

Modélisation de séchage solaire sous serre des boues des stations d'épuration

Aida BAYOUDH¹, Jalila SGHAIER¹ et Hatem MHIRI¹

¹ *Unité de Recherche de Thermique et Thermodynamique des Procédés Industriels
Département de Génie Energétique, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir
Avenue Ibn El jazzar, 5019 Monastir, Tunisie*

aida_bayodh@yahoo.fr, Jalila.Sghaier@enim.rnu.tn,

Résumé : le problème de l'élimination des boues issues des stations d'épuration devient plus délicat vu l'augmentation de la production des eaux usées et la réglementation qui se fait de plus en plus exigeante. Pour les stations d'épuration de petite et moyenne taille, le séchage solaire s'impose comme une solution efficace de déshydratation des boues. Il permet de réduire les volumes et les masses des boues sèches d'une manière significative, ce qui sert à diminuer le coût de transport et de stockage. L'enjeu principal pour les travaux de recherche est d'améliorer l'efficacité énergétique et d'optimiser les méthodes de dimensionnement et de conception de ces procédés de séchage solaire.

Dans ce contexte, on s'est intéressé à l'étude expérimentale du problème du séchage dans le cas d'une serre solaire régulièrement renouvelée d'air sous laquelle est étalée une couche des boues d'épuration. Une installation expérimentale est implantée dans la station d'épuration de Ksour-Esseqf, région côtière de la Tunisie.

Mots clés : Séchage solaire; boues d'épuration; serre

1. Introduction :

En Tunisie, il y a 109 stations d'épuration, d'une capacité totale d'eau traitée de 236 millions m³ en 2011 par rapport à 123 millions m³ en 1997[1]. Le traitement d'eaux usées dans les stations d'épuration produit une grande quantité des boues qui doit être traitée pour réduire le volume et pour assurer la stabilité [2]. Le séchage se présente comme une solution efficace pour atteindre cet objectif.

Il existe plusieurs techniques de séchage. En Tunisie, on utilise soit le séchage solaire à l'air libre soit le séchage mécanique. Les boues sèches qui atteignent 225 mille m³ en 2011 sont confinées à 65% dans des décharges spéciales et à 35% dans quelques sites de stations d'épuration [1]. D'où l'intérêt d'améliorer l'étape de séchage pour minimiser le volume de stockage et pour atteindre une siccité qui permet la valorisation agricole et l'incinération des boues.

Plusieurs travaux de recherche ont été menés pour atteindre cet objectif. Parmi les techniques développées, il y a le séchage conductif avec agitation [3], il y a aussi le séchage solaire sous serre qui est développé par H.Amadou dont le but d'exploiter l'énergie solaire [4]. Pour améliorer l'efficacité de procédé de séchage des boues, S.Rayen a étudié la possibilité de combinaison entre énergie solaire et pompe à chaleur [5].

Dans ce cadre, on s'est intéressé à l'amélioration de séchage solaire naturel par l'utilisation d'une serre.

2. Partie expérimentale:

2.1. Description de pilote expérimentale:

L'unité expérimentale utilisée, figure 1, est constituée de deux compartiments, le premier compartiment est une serre en plexiglas, de forme tétraédrique, de 1m de longueur, de 0.5m de largeur et de 0.7m de hauteur. Le deuxième est un lit en plexiglas de longueur 1m, largeur 0.5m et de hauteur 0.5m. Le plexiglas utilisé est d'épaisseur 5mm.

La serre est équipée sur les parois latérales des volets d'aération qui permettent le renouvellement de l'air à l'intérieur. L'assemblage entre les deux parties est réalisé par un joint en mousse et par des vis de fixation pour assurer l'étanchéité de pilote.

L'installation est équipée de :

- un ventilateur centrifuge d'extraction à débit variable, placé à la partie haute de la serre.
- des instruments de mesure pour assurer le contrôle de certains paramètres:
 - un solarimètre pour déterminer la densité du rayonnement solaire incident sur la paroi de la serre.

- deux thermo hygromètres, l'un est placé sur la paroi intérieure du lit pour mesurer la température et l'humidité relative de l'air intérieur et le deuxième est à l'extérieur pour déterminer la température et l'humidité relative de l'air ambiant.
- Un anémomètre pour mesurer la vitesse de l'air à l'intérieur de la serre.
- Quatre thermocouples type pt100, pour mesurer la température des boues, chaque thermocouple est placé à une position différente dans la couche des boues.
- Un pressostat de contact pour contrôler la pression à l'intérieur de la serre.

Tous ces instruments sont liés à un automate d'enregistrement qui permet de stocker les différentes valeurs mesurées au cours du temps.



Figure 1 : Schéma réel de la serre de séchage

1-serre en plexiglas, 2-clapets d'entrée d'air, 3-ventilateur centrifuge, 4-lit de séchage, 5-couche des boues, 6-Thermo-hygromètre, 7-solarimètre

2.2. Déroulement de l'expérience :

L'expérience consiste à sécher des boues issues de station d'épuration de Ksour Essef, région côtière de la Tunisie. On a placé dans le lit une couche de 15 cm de gravier puis une couche de 10 cm de sable et au-dessus une couche de 5 cm des boues. On a fixé le débit d'air à une valeur de $225\text{m}^3/\text{h}$.

L'air qui entre à travers les volets d'aération va être chauffé par effet de serre. La couche des boues étalée au-dessous de lit va être chauffée par rayonnement et par convection avec l'air intérieur. On a un couplage de transfert thermique par rayonnement et convection et un transfert massique.

L'expérience a duré à peu près une semaine.

3. Résultats et interprétations :

À l'aide des instruments de mesure, on a pu suivre l'évolution de certains paramètres.

Le séchage solaire est fortement influencé par les changements des conditions météorologiques. Pour déterminer l'efficacité de ce type de séchage, il faut suivre la densité des rayonnements solaires incidents au cours du temps de séchage. La figure 1 présente l'évolution de l'ensoleillement pendant un jour dans la station d'épuration de Ksour-Essef, elle est croissante jusqu'à un maximum de 980 w/m^2 à 15:30, puis elle commence à décroître. La figure 2 présente l'évolution de l'ensoleillement journalier pendant la durée de séchage, elle oscille entre une valeur moyenne de 220 w/m^2 sauf pour les deux derniers jours elle a une valeur plus élevée.

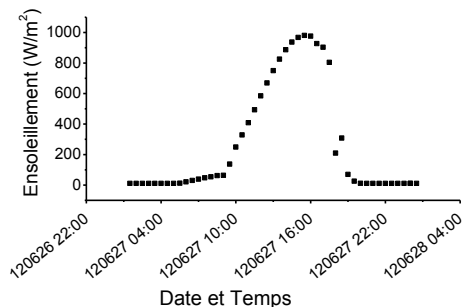


Figure 2 : Évolution de l'ensoleillement au cours du temps pendant un jour

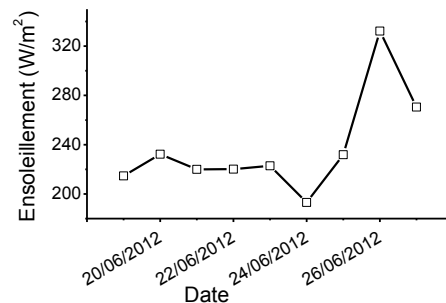


Figure 3 : Évolution de l'ensoleillement journalier pendant une semaine

Pour déterminer la température, on a utilisé quatre thermocouples dans la couche des boues en quatre positions différentes, la figure 4 présente l'évolution de ces températures, on constate qu'elles admettent presque

la même allure, elles sont croissantes jusqu'à un maximum de 45°C à 15:30 puis elles commencent à décroître. À l'aide de ces quatre courbes, on a pu tracer la température moyenne des boues.

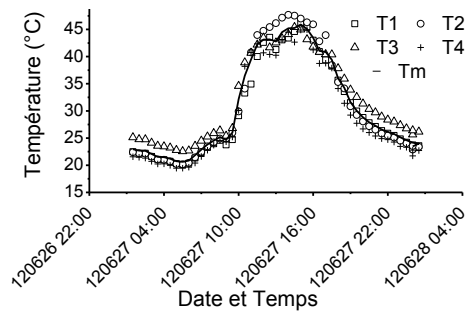


Figure 4 : Évolution de la température des boues au cours du temps pendant un jour pour différents points de mesure

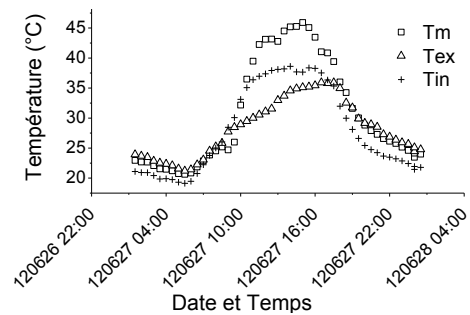


Figure 5 : Évolution au cours du temps de la température extérieure, intérieure et moyenne de la boue pendant un jour

L'évolution journalière de la température moyenne de la boue et celle de l'air extérieur sont présentées dans la figure 6. On constate que l'écart entre les deux températures est presque constant de 2.5°C sauf pour les deux derniers jours qui est de 7.75°C et de 0.98°C. Cette différence est due à la variation des conditions météorologiques.

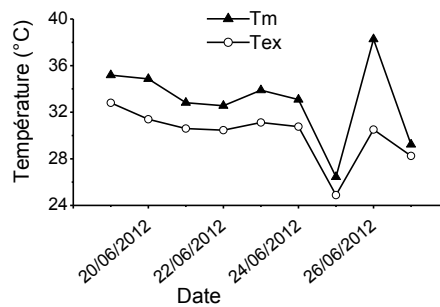


Figure 6 : Évolution au cours du temps de la température moyenne de la boue et de la température extérieure pendant une semaine

L'humidité relative de l'air est un paramètre essentiel au cours du séchage, car le flux de vapeur transmis de la boue vers l'air dépend de la différence de l'humidité entre les deux. Les deux figures 7 et 8 présentent respectivement l'humidité relative extérieure et intérieure durant un jour et durant une semaine de séchage. D'après ces deux courbes on remarque que l'humidité intérieure est plus élevée que celle extérieure.

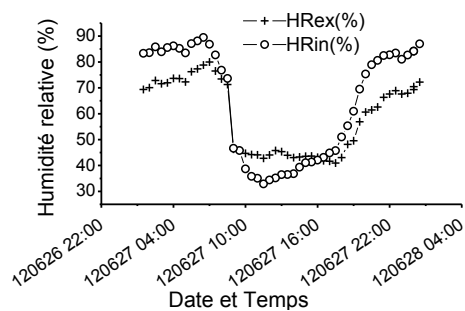


Figure 7 : Évolution de l'humidité extérieure et intérieure au cours du temps pendant un jour

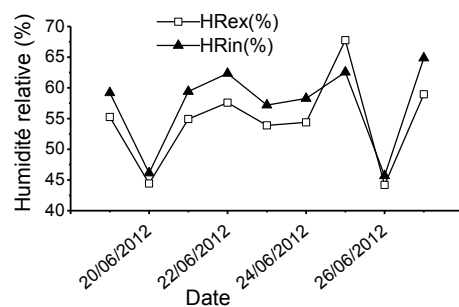


Figure 8 : Évolution de l'humidité extérieure et intérieure au cours du temps pendant une semaine

Conclusion :

Dans ce travail, on a réalisé une étude expérimentale permettant le suivi de température et de l'humidité au cours du séchage des boues de station d'épuration.

On constate que le séchage solaire se présente comme une solution économique pour traiter la grande quantité des boues issues des stations d'épuration mais l'inconvénient majeur est la forte dépendance à la variation des conditions climatiques.

Nomenclature

T1	température des boues au point (1), °C	Tex	température de l'air extérieur, °C
T2	température des boues au point (2), °C	T1	température de l'air intérieur, °C
T3	température des boues au point (3), °C	HRex	humidité relative extérieure, %
T4	température des boues au point (4), °C	HRin	humidité relative intérieure, %
Tm	température moyenne de la boue, °C		

Références :

- [1]Rapport annuel 2011, office national de l'assainissement de la république tunisienne, 2011.
- [2]C. Carrère-Gée, Etude du séchage indirect d'une fine couche de boue d'hydroxyde d'aluminium en ébullition : application au cylindre sécheur, *Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III*, 1999.
- [3]J.H. Ferrasse, Développement d'outils expérimentaux pour le dimensionnement de procédés de séchage conductif avec agitation : application à des boues de stations d'épuration urbaines, *Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III*, 2000.
- [4]H.Amadou, Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de stations d'épuration urbaines, *thèse de doctorat, université louis pasteur – strasbourg 1*, 2007.
- [5]S.Rayen, Etude et conception d'un procédé de séchage combiné de boues de stations d'épuration par énergie solaire et pompe à chaleur, *Thèse de doctorat, l'Ecole des Mines de Paris*, 2007.