

Étude de la production de bioéthanol biocarburant à partir de sous-produits agricoles : Effet de l'aération

A.Mansouri, R.Rihani, F.Bentahar*

¹Université des Sciences de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, Laboratoire Phénomènes de transfert, Bab-Ezzouar, 16111, Algérie.

Corresponding author: fbentahar@usthb.dz, fatihabentahar@yahoo.fr

ARTICLE INFO

Article History:

Received :31/01/2019

Accepted :08/06/2019

Key Words:

Bioethanol; bioreactor;
aeration; fermentation;
agricultural by-product.

Mots clés:

Bioéthanol; bioréacteur;
aération; fermentation ; sous-
produits agricoles.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: Among bioenergetic processes, fermentation of effluents from agricultural by-products is a promising alternative for energy recovery of discharges. The biofuels produced can be exploited as additives for conventional fuels. Moreover, they can be produced from agricultural by-products rich in carbohydrates. The aim of our work is to produce bioethanol from a mixture of agricultural feedstocks, that is: the by-products of grapes and dates, by using the yeast *Saccharomyces Cerevisiae* in a cylindrical bioreactor with a capacity of 5 L. The effect of aeration on bioethanol yield has been studied. Different parameters have been monitored such as: bioethanol concentration, total sugar, ammoniacal nitrogen, pH, yeast viability, etc. It was found a high bioethanol concentration for flow rate 50 mL/min. In such case, the bioethanol concentration reached it was about 160 g/L which is higher in comparison to that obtained for a flow rate of 100 mL / min or in anaerobic which is 38 g/L and 112 g/L, respectively.

Résumé: Parmi les procédés bioénergétiques, la fermentation des effluents issus de sous-produits agricoles est une alternative prometteuse à la valorisation énergétique des rejets. Les biocarburants produits peuvent être exploités comme additifs aux carburants conventionnels. De plus, ils peuvent être produits à partir de sous-produits agricoles riches en glucides. Le but de notre travail consiste à produire du bioéthanol à partir de matières premières agricoles à savoir : les sous-produits de dattes et de raisins, et ce en présence de la levure *Saccharomyces cerevisiae* dans un bioréacteur cylindrique de capacité 5 L. L'effet de l'aération sur le rendement en bioéthanol (g/g de sucre) a été étudié. Différents paramètres ont été suivis tels que : la concentration en bioéthanol, la croissance de la levure, les sucres totaux, l'azote ammoniacal et le pH. Une production élevée en bioéthanol a été trouvée pour un débit d'air de 50 mL/min. Dans ce cas, la concentration en bioéthanol atteinte est de 160 g/L qui est élevée par comparaison à celle obtenue pour un débit de 100 mL/min ou en anaérobiose qui est de 38 g/L et 112 g/L, respectivement.

I. Introduction

Face au réchauffement climatique, aux fluctuations importantes du prix de baril de pétrole et à l'épuisement programmé de la ressource énergétique fossile dans un avenir proche, les réserves de pétrole devront être complétées par les biocarburants afin d'assurer une part de notre richesse naturelle pour la génération future [1]. La fermentation biologique des sous-produits agricoles présente un intérêt prometteur du moment où elle permet de produire différents types de biocarburants à savoir : l'hydrogène, le biométhane, le bioéthanol, etc. Le biocarburant formé à partir de la matière organique permet de produire de l'énergie renouvelable car sa combustion ne contribue pas à l'effet de serre. Cet argument est basé sur le fait que le gaz carbonique CO₂ généré durant la combustion du biocarburant (bioéthanol) est celui qui était précédemment fixé par la plante ou la biomasse agricole. Ce mode de valorisation des sous-produits organiques permet de réduire les impacts environnementaux notamment, la réduction des gaz à effet de serre, les odeurs et les sous-produits. Par ailleurs, les fermentations conduisant à la production de la bioénergie sont efficaces en anaérobie.

Les utilisations énergétiques des sous-produits ont poussé de plus en plus les chercheurs à sélectionner les plantes dédiées à la production de biocarburants et à optimiser les performances fermentaires [2]. Parmi les technologies de production de biocarburants les plus couramment développées ces dernières années, la fermentation en co-culture et la saccharification et fermentation simultanées [3-4]. En effet, la technique de co-culture consiste à utiliser des levures qui transforment préférentiellement les différents sucres, souvent, *Saccharomyces Cerevisiae* fermente le glucose et *Pichia Stipitis* fermente le xylose. Quant à la saccharification et fermentation simultanées constituent une technique combinée continue qui permet d'effectuer simultanément la saccharification, la conversion et la synthèse de l'éthanol, elle reste efficace et économique.

En outre, les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques qui possèdent aussi de nombreuses potentialités et qui peuvent être exploitées pour la production de biocarburants, par exemple, la *Chlorella* et le *Chlamydomonas* sont capables d'accumuler des teneurs considérables en carbohydrates (>40% de la matière sèche) et de mobiliser le dioxyde de carbone afin de synthétiser le bioéthanol [5].

Certains auteurs [6] ont montré que la fermentation en aérobie est efficace jusqu'à un débit d'air de 200 mL/min. L'aération est

quasiment indispensable pour la fermentation des pentoses. Il est à souligner qu'une forte teneur en oxygène, ou en bioéthanol peut inhiber la croissance des micro-organismes [7, 8].

D'autres auteurs [9] ont testé deux modes de fonctionnement d'un fermenteur qui a été exploité en aérobie pour la production de bioéthanol à partir de la betterave sucrière. Ils ont montré que le procédé en fed -batch était plus performant que le procédé batch, la concentration en bioéthanol atteinte est de 15,4 % (v/v). De plus, ce procédé a permis de réduire l'inhibition de la croissance de la levure en présence à la fois de concentrations élevées en sucres et en bioéthanol.

L'objectif de ce travail consiste à produire le bioéthanol biocarburant à partir des sous-produits agricoles à savoir : les rebuts de dattes et les résidus de récolte de raisins. Pour cela, les fermentations ont été menées en utilisant la levure *Saccharomyces Cerevisiae* en batch dans un bioréacteur cylindrique de capacité 5 L. Dans cette étude, l'effet de l'aération sur la fermentation éthanolique a été étudié, le débit a varié de 0 à 100 mL/min. Pour cela, différents paramètres ont été suivis tels que : la teneur en bioéthanol, les sucres totaux, l'azote ammoniacal et le pH.

II. Materials and methods

II.1. Dispositif expérimental

Le réacteur utilisé pour la fermentation alcoolique est un bioréacteur de forme cylindrique à fond conique et en acier inoxydable, de capacité de 5 L et de volume utile de 3 L, sa hauteur est de 0,355 m avec un diamètre interne de 0,15 m (Figure 1). Afin de maintenir la température constante lors de la fermentation, le bioréacteur est entouré d'une chemise thermostatée de 0,165 m de hauteur, alimentée par la circulation d'eau. Le couvercle du réacteur est muni de plusieurs tubulures pour la prise d'échantillons lors du suivi des différents paramètres à savoir : le pH, la conductivité, les sucres totaux, la concentration en alcool, etc. Le fond du bioréacteur est de forme conique et possède deux vannes, l'une d'elles sert pour les prélèvements ou bien la purge du bioréacteur, et la seconde pour l'injection d'air via un débitmètre. L'homogénéité du substrat au sein du fermenteur est assurée grâce à un agitateur. La fermentation alcoolique est menée en utilisant la levure *Saccharomyces Cerevisiae*, à un pH de 4,5 et à une température de 30 °C pendant 72 h [10]. Le moût obtenu est distillé à 78 °C et ce pour extraire le bioéthanol [11].

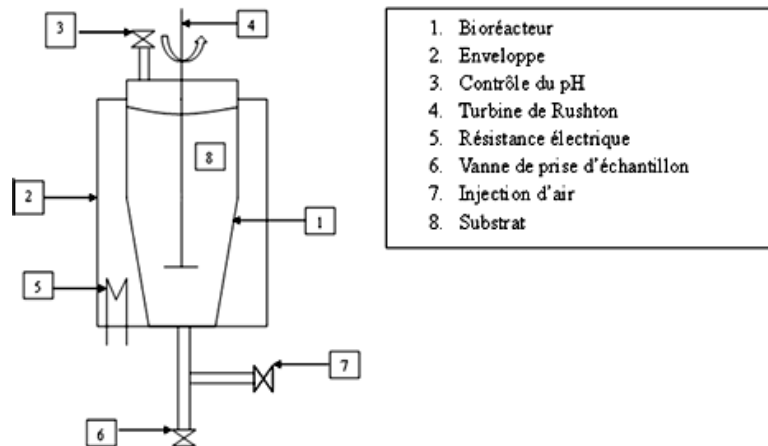


Figure 1. Dispositif expérimental [10]

II.2. Matière première

Le choix de la matière première dépend essentiellement de sa disponibilité dans la région, de son abondance ainsi que sa composition pour la fabrication de biocarburants. Les sous-produits agricoles utilisés dans cette étude sont issus de sous-produits de dattes et de raisins à cause de leur richesse en matières organiques et nutritives. La variété de datte Mesh-degla provient de la région Sud-Ouest d'Alger, en particulier, de la région de Biskra. Cette variété est classée comme un sous-produit du palmier dattier à cause de sa faible valeur marchande. Elle est destinée essentiellement au bétail et comme appoint alimentaire pendant les périodes de disette. Quant aux sous-produits de raisin, il s'agit du muscat noir, obtenus des marchés de la région d'Alger. Dans le présent travail, les fermentations ont été menées en utilisant le mélange composé de 50% de jus extrait de sous-produits de dattes mélangé à 50% de jus extrait de sous-produits de raisin.

Les caractéristiques des deux substrats sont données dans le tableau 1 [12]. La détermination de la concentration cellulaire (en nombre de cellules par millilitre) ainsi que la viabilité ont été réalisées

par comptage au moyen de la cellule de Mallassez [13 -14]. Les sucres totaux ont été mesurés par la méthode standard proposée par [15] et décrite par [16]. C'est une méthode spectro-photométrique dans le visible. L'absorbance est lue à une longueur d'onde de 490 nm. La concentration en NH_4^+ est déterminée par une méthode standard (APHA., 1998). Le réactif de NESSLER (iodo-mercure de potassium alcalin) en présence d'ammoniaque est décomposé avec formation d'iodure de dimercure ammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammonium (NH_4^+). L'absorbance est lue à une longueur d'onde de 420 nm.

La concentration de l'éthanol a été suivie par chromatographie en phase gazeuse CPG de marque Agilent 7890 A, couplée à un injecteur de type FID. La colonne utilisée est de type Agilent HP (30 m, 320 μm ID, 0,25 μm). Le gaz vecteur est de l'azote dont le débit est de 1 mL/min. La température de la colonne est réglée à 120 °C. La température de l'injecteur et du détecteur sont réglées à 220 °C et 300 °C, respectivement.

Tableau 1. Caractéristiques des deux substrats dans 100 g de matière sèche

| Caractéristiques | Jus de dattes | Jus de raisins |
|---------------------|---------------|----------------|
| pH | 5,08 ± 0,02 | 3,28 ± 0,02 |
| TSS (°Brix) | 10,50 ± 0,20 | 15,75 ± 0,20 |
| Sucres totaux (g/g) | 80,07 ± 0,01 | 17,00 ± 0,01 |
| Protéines (g/g) | 2,46 ± 0,29 | 0,60 ± 0,40 |
| Lipides (g/g) | 2,70 ± 0,08 | 1,00 ± 0,08 |

III. Results and discussion

III.1. Influence de l'aération sur la production du bioéthanol

En aérobie aussi bien qu'en anaérobie, deux phases peuvent être distinguées lors des fermentations des mélanges de jus issus de sous-produits agricoles. Durant la première phase de la fermentation, le bioéthanol est produit de façon concomitante à la biomasse ; puis la croissance des levures s'arrête, mais les cellules poursuivent la production du bioéthanol (Figure 2). L'augmentation du débit d'air injecté dans le fermenteur a accéléré le temps de fermentation. En effet, pour un débit d'air de 100 mL/min, la production de bioéthanol a atteint le maximum après 36 heures de fermentation. Par contre, la fin de la production du bioéthanol a été atteinte après 48 heures, et ce pour un débit de 100 mL/min. Globalement, l'apport de l'air influe sur la

fermentation éthanolique. Un faible débit de 50 mL/min a conduit à une augmentation significative de la production d'alcool entre 100 et 160 g/L. Par contre, elle a varié dans l'intervalle de 75 à 120 g/L en anaérobie. La concentration maximale de bioéthanol atteinte est de 160 g/L pour un débit d'air de 50 mL/min. Dans ce cas, le débit d'air de 50 mL/min a permis d'améliorer la production de bioéthanol, qui est de 29,87%. Des observations similaires ont été obtenues par certains chercheurs [6]. Il a été constaté que la production en éthanol est élevée dans les fermenteurs aérés par comparaison à ceux non aérés [17]. La croissance de la levure et la production d'éthanol peuvent être ralenties à la fin de la fermentation, notamment lorsque la concentration en éthanol atteint environ 100 g/L [8].

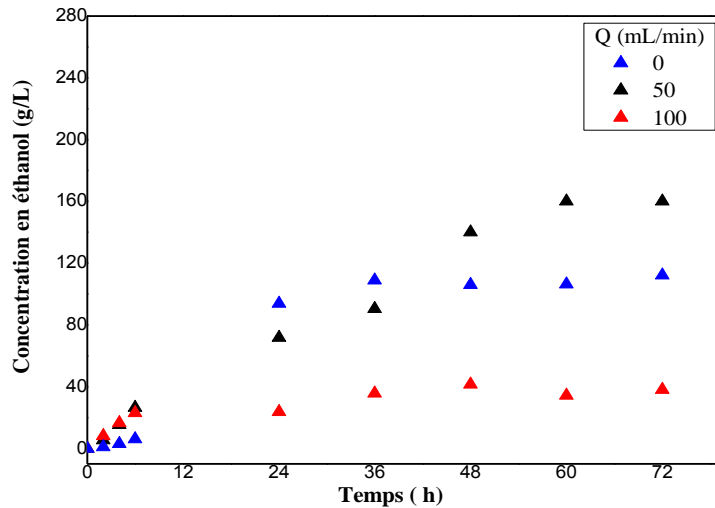


Figure 2. Influence du débit d'air sur la production du bioéthanol.

III.2. Effet du débit d'air sur l'assimilation des sucres totaux

La figure 3 présente l'évolution des sucres totaux durant la fermentation alcoolique en conditions aérobie et anaérobie. Pour l'ensemble des essais réalisés, nous remarquons une diminution de la concentration en sucres totaux après 48 heures de fermentation due à l'assimilation des sucres par la levure. Au-delà de 48 heures, cette concentration se stabilise à une concentration de 2,19 g/L en

anaérobie. Cependant, pour des débits d'air de 50 mL/min et de 100 mL/min, les valeurs obtenues sont beaucoup plus élevées, elles sont de l'ordre de 8,7 et de 19 g/L respectivement. Dans ce cas, l'assimilation des sucres en anaérobie est presque totale et elle peut être reliée à l'augmentation de la production de bioéthanol. Ainsi, la consommation des sucres est élevée et est maximale lorsque la fermentation s'effectue en anaérobie par comparaison aux deux débits d'air testés dans ce travail.

III.3. Evolution du pH

Les variations du pH en fonction des débits d'air injectés sont données sur la figure 4. Nous remarquons que le pH fluctue entre 4,5 et 3,9 en anaérobie et entre 4,2 et 3,4 en aérobie. Nous remarquons aussi que quelles que soient les conditions de fermentation, le pH tend à augmenter durant la fermentation mais après une légère acidification du milieu. L'augmentation est constatée après environ 36 heures de fermentation, cette augmentation peut être expliquée par le fait que les acides organiques consommés ou produits

durant la fermentation subissent des dissociations et libèrent à leur tour des ions hydrogènes dans le milieu de fermentation, influençant ainsi le pH.

Après 36 heures de fermentation, la production d'alcool augmente avec une légère augmentation de la valeur du pH qui passe à 4,1. De plus, pour le moût de dattes pur et pour les différents débits d'air injectés, l'évolution du pH est plus lente qu'en anaérobie ; les valeurs de pH obtenues sont donc plus faibles égales à 4,0. La plupart des levures du genre *Saccharomyces* tolèrent un pH compris entre 3,0 et 8,0 [18].

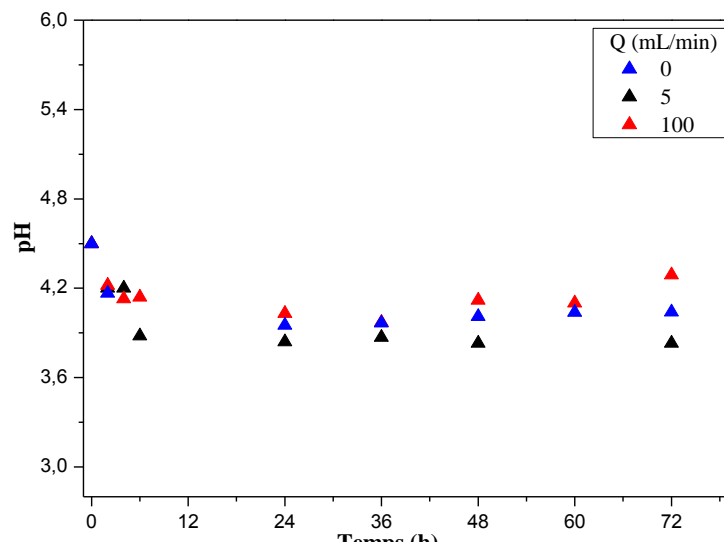


Figure 4. Influence du débit d'air sur l'évolution temporelle du pH.

III.4. Effet du débit d'air sur l'azote ammoniacal

L'azote assimilable est généralement le nutriment le plus limitant pour les levures dans les moûts et joue un rôle essentiel sur la cinétique fermentaire [19]. La figure 5 illustre l'effet de l'aération sur la consommation de l'azote. Nous distinguons deux phases : la première phase (de 0 à 36 heures) et la seconde phase (de 36 à 72 heures).

- La première phase se déroule de 0 à 36 heures, durant laquelle une assimilation rapide de l'azote est constatée. La concentration est passée de 2 g/L à environ 0,14 g/L et ce pour les débits d'air de 50 et 100 mL/min. Cependant, en anaérobie, nous remarquons une assimilation plus lente de l'azote durant les premières heures (12 heures) de

fermentation, dans ce cas, l'activité métabolique des levures est lente et se traduit par une faible consommation en substrats et de production à la fois de métabolites et de biomasse.

- La seconde phase se situe entre 36 et 72 heures, durant laquelle nous remarquons une consommation totale des ions ammonium pour les substrats et pour un débit d'air injecté de 50 mL/min. Par contre, pour des débits élevés, 100mL/min, l'assimilation totale de l'azote a été enregistrée.

L'apport en oxygène a permis de favoriser la consommation des ions ammonium par la levure et ce par comparaison aux transformations réalisées en anaérobie où la consommation était limitée à environ 1 g/L.

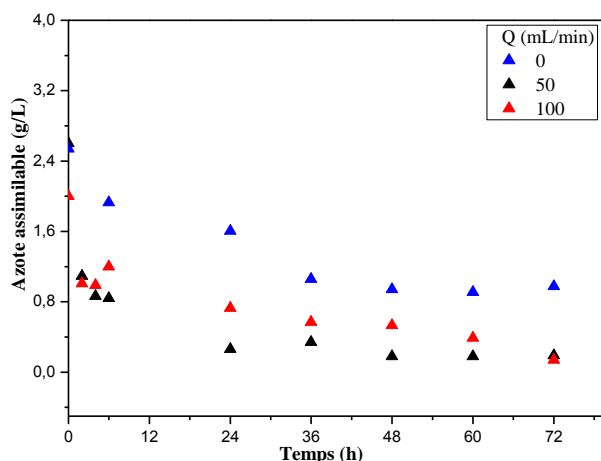


Figure 5. Influence du débit d'air sur l'évolution temporelle de l'azote ammoniacal

IV. Conclusion

Nous avons présenté dans ce travail expérimental, les principaux résultats relatifs à l'étude du processus de la fermentation alcoolique des sous-produits agricoles. Pour cela, nous avons suivi l'évolution de différents paramètres à savoir : le pH, la concentration en bioéthanol produit, etc.. L'effet de l'aération sur la production de bioéthanol a été testé, le débit a varié de 0 à 100 mL/min.

Il ressort de ce travail que la fermentation alcoolique des sous-produits agricoles a conduit à la diminution de la teneur en sucres totaux et de l'azote ammoniacal et ce au fur et à mesure que la levure se développe.

Par ailleurs, nous avons trouvé qu'une faible aération du milieu a conduit à une amélioration de la production de bioéthanol. Une production élevée en bioéthanol a été obtenue pour un débit d'air de 50 mL/min, avec une concentration en bioéthanol atteinte de 160 g/L qui est élevée par comparaison à celle obtenue pour un débit de 100 mL/min ou en anaérobie qui est de 38 g/L et 112 g/L, respectivement.

V. References

- Riess, J. Intensification de la brique « fermentation alcoolique » de substrats betterave (et autre substrats) pour la production d'éthanol, Thèse de Doctorat, Université Toulouse (2012)177.
- Pandiyan, K.; Singh, A.; Singh, S.; Saxena, A.K.; Nain, L. Technological interventions for utilization of crop residues and weedy biomass for 2second generation bio-ethanol production, Renewable Energy, 132 (2019)723-741.
- Ntaikou, I.; Menis N., Alexandropoulou, M.; Antonopoulou, G.; Lyberatos, G. Valorization of kitchen biowaste for ethanol production via simultaneous saccharification and fermentation using co-cultures of the yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia stipitis*, *Bioresource Technology*, 263 (2018) 75-83.
- Costa,-Nogueira, C.C.; Padilh,a C.E.A.; Jesus, A.A.; Souza, D.F.S.; Assis, C.F.; Junior, F.C..S.; Santo, E.S. Pressurized pretreatment and simultaneous saccharification and fermentation with *in situ* detoxification to increase bioethanol production from green coconut fibers, *Industrial Crops and Products*, 130 (2019) 259-266.
- Park, J.; Han, T.; Yarish, C.; Kim, J.K. Microalgae and Alcohol, *Microalgae in Health and Disease Prevention* (2018) 227-234.
- Arshad, M.; Hussain, T.; Iqbal, M.; Abbas, M. Enhanced ethanol production at commercial scale from molasses using high gravity technology by mutant *Saccharomyces Cerevisiae*, *Brazilian Journal of Microbiology*, 48 (3) (2017) 403-409.
- Ballerini, D. Les biocarburants : Etat des lieux, perspectives et enjeux du développement, IFP publication, Edition Technip, Paris (2006)
- Lareo C.; Ferrari M.D., Guigou, M.; Fajardo, L.; Larnaudie, V.; Ramirez, M.B.; Martínez-Garreiro, J. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. *Springer Plus*, 2 (1) (2013) 493.
- Joannis-Cassan, C.; Riess, J.; Jolibert, F.; Taillandier, P. Optimization of very high gravity fermentation process for ethanol production from industrial sugar beet syrup, *Biomass and Bioenergy*, 70 (2014) 165-173.
- Cekmecelioglu, D.; Uncu, ON. Kinetic modeling of enzymatic hydrolysis of pretreated kitchen wastes for enhancing bioethanol production, *Waste Manage*, 33 (3) (2013) 735-9.
- Mansouri, A. ; Rihani, R ; Laoufi, N.A. Etude de la production d'éthanol biocarburant à partir de rejets agricoles, Second International Conference on Mechanics ICM, Constantine, Algérie, (2015) 25/26 Novembre.
- Mansouri, A.; Rihani, R.; Laoufi, A. N.; Özkan, M. Production of bioethanol from a mixture of agricultural feed stocks: Biofuels characterization, *Fuel*, 185 (2016) 612-621.
- Jones R.P., Measures of yeast death and deactivation and their meaning: Part I, *Process Biochem.*, 22 (1987)118-128.

14. Bapat, P.; Nandy, S. K.; Wangikar, P.; Venkatesh, K.V. Quantification of metabolically active biomass using Methylene Blue dye reduction test (MBRT): Measurement of CFU in about 200 s, J. Microbiol. Methods, 65 (2006) 107-116.
15. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F., Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Analytical Chemistry, 28 (3) (1956): 350-356.
16. Herbert D., Phipps P. J., Strange R. E., Chemical analysis of microbial cells, Methods in microbiology, 5 (Part B) (1971) 209-344.
17. Alfenor, S.; Cameleyre, X.; Bandadi, S. L.; Bideaux, C.; Uribelarrea, J.L.; Goma, G.; Molina-Jouve, C.; Guillouet, S.E. Aeration strategy: A need for veryhigh ethanol performance in Saccharomyces cerevisiae fed-batch process., Appl. Microbiol. Biotechnol, 63 (2004)(5) 537-42.
18. Isla, M.; Comelli, R.N.; Seluy, L.G. Wastewater from the soft drinks industry as a source for bioethanol production, Argentina, Bioresource technology, 136 (2013) 140-7.
19. Bely, M.; Sablayrolles, J.M.; Barre, P. Automatic detection of assimilable nitrogen deficiencies during alcoholic fermentation in oenological conditions Journal of fermentation and bioengineering, 70 (4) (1990) 246-252.

Please cite this Article as:

Mansouri A., Rihani R., Bentahar F., *Étude de la production de bioéthanol biocarburant à partir de sous-produits agricoles : Effet de l'aération*, **Algerian J. Env. Sc. Technology**, 5:3 (2019) 1087-1093