

## Conception et réalisation d'un digesteur solaire de type batch

K. Hadri\*, M. Khelafi†, A. Boulal et N. Nedjah

Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien 'URER/MS'  
B.P. 478, Route de Reggane, Adrar 01000

**Résumé** - Les procédés de méthanisation et le biogaz, sont connus depuis plus d'un siècle. Au fil du temps l'utilisation de ce procédé s'est développée d'un méthaniseur artisanal à un digesteur industriel. La ville d'Adrar se situe au sud ouest de l'Algérie et dispose d'un gisement solaire important. La disponibilité de cette source énergétique gratuite nous a conduit à l'exploiter comme source d'énergie calorifique pour faire fonctionner le digesteur. Dans ce travail nous avons étudié et réalisé un digesteur de type Batch de capacité de 11 litres dont le couvercle joue le rôle d'un capteur solaire, servant à alimenter notre digesteur par l'énergie calorifique nécessaire pour maintenir une température favorable à la méthanisation. Les températures récoltées à l'intérieur du digesteur; durant une période de trois mois allant du mois d'avril au mois de juin; sont à 90% dans l'intervalle de 25 °C à 45°C favorisant ainsi une production significative en biogaz.

**Mots clés:** Méthanisation – Biogaz - Gisement solaire – Digesteur - Température.

### 1. INTRODUCTION

Notre but dans ce travail est d'essayer de réaliser un prototype de digesteur chauffé par énergie solaire. Avant la réalisation de ce prototype, une étude théorique assimilatrice d'un capteur solaire a été réalisée en collaboration avec l'équipe de distillation solaire de la division dont le but est de déterminer la surface du capteur solaire optimale pour avoir la température souhaitée à l'intérieur de notre digesteur.

Selon le mode d'alimentation, les digesteurs sont classés en deux types: digesteur batch (semi-continu) et digesteur continu. Le digesteur batch ou discontinu a l'avantage d'être d'une construction simple. Le mode opératoire consiste à remplir le digesteur avec les substances organiques et laisser digérer, le temps de rétention étant fonction de la température et d'autres facteurs [1].

### 2. MATERIEL ET METHODES

Le digesteur est composé de deux parties essentielles, un capteur solaire qui sert en même temps comme couvercle et un bac pour la digestion du substrat, (Fig. 1).

Le métal utilisé pour le capteur et le bac est de l'acier galvanisé, le bac de digestion est composé d'une double paroi séparée l'une de l'autre par un isolant à savoir le polystyrène.

Le suivi de la température dans le capteur et à l'intérieur du digesteur pour connaître la variation de la température surtout à l'intérieur est effectué à l'aide des thermocouples type K installé à l'intérieur du capteur ; à la base interne du capteur; à la surface du substrat, au milieu et à la base interne du digesteur.

Les thermocouples sont connectés à une acquisition de données de type Hydra Fluke pour la collecte et l'enregistrement des différentes températures.

#### 2.1 Théorie et bilan thermique [2-4]

Tout au long de cette étude, on considère par hypothèse que: - les températures de la vitre, du substrat et de la plaque sont uniformes; - on néglige la chaleur emmagasinée sauf pour le substrat; - on assimile le substrat à l'eau.

A partir de là, on a établi le bilan énergétique au niveau de chaque élément pris à part:

---

\* hadri-kameldz@yahoo.fr

† e\_khelafi@yahoo.fr

♦ Au niveau de la vitre

$$hr_{p-v} A_0 (T_p - T_v) + hc_{p-v} A_0 (T_p - T_v) = hr_{v-ciel} A_0 (T_v - T_c) + hc_{v-a} A_0 (T_v - T_p) \quad (1)$$

avec:  $hr_{p-v}$  : Coefficient d'échange radiatif entre la plaque et la vitre;  $A_0$  : Surface de la plaque du capteur;  $T_p$  : Température de la plaque;  $T_v$  : Température de la vitre;  $hc_{p-v}$  : Coefficient d'échange convectif entre la plaque et la vitre;  $hr_{v-ciel}$  : Coefficient d'échange radiatif entre la vitre et le ciel;  $T_c$  : Température du ciel (voûte céleste);  $T_a$  : Température ambiante;  $hc_{v-a}$  : Coefficient d'échange convectif entre la vitre et l'ambiance.

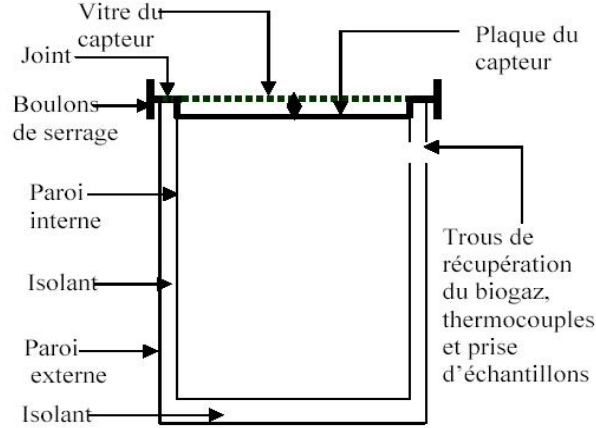


Fig. 1: Schéma descriptif du digesteur solaire de type batch

♦ Au niveau de la plaque

$$\tau_v \cdot \alpha_p \cdot G \cdot A_0 = hr_{p-v} A_0 (T_p - T_v) + hc_{p-v} A_0 (T_p - T_v) + h_p A_0 (T_p - T_{sub}) \quad (2)$$

$$\frac{1}{h_p} = \frac{e}{K_{ac}} + \frac{1}{\frac{K_{air}}{L_{vid}} + hr_{p-sub} + hc_{p-sub}} \quad (3)$$

avec:  $\tau_v$  : Coefficient de transmissivité de la vitre;  $\alpha_p$  : Coefficient d'absorption de la plaque;  $G$  : Eclairage solaire;  $T_{sub}$  : Température du substrat;  $h_p$  : Coefficient de perte global;  $e$  : Epaisseur de la plaque;  $K_{ac}$  : Coefficient de la conductivité thermique de la plaque;  $K_{air}$  : Coefficient de la conductivité thermique de l'air;  $L_{vid}$  : Hauteur séparant la surface du substrat et la plaque du capteur.

♦ Au niveau du substrat

$$M_{sub} C_p \frac{dt_{sub}}{dt} = h_p A_0 (T_p - T_{sub}) - h_{perte} A_0 (T_{sub} - T_a) \quad (4)$$

$$h_{perte} = \frac{K_{isolant}}{e_{is}} + \frac{K_{isolant} S_l}{e_{is} A_0} \quad (5)$$

avec:  $M_{sub}$  : Masse du substrat;  $C_p$  : Capacité calorifique de l'eau;  $h_{perte}$  : Coefficient de perte global du substrat;  $K_{isolant}$  : Coefficient de conductivité thermique de l'isolant;  $e_{is}$  : Epaisseur de l'isolant;  $S_l$  : Surface latérale du bac en contact avec le substrat.

L'étude théorique nous a montrée que la surface optimale du capteur est de 40 cm<sup>2</sup> pour un digesteur de 11 litres de volume, les courbes de la figure 2 et 3 présentent les résultats de cette

étude. Ces résultats nous ont permis d'avoir une idée sur la gamme théorique de la température à l'intérieur du digesteur.

Selon la littérature, la gamme de température pour une méthanisation optimale est de 25 à 45 °C [5]. D'après l'étude théorique, la température à l'intérieur de notre digesteur sera très proche de l'intervalle de température pour lequel on aura une meilleure méthanisation.

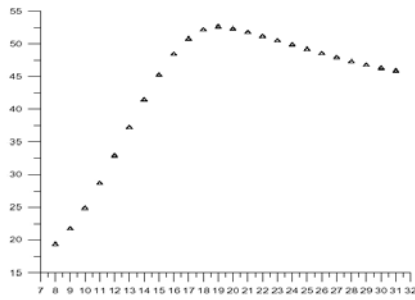


Fig. 2: Variation de la température théorique du substrat au cours d'une journée estivale, surface du capteur =40 cm<sup>2</sup>

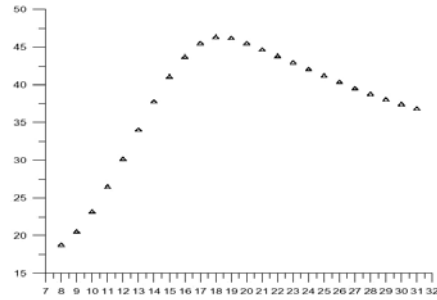
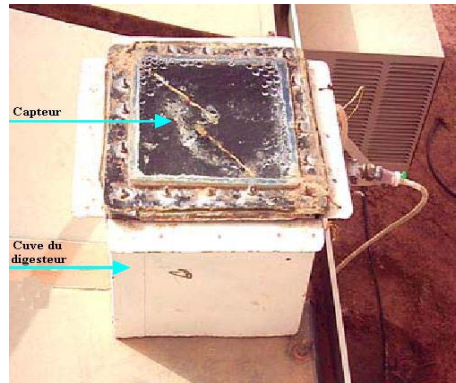


Fig. 3: Variation de la température théorique du substrat au cours d'une journée hivernale, surface du capteur =40 cm<sup>2</sup>

## 2.2 Résultats et discussions

L'étude expérimentale consiste à faire remplir le digesteur par un substrat biodégradable (déchets de camelin) avec un taux de dilution de 90 % et de mesurer les températures au niveau du capteur, ainsi qu'à l'intérieur du digesteur. La figure suivante montre le digesteur durant son fonctionnement.



Vue 1: Digesteur solaire type batch sans couvert

Durant l'expérimentation réalisée en périodes hivernale et estivale, nous avons obtenu les résultats de la variation des températures à différents niveaux à l'intérieur du digesteur. Ces résultats sont représentés par les figures 4 et 5. Ces figures nous montrent que la température au milieu du digesteur varie entre 25 et 45 °C à l'exception de quelques températures qui sont inférieures à 25 °C.

Pour résoudre ce problème de température inférieure à 25 °C qui influe négativement sur le phénomène de la méthanisation (la diminution de la température engendre une diminution du rendement) [6], on a opté à réaliser un couvert pour le capteur pendant la période nocturne dans le but de diminuer les pertes par convection par ce dernier due au vent (Vue 2). L'utilisation du couvert pendant la nuit nous a permis d'avoir un intervalle de température meilleur que celui sans couvert, ce qui est confirmé par la courbe de la figure 6.

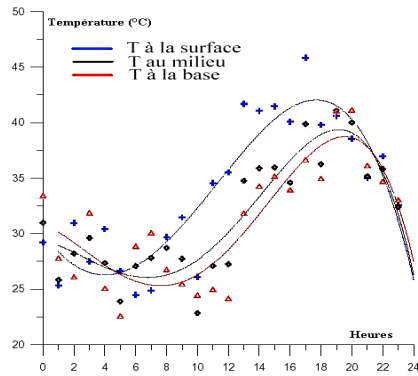


Fig. 4: Variation des températures du substrat (24 avril 2007) sans couvercle

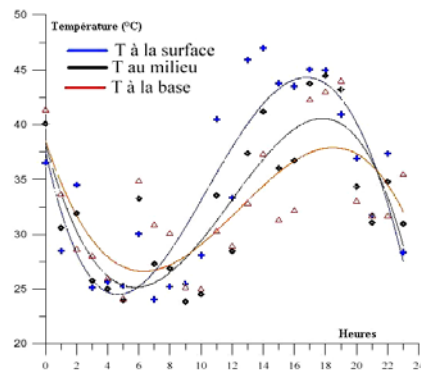


Fig. 5: Variation des températures du substrat (17 juin 2007) sans couvercle

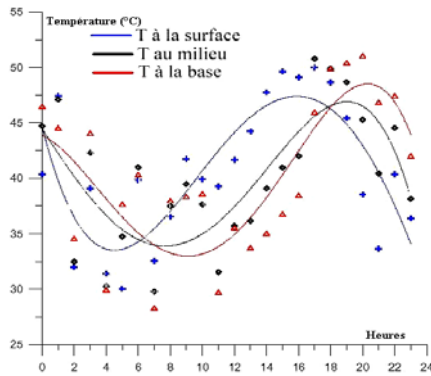
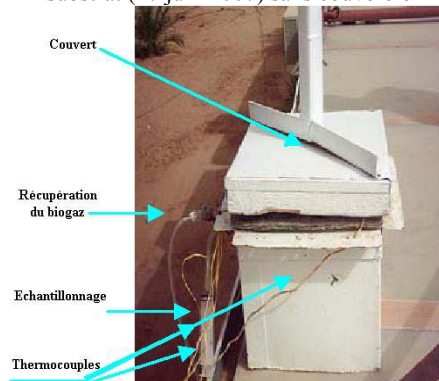


Fig. 6: Variation des températures du substrat (25 juin 2007) avec couvercle



Vue 2: Digesteur solaire type batch avec couvercle

### 3. CONCLUSION

Les résultats souhaités par ce travail étaient d'atteindre un intervalle de température variant entre 25 et 45 °C. Avec le digesteur réalisé, nous avons obtenu durant les périodes hivernale et estivale, un intervalle de température très proche à celui souhaité. Durant ses périodes, on a remarqué qu'on a enregistré des températures inférieures à 25°C durant la nuit influant négativement sur le processus de méthanisation.

L'utilisation du couvercle pour le capteur s'est avérée nécessaire pendant la période nocturne afin d'éviter la diminution de la température au dessous de 25°C.

### REFERENCES

- [1] S. Bergere, I. Meifren et C. Couturier, 'La Digestion Anaérobie des Boues Urbaines', Solagro 2001.
- [2] S. Harpeet, K. Watra, Solar Energy, Vol. 56, N°3, pp. 261 - 266, 1996.
- [3] J.P. Holmon; 'Heat Transfer', 8<sup>ème</sup> Edition, Mc Graw-Hill, N-Y, 1997.
- [4] J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Engineering of Thermal Processes', 2<sup>ème</sup> Edition, N-Y, 1991.
- [5] A. Yettou, R. Miri et I. Tou, 'Etude Expérimental d'un Digesteur de Production de Biogaz Alimenté en Energie par un Chauffe-eau Solaire', CDER, 2006.
- [6] C. Couturier et L. Galtier, 'Etat des Connaissances sur le Devenir des Germes Pathogènes et des Micropolluants au cours de la Méthanisation des Déchets et Sous-produits Organiques', Solagro, 1998.