



Production de Biogaz à partir des Résidus de Levures

Porsry Ung*, Koemfy Yem, Thavarith Chunhieng

Department de Génie Chimique et Alimentaire, Institut de Technologie du Cambodge, Russian Federation Blvd., P.O. Box 86, Phnom Penh, Cambodge.

Abstract: *La Khmer Brewery Limited (KBL) produit 5 tonnes des résidus de levures par jour qui pourront être très polluants pour l'environnement. Le but de ce travail est de valoriser des résidus de levures en les transformant en biogaz par la méthode de fermentation anaérobie continu sous forme liquide à température en mésophile, une comparaison a été faite entre le rendement du biogaz produit de processus de fermentation à partir des résidus de levures en présence de l'alcool (degré d'alcool : 7°GL) et ceux des levures sans l'alcool (degré d'alcool : 0°GL). Avant de fermenter, les compositions de matière première (résidus des levures) ont été analysées. Au cours de l'expérimentés, le pH, la température et autre paramètre comme le TDS, la teneur en matière sèche, et l'acide gras volatile des deux différentes conditions (sans alcool et alcool) ont été mesurés pour bien comprendre du processus de la fermentation. Les résultats expliquent que la teneur en composition spécifique des résidus de levures pour fermenter bio-méthane sont lipide, glucide et protéine. On observe que le processus des résidus de levures contient l'alcool a été retard, par contre le processus des résidus de levures sans d'alcool est plus vite en comparant avec la première condition. La teneur en biogaz produite de la fermentation contient l'alcool a été inférieure à la celle produite de la fermentation continue de la matière première sans l'alcool, 6 mL/mL et 8,96 mL/mL respectivement, en 1,5 fois. Cette valeur n'est pas importante pour la production de biogaz à partir de résidus de levure, donc la technologie de fermentation devra être améliorée.*

Mot-clé: Résidus de levures; fermentation anaérobie; biogaz; mésophile

1. INTRODUCTION

L'un des principaux problèmes environnementaux de la société actuellement est l'augmentation de production de déchets organiques. Dans de nombreux pays, la gestion durable des déchets ainsi que la prévention et la réduction des déchets sont devenues des priorités politiques, ce qui représente une part importante des efforts communs pour réduire la pollution et les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et pour atténuer les changements climatiques mondiaux. Une décharge non contrôlée par les industries ou municipales sont interdites selon la réglementation

aujourd'hui mais en même temps la mise en décharge contrôlée et l'incinération de déchets organiques ne sont pas pratiques basés sur les normes environnementales. En revanche, la récupération d'énergie, le recyclage des nutriments et de matière organique devient plus important (Seadi *et al.*, 2008).

La pollution de l'eau, du sol et de l'air par les déchets municipaux, industriels et agricoles est en nette évolution de jour en jour. Cela pousse les gouvernements et les industries à rechercher des solutions technologiques permettant un traitement efficace et moins coûteux des déchets. Une des technologies permettant le traitement de la fraction organique de ces déchets est la digestion anaérobie (bio-méthanisation), qui consiste en une dégradation biologique, en absence d'oxygène, de la matière organique en un mélange de méthane (CH₄) et de

* Correspondant auteurs:
E-mail: ungporsry@yahoo.com

dioxyde de carbone (CO₂) appelé 'biogaz'. Cette technologie devient essentielle dans le processus de réduction des volumes de déchets et la production de biogaz; qui est une source d'énergie renouvelable pouvant être utilisée dans la production d'électricité et de la chaleur (Kerroum, 2012).

Le Cambodge est un pays en voie de développement, situé dans la région tropicale, 85 % des cambodgiens sont les agriculteurs. L'économie cambodgienne a maintenu une croissance élevée de plus de 10 % par an pendant quatre années consécutives entre 2004 et 2007. Selon les prévisions du ministère de l'économie et des finances (MEF), les taux de croissance d'industriels sont estimés à persister entre 6,0 % et 6,5 % en 2011 et 2012. Pendant cette période, la croissance de l'industrie est plus fort qu'avant, donc les problèmes de décharge des déchets sont aussi augmenté jour après jour qui entraîné aux problèmes environnementaux. D'autre part, l'absence de services d'hygiène collective dans les zones rurales des pays, notamment pour l'évacuation des eaux usées et des déchets, conduit la propagation des maladies et la contamination des sources d'eau (Bingxin et Xinshen, 2011). Particulièrement, c'est la pollution d'environnement par les déchets à partir de la brasserie.

Khmer Brewery Limited a trois types de déchets comme déchets de malt, l'eau usée et le résidu de levure. KBL produit 5 tonnes des résidus des levures par jour. Ces grand quantités des déchets favorisent d'exploiter la technologie du biogaz. Mélange de méthane et d'anhydride carbonique, le biogaz résulte de la fermentation des substances organiques.

Donc, l'objectif de ce travail est de valoriser des résidus de levure de Khmer Beverage Limited (KBL) en les transformant en biogaz par la méthode de fermentation anaérobie sous forme liquide à température en mésophile. Pour réaliser l'objectif ci-dessus, deux principaux activités a été fait : analyser les compositions de matière première pour la fermentation et la comparaison le rendement du biogaz produit de processus de fermentation anaérobie continu à partir des résidus de levures en présence de l'alcool et résidus des levures n'ont pas d'alcool.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1 Préparation des substrats et prélèvement

Les résidus de levures ont été collectés de Khmer Brewery Limited (KBL) et stérilisés à température 121°C, 15 min. Après la stérilisation, La moitié des résidus des levures ont été séparé pour éliminer l'alcool. Après, ils ont été conservés au réfrigérateur à -18°C pour les expériences. Avant la fermentation, résidus des levures ont été dilués pour obtenir la teneur en matière sèche en 10 %, fig. 1.

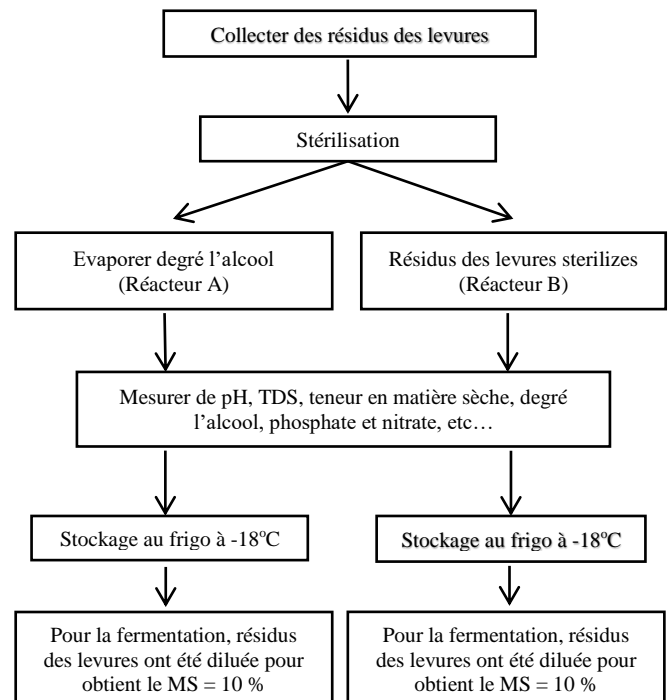


Figure 1. Procédé de préparation des résidus des levures.

2.2 Processus de biogaz par la méthode fermentation anaérobie continue

Le procédé de fermentation continue pour transformer les résidus de levures en gaz se présente sur la fig. 2 ci-dessous. Le pH, Total des Solides Dissous (TSD), matière sèche (MS), la protéine et Acid Gras Volatil (AGV) et gaz ont été mesurés chaque jour.

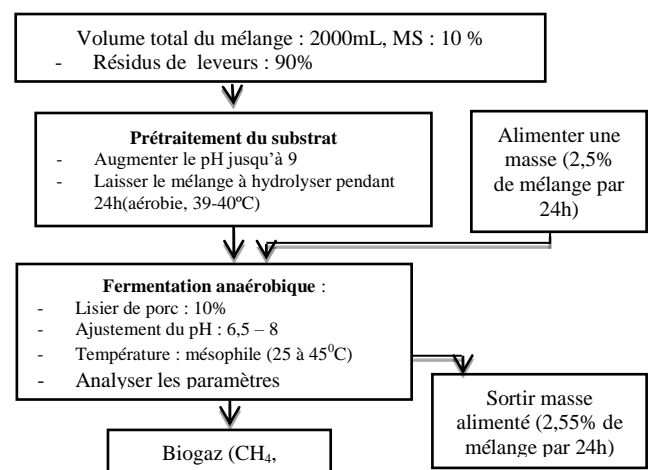


Figure 2. Fermentation anaérobie continue.

2.3 Control parametres

Les résidus des levures stérilisés et les résidus des levures sans alcool ont été mesurés (le pH, le TDS, la teneur en matière sèche, degré l'alcool, le phosphate, nitrate, la protéine, le glucide, le lipide, et les acides gras volatiles).

2.3.1 pH

Le pH est mesuré électroniquement au moyen d'un pH-mètre (METALER TOLEDO) à lecture directe, en utilisant une électrode de verre et de référence au chlorure de potassium-calomel à saturation.

2.3.2 TDS

TDS a été mesuré par Total des Solides Dissous mètre.

2.3.3 Centre

On chauffe l'échantillon dans une étuve à 550°C afin que tous les composés organiques soient brûlés et qu'il ne reste plus que les composés minéraux et les impuretés non brûlées à cette température.

$$\text{Formule : } M_{\text{cendres}} = (m_2 - m_3)/(m_2 - m_1) \times 100$$

Where :

- M_{cendres} : masse de cendres (%).
- m_1 : masse de la capsule
- m_2 : poids de l'échantillon + capsule en gramme
- m_3 : poids de l'échantillon + capsule en gramme jusqu'à constant

2.3.4 Matière sèche (MS)

Pour déterminer la quantité d'eau de l'échantillon, on le chauffe dans une étuve à 105°C pendant 3h.

$$\text{Formule : } MS (\%) = 100 - M_{\text{eau}}$$

$$M_{\text{eau}} = (m_2 - m_3)/(m_2 - m_1) \times 100$$

Where :

- M_{eau} : la teneur en eau (%)
- m_1 : a masse de la capsule,
- m_2 : poids de l'échantillon + capsule en gramme,
- m_3 : poids de l'échantillon + capsule en gramme jusqu'à constant.

2.3.5 Teneur en protéine

La teneur en protéine est mesuré par la methode de Kjeldahl (BUCHI, Digestion K437, Scrubber B414, Kjelflex K360, Suisse) (Helrich, 1990).

Formule :

$$\text{Protéines (\%)} = (0,014 \times N \times V \times 6,25 \times 100) / l = 8,75 \times N \times V$$

Where :

- Azote total (g) = $0,014 \times N \times V$
- N : normalité de H_2SO_4
- V : volume (mL) de H_2SO_4 nécessaire à titrer
- l : masse (g) de l'échantillon
- 14 : masse atomique de l'azote
- 6,25 : facteur conversion pour obtenir de teneur en protéine brutes à partir de l'azote total.

2.3.6 Teneur en glucide

La teneur en glucide est déterminé par la méthode volumétrique de Lane et Eynon's (Helrich, 1990).

$$\text{Formule : Mass glucose (mg)} = (X \times 250) / 100$$

$$\% \text{ Glucide total} = (X \times 250 \times 162 \times 100) / (100 \times 180 \times 1000)$$

Where :

- 250 : volume dilué de sucre
- X/100 : concentration de sucre correspondant, à trouver dans la table à l'aide de V
- V : volume de la solution de filtrant (mL)
- 162 : masse molécule de l'amidon $-(C_6H_{12}O_6)_n$
- 180 : masse molécule du glucose $-(C_6H_{12}O_6)$
- 1000 : masse en milligramme de l'ébullition.

2.3.7 Teneur en lipide

La méthode Soxhlet est utilisé pour déterminé la teneur en lipides en utilisant l'appareil du Soxhlet (AFR-5) (Helrich, 1990).

$$\text{Formule : } \% MG = (m_2 \times 100) / m_1$$

Where :

- m_1 : poids de l'échantillon (g)
- m_2 : poids de matière grasse obtenue (g)
- MG : matière grasse (%).

2.3.8 Teneur en phosphate et en azote

La concentration de phosphate et de azote est déterminé par la méthode COLORIMETER en utilisant appareil HACH (DR/850).

$$\text{Formule : Phosphore Total} = PO_4^{3-} \times 0,7473$$

Where :

- PO_4^{3-} : valeur apparaissant dans l'appareil HACH DR/850 pendant mesuré
- 0,7473 : facteur de conversion

Formule : Azote total = $(NO^3-N \times 4,427)/4,427$

Where :

- NO^3-N : valeur apparaissant dans l'appareil HACH DR/850 pendant mesurée
- 4,427 : facteur de conversion.

2.3.9 Degré d'alcool

Le degré d'alcool est déterminé par l'alcoolmètre.

2.3.10 Teneur en Acide Gras Volatil (AGV) et en gaz

La teneur en AGV est mesuré par la méthode de HPLC (SHIMADZU).

Formule pour mesurer le volume de gaz : $M = M_1 - M_2 - M_s$

Where :

- M : masse de biogaz en gramme,
- M_1 : masse de boîte du plastique contenant par le sac de biogaz collecté et les eaux complétées en gramme,
- M_2 : masse de boîte de plastique des eaux complétées en gramme,
- M_s : masse de sac nul en gramme.

3. RESULTS ET DISCUSSION

1. Composition et parametres physico-chimiques de matière première pour la fermentation

Les bactéries ont besoin de plus qu'un simple apport de substances organiques comme source de carbone et d'énergie mais ils sont également besoin de certains nutriments minéraux, et d'autre substances contribués. Cependant, une concentration plus forte de toute substance individu a généralement un effet inhibiteur aussi, alors que les analyses de matière première sont recommandées avant la fermentation, le cas échéant, les substances nécessaire doivent être ajoutés (Charru *et al.*, 1993).

La fig. 3 représente des composants contenus dans la matière première de résidus de levures de KBL. Cette figure montre que les résidus de levures comportent les différences de la proportion de matière organique. Parmi les trois composants principaux, la protéine a été la majorité composant 5,07 %, 3,6 % de glucide, 0,1 % de lipide et 0,73 % de centres. En plus, Le pH initial de résidus de levures a été de 5,46. La teneur en TDS a été de 6,38 g/L. La teneur en matière sèche a été de 11,41 %. La teneur en nitrate a été de 28,1 mg/L.N. La teneur en phosphate a été de 6,23 mg/L.P. Le degré d'alcool a été de 7°GL.

Grâce à la population des bactéries présentes dans l'échantillon, il va changer des compositions de résidus, particulièrement en biogaz de méthane, au cours de

fermentation par la dégradation ou l'hydrolyse les substrats existés (Jonathan, 2008).

composant de résidu de levure

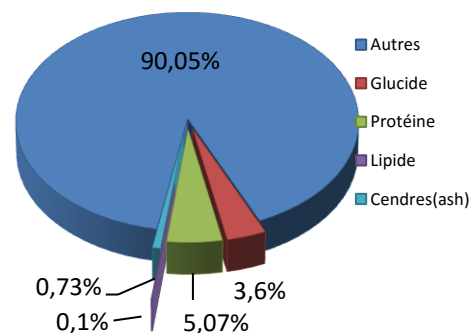


Figure 3. Composants de résidu de levure.

2. Résidu de levure pas l'alcool et avec l'alcool, 7°GL

2.1. Prétraitement du substrat

Prétraitement est une étape nécessaire, avant le procédé de fermentation, pour hydrolyser les composés complexes dans laquelle les composés organiques transformé en molécules simples. En principe, les enzymes de bactérie jouent un rôle très important dans ces procédés. Pour l'instance, les enzymes hydrolytiques incluent la cellulase, la xylanase, et l'amylase pour la dégradation des polysaccharides en sucres simples, la protéase pour la dégradation des protéines en acides aminés, la lipase pour la dégradation des lipides en glycérol et les acides gras à long chaîne (Batstone *et al.*, 2002). Les valeurs des analyses effectuées pendant l'hydrolyse de prétraitement de résidu de levure représente par la table 1. Il y a un peu différence de variation de la composition de résidus de levures au cours de prétraitement, sauf la concentration de AGV dans le réacteur A augmente de 0 à 19 g/L pendant 24h, tandis qu'il n'y pas de variation de concentration de AGV dans le réacteur B.

Selon les résultats, les matières organiques ont été peu dégradées par les enzymes des bactéries car les bactéries ont été développés pour adapter avec l'environnement. L'adaptation est une étape au quelle la cellule synthétise en particulier les enzymes qui lui sont nécessaires pour métaboliser les substrats présents mais cette peut prendre du temps. Au cours de cette étape, il n'y a pas de reproduction cellulaire ou biomasse (Heinz *et al.*, 1999).

Table 1. Valeurs des analyses effectuées pendant l'hydrolyse de réacteur A et B.

Les valeurs des analyses effectuées pendant l'hydrolyse de réacteur A et B										
Temps (h)	pH		TDS (g/L)		MS (%)		Protéine (%)		AGV (g/L)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0	9	9	6,47	6,38	10	10	5,03	4,99	0	0
12	8,75	8,58	6,48	7,12	9,18	9,92	4,7	6,67	5	0
24	6,04	7,08	9,45	7,92	8,7	9,44	4,27	3,85	19	0

2.2. Etat de la fermentation

La fig. 4 montre de l'évolution de pH, TDS, MS, AGV, teneur en protéine et teneur en gaz au cours de fermentation de résidus de levure sans l'alcool dans le réacteur A pendant 41 jours. La fermentation anaérobie sous forme liquide à température en mésophile entre 25 et 45°C, les temps de séjour sont corrects, soit environ 40 jours pour une biocénose très riche et donc stable (Seadi *et al.*, 2008).

La teneur en biogaz augmente progressivement de 0 g/L à 27,35 L. Lam et Heegde (2010) trouvé que le méthane est un produit majorité représenté de 50 à 70 % de volume de gaz total. Mais quels sont les intérêts de méthane. Le méthane issu du biogaz est utilisé comme source énergétique dans les nombreuses applications ainsi que 1 m³ de ce gaz (soit 8570 Kcal) est l'équivalent d'un litre de mazout (Sylvain, 2013).

De toute façon, la teneur en TDS augment de 1^{er} à 9^{ème} jour de 10,1 g/L à 41,6 g/L, respectivement, et ensuite il reste presque constant jusqu'à 41^{ème} jour. Pendant le première 8 jours, l'activité des bactéries méthanogènes a été très active. Il suppose que cette période de réacteur A a été dans la phase exponentielle de croissance des bactéries. La teneur des autres paramètres comme pH, MS, AGV, teneur en protéine sont baissé au cours de fermentation réalisé. pH de la solution est presque stable qu'il change de 8 à 6,79 pendant 41 jours de fermentations. Il est la condition favorable pour les acidogènes dégradé les matières organiques en l'acide organique et l'acide gras volatils. Intervalle de pH optimal pour la digestion mésophile est compris entre 6,5 et 8,0 et le processus est inhibée si le pH diminue au-dessous de 6,0 ou s'élève au-dessus de 8,3. La variation de la croissance ou de l'activité bactérienne est liée au changement l'activité enzymatique avec le pH. Le site réactionnel des enzymes comporte souvent des espèces ioniques, et un changement du pH du milieu de croissance modifiera la structure spatiale de l'enzyme ce qui la rendra inefficace. Cependant, certains chercheurs ont montré que la production de méthane était fortement ralentie mais pas fini si la phase adaptation se fait au pH aussi bas que 4 (Jonathan, 2008).

MS et AGV sont diminués progressivement de 8,65 % à 4,43 % et de 19 g/L à 3,42 g/L, respectivement. La teneur en AGV à décomposer en matières organiques du substrat été très rapide transformé en gaz. La baisse de la teneur en AGV a été résulté de la transformation des acides gras volatiles aux acétates, hydrogène, et carbone dioxyde par les bactéries acétogène pendant le phase de acétogène de la fermentation anaérobie (Seadi *et al.*, 2008). En outre, la diminution de la teneur en MS grâce aux bactéries de fermenter (les bactéries hydrolytique et acidogènes) ont été très activés pour dégrader les matières organiques. Cependant, la teneur en matière sèche a été restée presque stable après 20 jours. L'activité des bactéries hydrolytiques et acidogènes a été diminués alors qu'il a eu une légère différence de la teneur en TDS et la teneur en matière sèche.

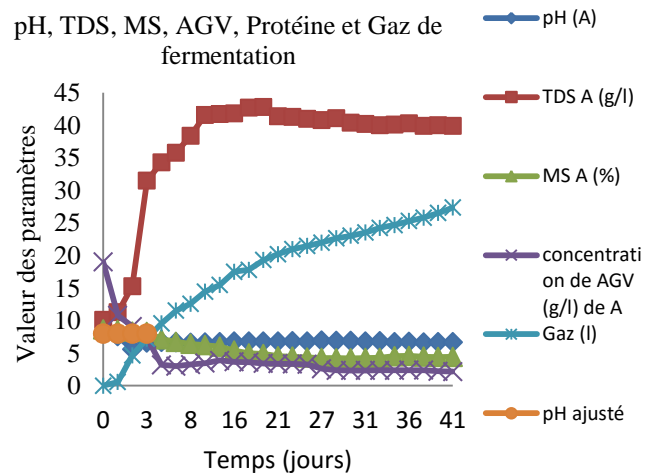


Figure 4. Évolution de pH, TDS, MS, AGV, le protéine et gaz de fermentation de réacteur A.

La fig. 5 représente une autre fermentation de résidu de levure contenant l'alcool pendant 41 jours. L'alcool est une famille d'antiseptique qui est un produit de désinfection applicable sur les tissus vivants (Haxhe et Zumofen, 2002). L'éthanol n'est bactéricide que pour des concentrations supérieures à 50 %. A plus faible concentration, il peut potentialiser l'activité d'autres biocides. Mais, les alcools sont inefficaces sur les spores bactériennes (Leveau *et al.*, 1999).

A partir de 10^{ème} jour au 41^{ème} jour, 2,5 % de résidu de levure (10 % en MS) ont été ajoutés par chaque jour afin d'enrichir biomasse car le pH du système a été presque stable. Au cours de fermentation, les différences paramètres a été évalué pour assurer la mise en place de réaction comme pH, TDS, MS, AGV, protéine et gaz. De 1^{er} à 17^{ème} jour de fermentation, la teneur en TDS est augmenté jusqu'à la valeur minimum de 7,92 g/L à 41 g/L. Mais après la 17^{ème}, la teneur en TDS est un peu abaissé jusqu'à 36,1 g/L à 41^{ème} jour, comparé à la valeur

maximum. Parmi tous les paramètres, Il y a seulement la teneur en biogaz qui est augmenté progressivement au cours de fermentation du 1^{er} au 41^{ème} jour de 0,034 L à 16,82 L. En totale, la teneur en biogaz produit a été 16,82 L. Il suppose que cette période de fermentation a été dans la phase exponentielle de croissance des bactéries. D'autre part, la concentration de AGV est notamment varié. La quantité de AGV est augmenté de 1^{er} à 6^{ème} jour de 0 à valeur maximum de 16,97 g/L grâce à la décomposition des matières organiques du substrat et les transformé aux acides grasses volatiles par les bactéries acidogènes. En revanche, après il est baissé de 16,97 g/L à 2,16 g/L du 6^{ème} au 16^{ème} jour et après le 16^{ème}, il n'y plus de variation. Pendant cette période, il y a de transformation des acides gras volatiles aux acétates, hydrogène, et carbone dioxyde par les bactéries acétogène pendant la phase d'acétogène de la fermentation anaérobique. Cependant, les deux autres paramètres, pH et MS, sont un peu varié durant le processus de fermentation, ils sont presque stables. pH est varié de 7,09 à 6,92. Cette zone de pH est la bonne condition pour les bactéries dégradées les matières organiques en l'acide organique et l'acide gras volatils. La teneur en MS est un peu changée de 9,23 % à 7,88 % pendant 41 jours de fermentation. L'activité des bactéries hydrolytiques et acidogènes a été diminués d'activité. La teneur en MS dépende aussi de la teneur en la teneur TDS, et en fait, TDS a été augmentée pendant cette période. Les bactéries de fermenter (les bactéries hydrolytique et acidogènes) ont été très activés pour dégrader les matières organiques.

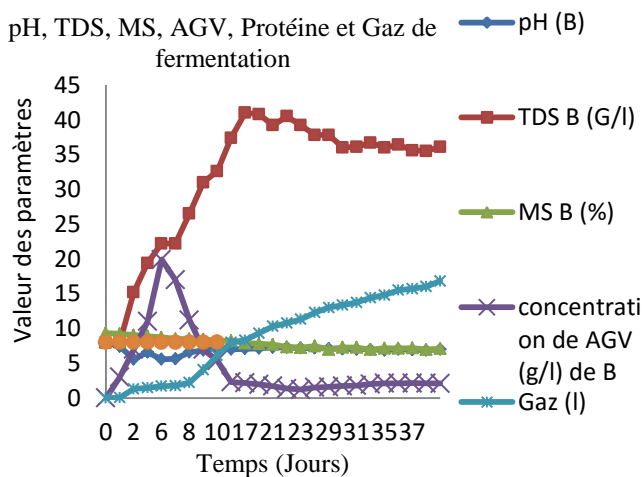


Figure 5. Évolution de pH, TDS, MS, AGV, protéine et gaz pendant la fermentation de réacteur B.

4. CONCLUSIONS

Selon les résultats des expérimentés, les résidus de levures contient plus de matières organiques notamment les protéines, les lipides, et les glucides qui sont les substrats favorable pour le processus de méthanisation.

La fermentation anaérobique continue de la matière première (résidu de levure) contienne l'alcool (le pH 5,58 à 8 et la température 45°C) a été retard comparé à la fermentation continue de la matière première sans l'alcool (le pH 6,5 à 8 et la température 45°C). La teneur et la durée de productivité en TDS et de la fermentation continue de matière première pas d'alcool est plus grand et rapide que la fermentation de matière première contienne l'alcool, 41,9 g/L du 9^{ème} jour et 41 g/L du 17^{ème} jour, respectivement. La teneur en biogaz produite de la fermentation continue de la matière première contienne l'alcool (16,82 L) a été inférieure à la celle produite de la fermentation continue de la matière première sans l'alcool (27,35 L) en 1,63 fois. En générale de toute période de fermentation, la teneur en gaz produite est de 8,96 mL/mL de la matière première pas l'alcool et 6 mL/mL de la matière première contienne l'alcool, donc cette valeur n'est pas importante pour la production de biogaz à partir de résidus de levure, donc la technologie de fermentation devra être amélioré.

Donc le processus de fermentation anaérobique continue de matière première pas l'alcool avec les paramètres optimisés, peut-être plus favorable plus que la fermentation anaérobique continue de matière première contienne l'alcool pour la production biogaz.

REMERCIEMENT

Nous voudrions à remercier avec notre profonde gratitude à CUD (Commission Universitaire pour le Développement) pour d'avoir accepté notre proposition et supporter de tous besoins dans le projet, pour que nous puissions de réaliser ce projet. En plus, nous exprimons nos remerciements aussi à KBL (Khmer Brewery Limited) pour la bonne coopération avec ITC (Institute de Technologie du Cambodge) et tous les persons participé dans le projet

REFERENCES

- Batstone, D. et al., (2002). *The IWA Anaerobic digestion models no 1. (ADMI)*. Water Science and Technology, 45, 65-73.
- Bingxin Y., et Xinshen D., 2011. Strategy: Future development options for the rice sector. *A Policy Discussion Paper*. USAID, 1-24. Cambodia's Agricultural.
- Charru, M. et al., (1993). La fermentation méthanique. In : *bilans Économique, Énergétique et Écologique des*

- fillières méthane-carburant issu de biomasse agricole.*
Toulouse, 14-20
- Haxhe, JJ. et Zumofen, M. (2002). Désinfection-Antiseptique-Désinfectants. Document télé accessible à l'adresse : www.nd.ucl.be/didac/hosp/cours/HHS.htm
- Heinz, G. *et al.* (1999). *Nettoyage, Désinfection et Hygiène dans le bio-industries.* Paris, 103-106.
- Helrich, K. (1990). *Official Methods of Analysis.* Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS). (2006). *Etude comparative des dangers et des risques liés au biogaz et au gaz naturel.* DRA, 12-14, 32.
- Jonathan, H. (2008). *Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation.* Thèse doctorale d'université de Nice – Sophia antipoles – UFR science, 19-25.
- Kerroum, D. (2012). *Digestion anaérobie des déchets solides mélanges avec les boues de station d'épuration.* Thèse doctorat en science en génie de l'environnement d'université Mentouri Constantine, faculté des sciences de l'ingénieur, département de chimie industrielle.
- Lam, J. et Heegde, T F. (2010). *Domestic biogas compact course.*
- Leveau, J Y. et Bouix, M. (1999). *Nettoyage, désinfection et hygiène dans les bio-industries.* Lavoisier, Paris.
- Sadi, T AL. *et al.*, (2008). *Biogas.* University of Southern Denmark Esbjerg, NielsBohrsVej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark. Handbook.
- Sylvain F. (2013). *Avantages de la méthanisation.* Document téléaccessible à l'adresse <http://www.methanisation.info/methanisation.html> (date consulté, 24/12/2014).