii ; Tie) ; la température du fluide à l'entrée du capteur (Te) ; la température du fluide à la sortie du capteur (Ts) ; la température ambiante (Ta) et la vitesse de l'air (Va). Des thermocouples du type K soigneusement installés ont permis d'obtenir les différentes températures ; la vitesse quant à elle a été relevée par un anémomètre. Les débits ont été mesurés à l'aide d'une éprouvette graduée et d'un chronomètre. Les relevés ont été effectués de 10h30 à 16h30 avec un pas d'échantillonnage de 30mn. Les résultats des mesures sont dans les tableaux suivants.

Tableau I : Campagne de mesures du 22/10/2004. Débit $q_m = 0 \text{ kg/h}$.
Les températures sont en degré Celsius ; V_a (m/s) ; I (mv)

heures	Tve	Tve	Tn	Tii	Tie	Te	Ts	Ta	Va	I
10h30	41,8	34,8	57,2	28,3	37,3	40,2	54,6	32,9	1,4	7,7
11h	41,1	39,5	62,8	29,9	39,1	39,6	55,6	33,8	0,6	5
11h30	40,2	37,4	62,1	30	39	38,5	58,3	36,3	1,6	23,5
12h	37,7	33,2	68,7	30	35,1	37,3	56,7	34,8	0,8	25,3
12h30	49,8	43	85,9	31,1	40,4	40,7	71,4	33,4	1,8	21,7
13h	50,6	42,1	86,7	30,2	39,9	40,6	76,1	36,3	2	19,7
13h30	50,4	43,2	87,8	29,4	39,8	43	80,5	37	2,6	18,1
14h	44,1	43,8	87,7	29,1	37,4	40,5	81,9	35,3	1,6	17,7
14h30	44,3	43,1	90,3	29	37,7	40,7	82,8	32,3	4,5	12,7
15h	47,3	44,4	91,6	30,1	37,7	42,7	82,1	32,3	0,8	10,2
15h30	45,9	42,3	90,8	30,1	36,8	42,6	82,3	32,8	2,6	8
16h	44,7	40,1	91,2	30,9	36,2	46,7	82,3	34,1	1,4	3,2
16h30	35	33,8	91,2	30,4	34,5	47,1	82,2	33,4	2,2	14
	44	40,3	81	29,8	37,7	41,5	73	34,2	1,83	14

Tableau II : Campagne de mesures du 25/10/2004. Débit $q_m = 15 \text{ kg/h} = 90 \text{ kg/J}$.
Les températures sont en degré Celsius ; V_a (m/s) ; I (mv)

Heures	Tvi	Tve	Tn	Tii	Tie	Te	Ts	Ta	Va	I
10h30	47,6	40,1	,8	29,7	36,6	26,8	62,2	29,9	0,6	22,5
11h	48,9	44,8	74,3	31	39,4	25,1	72,6	30,4	2,8	15,2
11h30	48,8	41,7	74,5	30,9	38,7	25,3	70,5	30,2	1,2	10,7
12h	46	40,2	73,3	31,6	37,3	23	73,6	27,4	3	11,3
12h30	46,8	40,7	70,4	30	37,4	24,1	72,9	29,7	1,4	10,9
13h	44,3	37,3	71,6	30,2	35,9	23,1	73,6	30,7	1,4	11,3
13h30	45,9	40,2	69,3	30,1	36	23,4	72,6	28,7	1,6	16,3
14h	51,2	47,6	81,9	30,3	39,3	25,2	74	29,0	2,4	6,8
14h30	45,2	38,4	81,7	30,4	36,7	23,2	77,1	27,2	2,6	10,2
15h	46,8	41,8	81,8	29,0	36,4	23,9	72,5	29,4	3,2	13,4
15h30	52,4	49,3	81,4	29,5	38,6	26,6	67,9	31,6	2,6	11,3
16h	38,8	36,6	80,6	29,6	35,1	24,3	64,2	30,2	2	2,7
16h30	34,4	30,6	60,8	29,4	32,5	22,6	59,4	27,6	1,6	2,5
	46	41	74	30	37	24	70	29	2	11

Tableau III : Campagne de mesures du 27/10/2004. Débit $q_m = 17 \text{kg/h} = 100 \text{kg/J}$
Les températures sont en degré Celsius ; $V_a(\text{m/s})$; $I(\text{mv})$

Heures	Tvi	Tve	Tn	Tii	Tie	Te	Ts	Ta	Va	I
10h30	41,8	34,8	65,2	28,3	37,3	20,2	60,6	34,9	1,4	9,7
11h	41,1	39,5	70,8	29,9	39,1	20,6	63,6	33,8	0,6	7,7
11h30	40,2	37,4	70,1	30	39	19,5	65,3	29,3	1,6	5
12h	37,7	33,2	66	30	35,1	21,3	57,7	31,8	0,8	23,5
12h30	49,8	43	73,6	31,1	40,4	21,7	71,4	33,4	1,8	25,3
13h	50,6	42,1	72,1	30,2	39,9	19,6	67,1	30,3	2	21,7
13h30	50,4	43,2	72,3	29,4	39,8	21	70,5	33	2,6	19,4
14h	44,1	43,8	78,9	29,1	37,4	22,5	68,9	35,3	1,6	18,1
14h30	44,3	43,1	76,6	29	37,7	19,7	67,8	33,3	4,5	17,7
15h	47,3	44,4	73,1	30,1	37,7	23,7	68,1	39,8	0,8	12,7
15h30	45,9	42,3	68,3	30,1	36,8	24,6	67	27,1	2,6	10,2
16h	44,7	40,1	69,7	30,9	36,2	20,7	67	30,4	1,4	8
16h30	35	33,8	69,2	30,4	34,5	22,1	66,2	27,2	2,2	3,2
	44	40	71	30	38	22	67	32	2	14

1.2.1. Calcul des Paramètres

1.2.1.1. Formules

Les lois des échanges thermiques dans un capteur plan sont connues. Nous avons choisi le modèle [1] pour l'évaluation des paramètres.

La loi de la conservation de l'énergie permet d'écrire :

$$P_{adt} = P_{udt} + P_{pdt}$$

Soit :

$$P_a = P_u + P_p$$

Avec :

$$P_a \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) : \text{Puissance absorbée}$$

$$P_u \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) : \text{Puissance utile}$$

$$P_p \left(\text{W} / \text{m}^2 \right) : \text{Puissance perdue}$$

La puissance absorbée P_a s'écrit :

$$P_a = I \cdot \tau \cdot \alpha \quad \text{Avec :}$$

$I \left(\text{W} / \text{m}^2 \right)$: Puissance incidente au niveau du capteur

$\tau (\%)$: Transmissité des parois protectrices

$\alpha (\%)$: Absorptivité des parois absorbantes

La puissance utile quant à elle est donnée par la relation

$$P_u = q_c \cdot (T_s - T_e) = I \cdot \eta$$

dans laquelle :

$q \left(\text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s} \right)$: Débit massique du fluide caloporteur par unité de surface

$c \left(\text{J} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \right)$: Chaleur spécifique du fluide

$T_s \left(^\circ\text{C} \right)$: Température du fluide à la sortie du capteur

$T_e \left(^\circ\text{C} \right)$: Température du fluide à l'entrée du capteur

η : Rendement instantané du capteur

Les déperditions du capteur sont calculées par la formule :

$$Pp = K (T_n - T_a)$$

dans laquelle:

$K (W/m^2 \cdot ^\circ C)$: Coefficient de déperdition globale de

l'absorbeur

$T_n (^\circ C)$: Température moyenne de l'absorbeur

$T_a (^\circ C)$: Température ambiante.

La température de sortie du fluide est donnée par la Formule

$$T_s = \frac{\alpha I}{K} (1 - e^{-mL}) + (T_e - T_a) e^{-mL} + T_a$$

Dans cette relation l'expression m s'écrit :

$$m = \frac{h \cdot K}{qcL (h + K)}$$

$h_t (W/m^2 \cdot ^\circ C)$: Coefficient de transmission de la chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur.

$L(m)$: Longueur de l'absorbeur

$\alpha \tau$: représente le facteur optique

Le rendement instantané du capteur s'exprime par :

$$\eta = \frac{Pu}{I} \text{ dont le développement donne :}$$

$$\eta = Fq \left(\alpha \tau - \frac{K}{I} (T_e - T_a) \right) \text{ avec}$$

$$Fq = \frac{qc}{K} (1 - e^{-mL}) \text{ : Coefficient de débit}$$

Le coefficient de déperdition globale K s'écrit :

$$K = \frac{\lambda}{e} + \left[\frac{1}{h_r'} + \frac{1}{h_r'' + h_{cv}''} \right]^{-1}$$

$h = \frac{\lambda}{e}$: Conductance des pertes par arrière

$$h_r' = \frac{\sigma \varepsilon_a \cdot (T_n^4 - T_{vi}^4)}{T_n - T_{vi}} \text{ : Coefficient}$$

d'échange par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur avec

$$\varepsilon_a = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{vi}} + \frac{1}{\varepsilon_n} - 1}$$

$\varepsilon_{vi} (\%)$: émissivité de la vitre

$\varepsilon_n (\%)$: émissivité de l'absorbeur

$h_{cv}' = 5,7 + 3,8 Va$: Coefficient de convection entre la vitre et le milieu ambiant

$$h_r'' = \frac{\sigma \varepsilon_v \cdot (T_{ve}^4 - T_a^4)}{T_{ve} - T_a} \text{ : Coefficient de}$$

rayonnement entre la vitre et le milieu ambiant.

Le coefficient de transmission de la chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur est donnée par :

$$h_t = \frac{1}{16d\pi \cdot l'} \left[\frac{T_n - T_e}{qm \cdot c(T_s - T_e)} - \frac{e_n}{\lambda_n} - \frac{e_c}{16\lambda_c d\pi \cdot l'} \right]^{-1}$$

1.2.1.2. Valeurs des paramètres calculés

Avec les données

suivantes : $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$;

$\lambda = 0,041 W / m \cdot ^\circ C$; $e = 0,007 m$; $\varepsilon_n = 0,95$;

$S = 1,41 m^2$.

On obtient avec le tableau 2 :

$K = 5,74 W / m^2 \cdot ^\circ C$; $m = 0,246$; $F_q = 0,956$

$F_c = 0,999$; $P_u = 568 W / m^2$; $P_p = 258 W / m^2$ Ces

calculs permettent de situer le facteur optique $\alpha \tau = 0,826$.

On obtient avec le tableau 3:

$K = 7,66 W / m^2 \cdot ^\circ C$; $m = 0,316$; $F_q = 0,873$;

$F_c = 0,795$; $P_u = 618 W / m^2$; $P_p = 298 W / m^2$.et

le facteur optique $\alpha \tau = 0,916$. Une moyenne de ses paramètres donne :

$P_{um} = 593 W / m^2$; $F_{qm} = 0,9145$;

$K_m = 6,7 W / m^2 \cdot ^\circ C$; $(\alpha \tau)_m = 0,871$;

$P_{pm} = 278 W / m^2$. Un rendement du capteur peut

ainsi être estimé par la formule :

$$\eta = 0,7965295 - 6,12715 \frac{T_e - T_a}{I}$$

Pour les Ecoles des Mines de Paris,

RESULTATS ET DISCUSSIONS

$$\eta = 0,8 - 7,5 \frac{(T_m - T_a)}{I}$$

Pour E.D.F. – centre de Recherches des Renardières,

$$\eta = 0,75 - 7 \frac{(T_m - T_a)}{I}$$

Pour apprécier la performance du capteur, nous avons représenté les courbes des températures de fonctionnement (T_1) de l'absorbeur, (T_2) du fluide à l'entrée et (T_3) du fluide à la sortie du capteur en fonction du temps et par rapport au débit. Nous avons aussi représenté les variations du rendement en fonction de la quantité : $\Delta T / I$ recueilli dans la documentation afin de valider la formule du rendement que nous proposons.

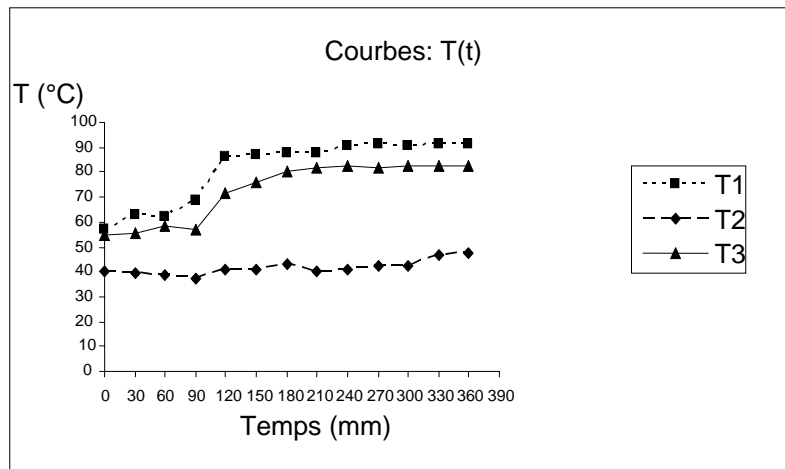


Figure 1 : Températures de fonctionnement du fluide en fonction du temps pour un débit nul

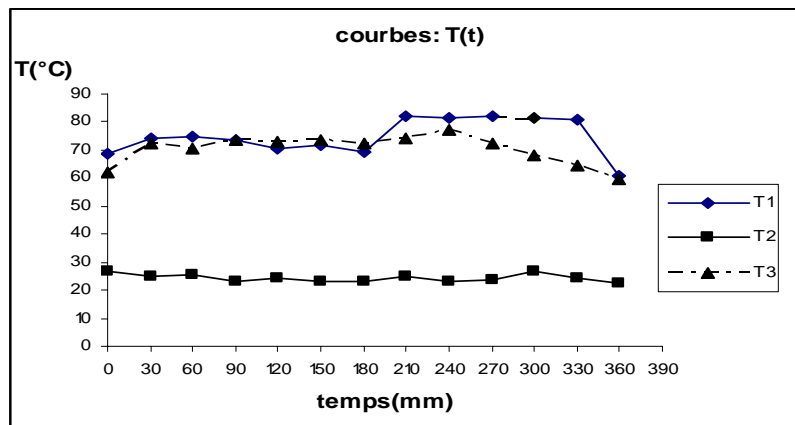


Figure 2 : Températures de fonctionnement du fluide en fonction du temps ; débit 90l/h

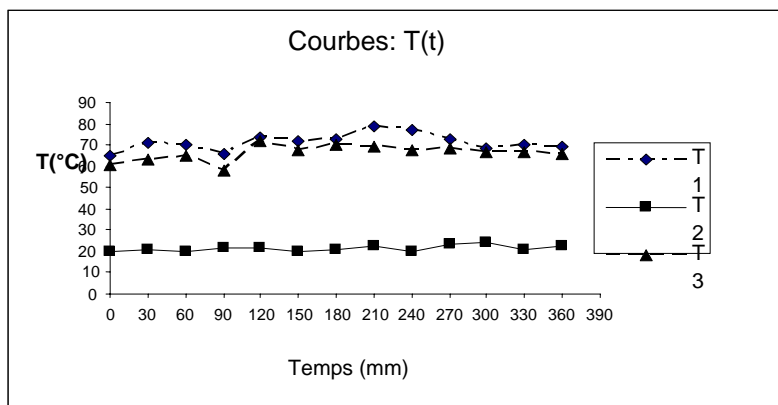


Figure 3 : Températures de fonctionnement du fluide en fonction du temps ; débit 100l/h

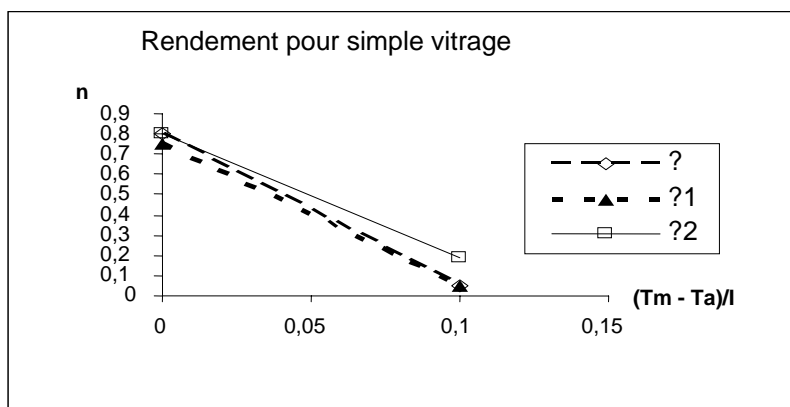


Figure 4 : Variations de rendement en fonction de $\Delta T / I$.
 η : Ecole des mines de Paris .
 η_1 : E.D.F.- centre de recherche des Renardières.
 η_2 : Notre proposition.

3.1. Interprétation des figures

3.1.1. Débit nul

La température de sortie du fluide (T_3) est très voisine de celle de l'absorbeur (T_1). Cette température de sortie à la fin de la journée est largement au-dessus de 75°C. C'est le choix idéal lorsque l'on veut faire un usage ultérieur du fluide chauffé. Mais le rendement du capteur reste faible ; puisque le circuit est fermé et le fluide déjà très chaud en repassant dans le capteur n'évacue presque plus de

calories ; sa température étant très proche de celle de l'absorbeur.

3.1.2. Débit : 90l/h

La température de sortie du fluide se situe entre 60 et 70 degrés, alors que celle de l'absorbeur est supérieure 70 degrés. Le rendement de l'installation est autour de 80%. Ce résultat est valide, puisqu'il est très proche de ceux observés dans la littérature pour des capteurs de

mêmes caractéristiques. C'est un signe que le capteur est bien construit et fonctionne bien.

3.1.3. Débit : 100l/h

La température de sortie du fluide est comprise entre 60 et 65 degrés et celle de l'absorbeur entre 70 et 75 degrés. Le rendement est autour de 75%. C'est aussi une confirmation de la bonne tenue de notre système de captation.

3.2. Commentaires des résultats

Le coefficient de déperdition K_m calculé est satisfaisant puisqu'il se situe entre 6 et 8 ; limites fixées par la documentation. La puissance perdue P_{pm} est dépendante de ce coefficient donc son calcul est aussi valable. Par ailleurs, elle est assez faible en rapport avec la puissance utile calculée ce qui prouve que notre système de captation ne perd pas trop d'énergie. Au vu de ses résultats, nous avons pu estimer le coefficient de débit F_{qm} et le facteur optique $(\alpha\tau)_m$ ce qui nous permet de proposer une modélisation du capteur sous la forme : $\eta = 0,7965295 - 6,12715 \frac{T_e - T_a}{I}$. A la lecture de la figure 4, nous observons que les trois droites sont quasiment confondues pour $\Delta T / I$ compris entre 0 et

0,05 ; mais au-delà de 0,05 la pente de notre courbe est légèrement ascendante ce qui donne notre rendement meilleur par rapport aux deux autres dans ces conditions-là. Mais il est à noter que les deux autres formules sont exprimées en fonction de T_m , qui est une moyenne de la température à l'entrée et à la sortie du fluide ce qui pourrait expliquer ce léger décalage entre ces droites pour $\frac{\Delta T}{L}$ supérieur à 0,05. Une lecture des figures montre aussi que, pour un ensoleillement moyen de $\frac{1000W}{m^2}$ la température moyenne espérée est de 60°C quel que soit le débit.

CONCLUSION

Nous avons construit un prototype d'un capteur plan multi systèmes dont la vocation est de donner un choix raisonné à son utilisateur et qui associe performance et coût. Ce sont les résultats de l'expérimentation de la première configuration que nous publions. Et ses résultats montrent que les éléments nouveaux insérés dans l'absorbeur n'ont pas remis en cause les performances déjà connues aux capteurs plans. Ils n'ont pas engendré non plus de nouveaux problèmes inconnus aux capteurs. L'expérimentation de la seconde configuration est actuellement en cours ; les premiers résultats sont encourageants et laissent augurer d'un système de captation satisfaisant pouvant juguler une bonne partie du déficit en énergie de nos états. Le travail d'étude de performance du système se poursuit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BERNARD R, MENGUY G et SCHWARTZ M., 1980.- Le Rayonnement Solaire. Conversion Thermique et Applications *Technique de Documentation*, pp.7-82.
2. PERRIN DE BRICHAMBAUT C, VAUGE C., 1982.- *Le gisement solaire évaluation de la ressource énergétique*, 221pp.
3. CABIOL T. et PELISSOU A., 1981.- *Le chauffe eau solaire*. Edisud. La Calade, Aix-en-Provence, France, 156 pp.
4. *L'énergie solaire au service du développement*, 1979.- Rapport conférence internationale de Varèse, Italie, 255pp.
5. BAUDIER M. et MARCHIO D., 1989.- *Mise en œuvre de méthodes d'estimation de paramètres et d'inversion dans des processus mettant en jeu des échanges thermiques*. Ecole des mines de Paris, 128 pp.