

## Digestion anaérobie des déchets de bovins mélangés au macrophyte *Pistia stratiotes*

Z. Zennaki Bensouda, A. Zaid, K. Bentaya

Les populations rurales (12,7 millions au Maroc) utilisent pour leurs besoins domestiques du bois de feu, de la paille ou du carburant d'origine fossile. Avec la hausse des prix du pétrole et la nécessité de préserver l'environnement en limitant les dégâts occasionnés par la déforestation des formations naturelles, il est crucial de développer de nouvelles sources d'énergie pour les besoins des foyers ruraux, notamment la production de biogaz par fermentation des déchets de bovins. Ce procédé, qui est largement répandu à travers le monde [1], présente cependant certaines limitations dans ses performances et de nombreux travaux ont été développés pour optimiser les rendements en biogaz en ne perdant pas de vue l'intérêt économique de l'opération [2, 3]. L'un des axes de recherches actuellement envisagé repose sur l'enrichissement du substrat par culture de macrophytes sur eaux polluées, spécialement la laitue d'eau *Pistia stratiotes*, cultivée sur effluent de digesteurs métha-

nique. L'introduction de cette plante aquatique dans le système a un triple avantage : l'amélioration de la production du biogaz quand elle est utilisée broyée et additionnée aux déchets de bovins, l'épuration de l'effluent par la baisse du taux de charge organique [4, 5] et la production d'une plante qui peut être utilisée comme aliment pour animaux [6]. Notre étude, la première du genre au Maroc, vise à tester les performances de la production de biogaz dans un système intégré incluant la laitue d'eau. Les essais ont été réalisés à la ferme d'application de l'École nationale d'agriculture de Meknès dans un espace de démonstration dénommée Plateforme énergétique rurale, composée de réacteurs pilotes de différents types et d'un système de lagunage qui traite les effluents des digesteurs par les macrophytes *Pistia stratiotes* (laitue d'eau), *Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau) et *Lemna gibba* (lentille d'eau). Ce système associe en même temps les procédés de production de biogaz, de production de biomasse et d'épuration des eaux usées.

Les réacteurs utilisés sont constitués de fûts cylindriques, d'une capacité de 70 litres comportant un système de circulation d'eau thermostatisée soit à 35 °C, soit à 55 °C ± 0,5 °C, pour un temps de rétention hydraulique de 15 jours. Les déchets de bovins frais sont collectés dans l'étable sise à proximité de la plateforme, séparés de la paille, puis dilués à la concentration désirée. La laitue d'eau est récoltée directement des bassins de lagunage à son stade optimum de croissance.

Les quantités de biomasse utilisées au démarrage sont de : 26,66 kg de déchets de bovins dilués à 90 g/l et 7,3 kg de *Pistia stratiotes* à 90 g/l. L'alimentation des digesteurs se fait dès la production de biogaz par 4 litres du mélange déchets de bovins-laitue d'eau dilués à 40 g/l. Les proportions testées sont : P<sub>1</sub> = 12,5 % ; P<sub>2</sub> = 16,6 % ; P<sub>3</sub> = 25 % ; P<sub>4</sub> = 50 % en laitue d'eau. Un essai a été réalisé dans des flacons de 500 ml pour l'étude de la cinétique de la fermentation, afin de déterminer un modèle de production pour le mélange déchets de bovins-laitue d'eau.

La matière sèche (MS) est déterminée par dessiccation à l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant. Les solides volatils (SV) sont déterminés par incinération à 620 °C. La demande chimique en oxygène (DCO) ainsi que les minéraux sont déterminés par les méthodes standard. L'azote total (N<sub>Kj</sub>) est déterminé par la méthode Kjeldahl ; les acides gras volatils (AGV) et l'analyse des gaz sont évalués par chromatographie en phase gazeuse. La détermination de la composition chimique du substrat constitué par le mélange déchets de bovins-laitue d'eau broyée dénote d'une teneur en matières azotées et en minéraux élevée qui croît avec la proportion en plante dans le mélange. Il s'agit, pour les minéraux, essentiellement de phosphore, sodium, calcium, sodium et potassium. L'introduction de *Pistia stratiotes* apporte donc un enrichissement en minéraux et en matières azotées au substrat de fermentation.

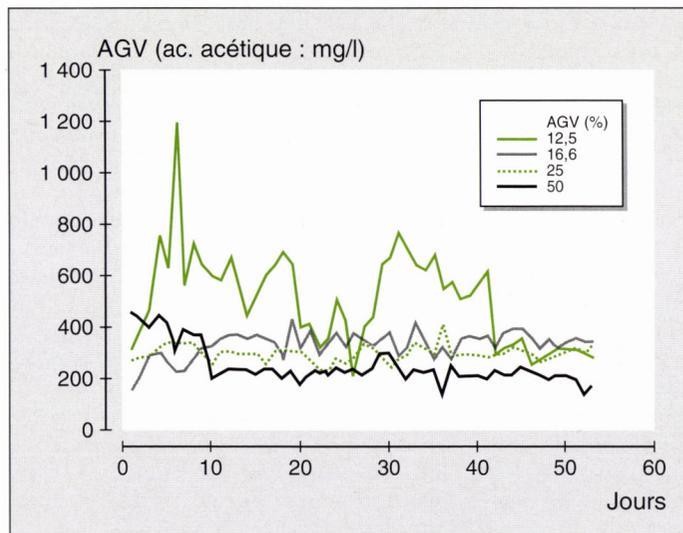
Z. Zennaki Bensouda : Département des sciences de base, École nationale d'agriculture, BP S/40 Meknès, Maroc.

A. Zaid, K. Bentaya : Département de biologie, Faculté des sciences, Université My Ismail, Meknès, Maroc.

Tirés à part : Z. Zennaki Bensouda

Au cours de la fermentation, le pH se maintient aux environs de 7, exception faite pour la proportion  $P_1$  qui donne d'abord un milieu acide, atteignant la neutralité au bout de 5 à 6 jours. Ceci témoigne du bon pouvoir tampon du système, eu égard à la teneur élevée en ammoniacale qui neutralise les acides gras volatils. La *figure 1* donne l'évolution des AGV au cours de la fermentation. Pour la proportion  $P_1$ , la concentration en AGV passe de 200 mg/l à 1 200 mg/l d'acide acétique. Pour les proportions  $P_2$ ,  $P_3$  et  $P_4$ , nous observons une très grande stabilité avec globalement une baisse de la concentration en AGV lorsque la proportion en plante augmente dans le mélange [7] (qui reste pour les quatre mélanges en deçà de la limite de la toxicité qui est de 2 000 mg/l acide acétique). La *figure 2* donne l'évolution de la production en biogaz pour les quatre mélanges qui varie à l'inverse des AGV, le meilleur résultat étant obtenu pour la concentration en AGV la plus faible, soit la proportion  $P_4$  (50 % en plante, productivité gazeuse de 0,82 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de biomasse/j) pour laquelle l'activité méthanogénique l'emporte sur l'activité acidogénique, entraînant une dégradation des AGV qui empêche leur accumulation dans le milieu.

La *figure 3* illustre l'évolution de la proportion de méthane dans le biogaz, ainsi que le taux de réduction en DCO pour  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ . La meilleure épuration est obtenue pour la proportion  $P_4 = 50$  % qui produit un gaz contenant 76,84 % de méthane pour un taux de réduction de 67 %. L'augmentation de la proportion en plante accroît le méthane dans le bio-



**Figure 1.** Évolution quotidienne des acides gras volatils (AGV) lors de la digestion anaérobie en continu du mélange déchets de bovins-laitue d'eau à différentes proportions en plantes à 35° C et pour un temps de rétention hydraulique de 15 jours.

**Figure 1.** pH variations in substrates composed of four different cattle manure and water lettuce mixtures at 35° C and HRT = 15 d.

## Summary

### Anaerobic digestion of cattle manure mixed with the aquatic weed *Pistia stratiotes*

Z. Zennaki Bensouda, A. Zaid, K. Bentaya

Rural populations (12.7 million in Morocco) use either forest wood and straw or fossil fuels as energy sources for cooking and household needs. It is essential to develop alternative energy sources, as fossil fuels are becoming more expensive and natural forests have to be protected from further degradation. One alternative that is used throughout the world involves the production of biogas via anaerobic digestion of cattle manure. We studied how to improve the performance of the cattle manure fermentation process through the addition of ground plant material, especially water lettuce (*Pistia stratiotes*). This aquatic plant can be grown on effluent ponds, with the following advantages: (1) purification of effluents through active absorption of organic matter and minerals; (2) use as animal feed; and (3) enhancement of biogas production by grinding this material and adding it to the fermentation substrate.

In these experiments, a series of continuous fermentors were used with mixtures of cattle manure containing 12.5%, 16.6%, 25% or 50% of *Pistia stratiotes*. The best biogas yields were achieved with a proportion of 50% of water lettuce in the mixture, giving a biogas yield of 0.82 m<sup>3</sup>.m<sup>3</sup>.d, with a methane content of 76.8% and a 15-day hydraulic retention time, at a constant temperature of 35° C. The kinetic study showed that the process is well represented by the Monod model (Table 2). The performances were much better than those obtained with anaerobic digestion of cattle manure alone (Table 1). The improved performance can be explained by the mineral and protein enrichment of the substrate provided by the water lettuce, thus enhancing the buffering potential of the digestors and increasing the CH<sub>4</sub> content in the biogas. This is due to a bacterial consortium adapted to the substrate, which balances the pH and efficiently degrades the volatile fatty acids (VFA) (Figures 2 and 3). Indeed, the best biogas production corresponded to the lower VFA concentration obtained with 50% ground water lettuce.

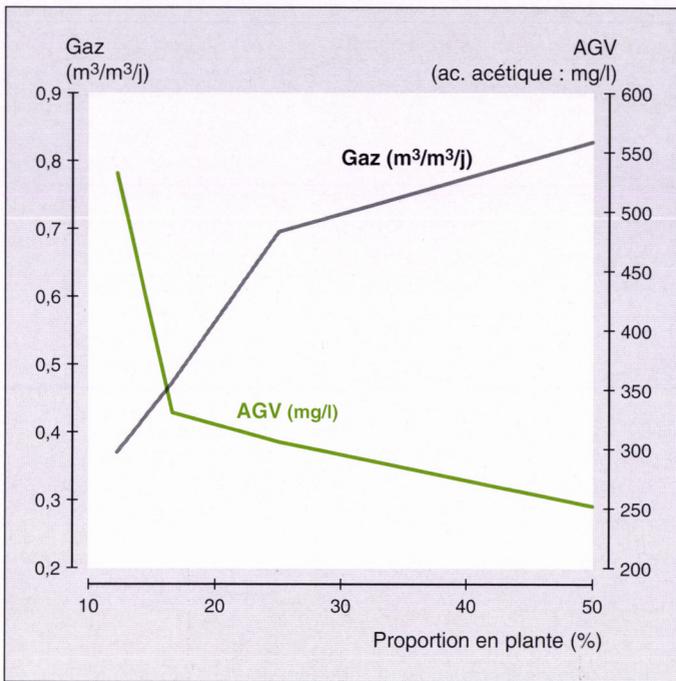
Cahiers Agricultures 1998 ; 7 : 319-21.

gaz et le taux de réduction de la DCO ; le supplément en matières biodégradables résulte principalement de la forte concentration en protéines, la dégradation des acides aminés libérant un gaz comprenant

84 % de CH<sub>4</sub> alors que les hydrates de carbone donnent environ 60 % [8]. Si nous comparons ces résultats avec ceux obtenus pour la fermentation des déchets de bovins seuls (*tableau 1*), nous constatons que la laitue d'eau optimise les performances de leur digestion anaérobie. Le meilleur ajustement de la cinétique des processus fermentaires du mélange déchets de bovins-laitue d'eau a été obtenu pour le modèle de Monod. Les constantes cinétiques pour la digestion anaérobie en mésophilie (*tableau 2*) indiquent que le mélange déchets de bovins-laitue d'eau peut être représenté par une réaction à une étape.

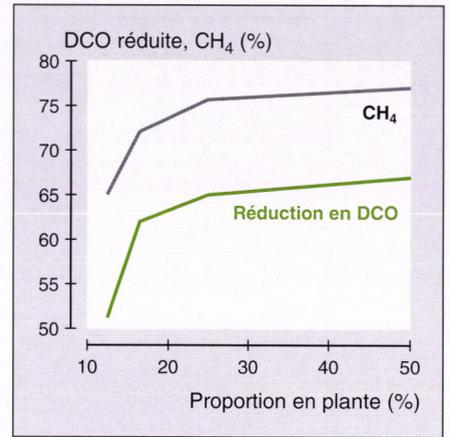
## Conclusion

La fermentation méthanique du mélange déchets de bovins-*Pistia stratiotes* est caractérisée par une grande stabilité, due à un équilibre microbiologique entre les différents consortium bactériens, caracté-



**Figure 2.** Évolution des acides gras volatils (AGV) et de la productivité gazeuse en fonction de la proportion en plante en digestion anaérobie du mélange déchets de bovins-laitue d'eau en continu à 35 °C pour un temps de rétention hydraulique de 15 jours.

**Figure 2.** VFA variations and biogas production for a substrate composed of four different cattle manure and *Pistia stratiotes* mixtures at 35 °C and HRT = 15 d.



**Figure 3.** Évolution du taux de réduction en DCO et du pourcentage en CH<sub>4</sub> en fonction des quatre proportions en plante dans le mélange déchets de bovins-laitue d'eau.

**Figure 3.** Variations in COD reduction and methane content in biogas for four different cattle manure and water lettuce mixtures at 35 °C and HRT = 15 d.

**Tableau 1**

**Rendement en biogaz au cours de la fermentation méthanique du mélange déchets de bovins-laitue d'eau à différentes proportions en plante (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>) à 35 °C pour un temps de rétention hydraulique de 15 jours**

Paramètres	Déchets de bovins	Mélanges déchets de bovins-laitue d'eau			
		P <sub>1</sub> 12,5 %	P <sub>2</sub> 16,6 %	P <sub>3</sub> 25 %	P <sub>4</sub> 50 %
Biogaz m <sup>3</sup> /kg MO	0,23	0,09	0,14	0,25	0,30
CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg MO	0,15	0,06	0,10	0,19	0,37
CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg DCO	0,52	0,23	0,32	0,50	0,60

**Biogaz yields from fermentation of pure cattle manure and cattle manure-water lettuce mixtures substrates (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>) at 35 °C and HTR = 15 days**

**Tableau 2**

**Constantes cinétiques de la digestion anaérobie des déchets de bovins et du mélange déchets de bovins-laitue d'eau à 50 % à 35 °C pour un temps de rétention hydraulique de 15 jours**

Substrat	Déchets de bovins seuls		Mélanges déchets-bovins laitue d'eau	
	4	8	4	8
Concentration de la MS (%)	4	8	4	8
μ <sub>max</sub> /j	0,62	0,64	0,54	0,61
K <sub>s</sub> (g/l)	40,44	56,21	19,80	43,60
μ <sub>p</sub> max/j	0,79	0,80	1,15	3,84
K <sub>p</sub> (g/l)	40,58	58,37	25,00	23,00

μ<sub>max</sub>, μ<sub>p</sub>max = taux de croissance et taux de production de méthane maximal ; K<sub>s</sub> et K<sub>p</sub> = constantes de disparition du substrat et de production de méthane.

**Kinetic constant determined during batch fermentation of cattle manure substrate and mixed cattle manure-water lettuce substrate at 50 % at 35 °C and HTR = 15 days**

risé par un bon pouvoir tampon et une amélioration de la méthanogenèse. Cela résulte d'un équilibre entre la production des acides gras volatils et la production d'ammoniaque provenant du supplément en protéines apporté par la plante. Le meilleur rendement en biogaz a été obtenu pour le mélange à 50 % de *Pistia stratiotes* broyée (0,82 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/j) avec 77 % de CH<sub>4</sub> et un taux de réduction en DCO de 67 % ■

## Références

- Dubourguier HC, Albagnac G, Verrier D. Methane production process by fermentation of biomass. *Synthetic Fuels* 1985 ; 219-33.
- Madamwar D, Patel A, Patel V. Effect of temperature and retention time recovery from water hyacinth-cattle dung. *J Ferment Bioeng* 1990 ; 70 : 340-2.
- Nipanay PC, Panholzer MB. Influence of temperature on biogas production from *Pistia stratiotes*. *Biol Wastes* 1987 ; 19 : 267-74.
- Reddy KR, Debusk TA. State of the art utilisation of aquatic plants in water pollution control. *Water Science Technol* 1987 ; 19 : 10-23.
- Wolverton BC, McDonald RC. Energy from vascular plant wastewater treatment systems. *Economic Botany* 1981 ; 35 : 224-32.
- Charbonnel Y. *Manuel de lagunage à macrophytes en régions tropicales*. Imprimé de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique, France, 1989 ; 30 p.
- Sinechal J, Installe MJ, Nyns EJ. Differentiation between acetate and higher volatile acids in the modelling of the anaerobic biomethanation process. *Biotechnol Letters* 1979 ; 1 : 309-14.
- Nelson SG, Smith BD, Best BR. Kinetics of nitrate and ammonium uptake by the tropical freshwater macrophyte *Pistia stratiotes*. *Aquaculture* 1981 ; 24 : 11-9.