HAL open science

Valorisation de la jacinthe d'eau (Eichhornia crassipes) par la production de biocarburant : expérimentation

Flora Adjahatode, Aurel S.M. Kobede, Mohamed M Daouda, Anthelme Hodonou, Boris S Guehou, Martin Pépin Aïna

▶ **To cite this version:**

Flora Adjahatode, Aurel S.M. Kobede, Mohamed M Daouda, Anthelme Hodonou, Boris S Guehou, et al.. Valorisation de la jacinthe d'eau (Eichhornia crassipes) par la production de biocarburant : expérimentation. Environnement, Ingénierie & Développement, 2016, N°72 - N° Spécial LOMÉ, Congrès E3D 2016, pp.1-6. 10.4267/dechets-sciences-techniques.3445 . hal-03160012

HAL Id: hal-03160012

https://hal.science/hal-03160012

Submitted on 4 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Valorisation de la jacinthe d'eau (Eichhornia crassipes) par la production de biocarburant : expérimentation

Flora Adjahatode[1,*], Aurel S.M. Kobede[1], Mohamed M. Daouda[1], Anthelme Hodonou[1], Boris S. Guehou[1], Martin Pépin Aïna[1],

(1) Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE), Université d'Abomey-Calavi, Rép. du Bénin

Auteur correspondant : adjahatodeflora@gmail.com

RÉSUMÉ

La gestion efficiente de la jacinthe d'eau sur les plans d'eau du Bénin demeure un défi à relever. De plus, devant l'urgence de trouver d'autres sources d'énergie suite à la rareté des énergies fossiles, les énergies renouvelables obtenues à partir des biomasses lignocellulosiques constituent une voie prometteuse. L'objectif de l'étude est de déterminer le potentiel éthanoïque de jacinthe d'eau. Pour cela, la production du bioéthanol à partir de la jacinthe d'eau a été faite par voie chimique qui se traduit par : un prétraitement physique de la matière première, une pré-hydrolyse à l'acide dilué, une fermentation alcoolique à la levure boulangère (S. cerevisiae) en mode batch et une distillation. La mesure du pH et de la teneur d'Acide Gras Volatils (AGV) dans différents échantillons fermentés ont permis la détermination des conditions optimales pour une meilleure fermentation. En effet, 120 heures de fermentation se révèlent être satisfaisantes pour une fermentation optimale de la jacinthe d'eau. Cela a nécessité un apport de levure de 2,5 % par rapport à la matière sèche et un rapport L/S = 20. Le dosage du distillat obtenu après distillation du moût fermenté par la méthode chronométrique a permis de déterminer la concentration éthanoïque de la jacinthe qui est de 0,95 %V/V de distillat par biomasse fermentée.

MOTS-CLÉS : *jacinthe d'eau, potentiel éthanoïque, fermentation alcoolique, bioéthanol*

ABSTRACT

The efficient management of water hyacinth on Benin's waters remains a challenge. Moreover, given the urgency to find alternative energy sources due to the scarcity of fossil fuels, renewable energy obtained from lignocellulosic biomass is a promising route. The objective of the study is to determine the potential ethanoic water hyacinth. For this, the production of bioethanol from the water hyacinth was made chemically, which results in: a physical pretreatment of the raw material, a pre-hydrolysis with dilute acid, alcoholic fermentation yeast baker (S. cerevisiae) and batch distillation. pH measurement and content Volatile Fatty Acid in various fermented samples allowed the determination of optimal conditions for better fermentation. Indeed, 120 hours of fermentation are found to be satisfactory for optimum fermentation of water hyacinth. This required a yeast contribution of 2.5 % on the dry matter and L/S = 20. The dosage of distillate obtained after distillation of fermented mash by chronometer method was used to determine the concentration of ethanoic. Hyacinth which is 0.95 % V/V distillate from fermented biomass.

KEYWORDS : *water hyacinth, fermentation, alcoholic strength, bioethanol*

doi:10.4267/dechets-sciences-techniques.3445

Valorisation de la jacinthe d'eau (Eichhornia crassipes) par la production de biocarburant : expérimentation

Flora Adjahatode, Aurel S.M. Kobede, Mohamed M. Daouda, Anthelme Hodonou, Boris S. Guehou, Martin Pépin Aïna,

INTRODUCTION

La jacinthe d'eau est une plante aquatique invasive. Elle est devenue un véritable fléau dans les eaux du monde entier. Les conséquences de cette invasion biologique sur l'écosystème aquatique et les activités humaines ne sont pas anodines. La jacinthe d'eau altère le fonctionnement des écosystèmes aquatiques en menaçant les pêches, les transports fluviaux, le tourisme, etc. (Fragoso, 2011). De même, en empêchant la pénétration du rayonnement solaire, le tapis dense de jacinthe diminue la photosynthèse des producteurs primaires à la base des chaînes alimentaires. La décomposition des feuilles mortes rend le milieu anoxique, conduisant ainsi à l'eutrophisation du plan d'eau et privant d'oxygène les espèces du milieu. On assiste ainsi à l'asphyxie des animaux aquatiques vivant dans les milieux de grandes proliférations de la Jacinthe d'eau. Cet état de chose altère la qualité physico-chimique et organoleptique de l'eau puis réduit les stocks de pêche. Les premières initiatives adoptées visant à l'élimination de la plante, par voie physique (mécanique), chimique ou biologique ont rapidement montré leurs limites face à la vitesse de multiplication de celle-ci. Il est urgent alors de trouver des techniques de valorisation de la jacinthe d'eau qui respectent l'environnement de façon durable dans toutes ses formes. Ainsi, la jacinthe d'eau est démontrée et se révèle très efficace dans plusieurs domaines tels que l'épuration des eaux usées (Aïna ***et al***., 2012). Toutefois, la gestion de la jacinthe d'eau provenant d'une station d'épuration des eaux usées reste toujours un défi à relever. D'où, son utilisation dans l'alimentation du bétail et dans la fabrication des objets d'art et de décoration tels que les porte-stylos, les sacs, les représentations animales… De plus, la diminution des ressources en énergie non renouvelables (Foteinis ***et al***., 2011), devant l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre constituent une préoccupation grandissante de par le monde. Face à cet état de chose la nécessité de trouver des sources d'énergie alternatives aux carburants fossiles s'impose à tous. Almoustapha ***et al***., (2008) ont démontré l'utilisation de la jacinthe d'eau dans les processus de méthanisation et de compostage. La jacinthe d'eau est également utilisée dans la combustion après séchage, mais cette forme d'utilisation est une source d'émission de CO_2.

Des investigations ont montré que la jacinthe d'eau dispose d'un pouvoir éthanolique par fermentation alcoolique. Le bioéthanol provenant de la jacinthe d'eau est un biocarburant qui pourra faire l'objet aujourd'hui d'un développement industriel et environnemental important étant donné que contrairement au biogaz, le bioéthanol peut être un combustible pour les moteurs (Ayissi *et al*., 2016) et est facilement conservable (Ben Chaabane, 2006). C'est dans ce cadre que cette étude a été initiée et est essentiellement orientée sur l'expérimentation des procédés de production de l'éthanol (biocarburant) à partir de la jacinthe d'eau plus précisément l'optimisation du pouvoir fermentescible de la plante et la détermination de son degré éthanoïque.

1. Methode

La méthode utilisée pour obtenir l'alcool se résume : Prétraitement, Fermentation, Distillation de la matière première (Jacinthe d'eau). Trois campagnes de 20 échantillons ont été réalisées par lot de 5 pour le prétraitement et la fermentation. Le pH et la teneur en AGV ont été déterminés sur le moût de fermentation de chaque échantillon afin de déterminer le pouvoir fermentescible de la jacinthe d'eau. Le volume d'eau, le taux de ferment utilisé et la durée de fermentation sont aussi évalués pour une optimisation de la production d'éthanol.

1.1. Prétraitement physique

La jacinthe d'eau préalablement cherchée sur l'eau est séchée au soleil puis à l'étuve pour enfin être broyée pour une granulométrie inférieure à 1 mm.

1.2. Prétraitement chimique (pré-hydrolyse acide)

La jacinthe prétraitée est soumise à une pré-hydrolyse chimique par de l'acide à 0,1 M et dans une proportion de 1 % par rapport à la masse de matière sèche utilisée. Cette opération est réalisée à une température de 180 °C dans un four de marque MEMMERT ayant une température maximale de 200 °C pour une durée d'hydrolyse de 15 mn. La composition de la biomasse lignocellulosique a un effet sur la fermentation et oriente le choix de la technique de pré-hydrolyse (Carrere *et al.,* 2011). L'adoption de la pré-hydrolyse

à l'acide dilué suppose une dominance de la cellulose dans le substrat (Wertz, 2012).

1.3. Fermentation

Les échantillons pré-hydrolysés sont mis en fermentation dans des récipients en polyéthylène de 1,5 litre auxquels a été ajoutée l'eau de robinet dans un rapport liquide sur solide (L/S) compris entre 5 et 35. Les masses de levure utilisées varient de 0 à 2 grammes à pas de 0,5 g afin d'avoir une masse totale de matière à fermenter égale à 20 g. La fermentation est contrôlée par deux paramètres : le pH et la teneur en Acide Gras Volatils (AGV).

$$Glucose\ (sucre\ C6) \xrightarrow{Levure} Ethanol + CO_2$$

$$Xylose\ (sucre\ C5) \xrightarrow{Levure} Ethanol + CO_2$$

1.4. Distillation

Le taux d'alcool est évalué sur le distillat récupéré en fin du procédé par la méthode du dosage chronométrique.

2. Résultats

2.1. Pouvoir fermentescible de la jacinthe

2.1.1. Évolution du pH

La Figure 1 montre l'évolution du pH en fonction de la durée de fermentation de l'échantillon E1.1 (à gauche) et E3.2 ; E3.6 (à droite).

L'évolution du pH en fonction de la durée de fermentation présente la même oscillation pour tous les échantillons. La courbe de l'échantillon E1.1 (première campagne : L/S = 5 et %ferment = 2,5 %) se traduit par deux pics ; l'un à 48 heures et l'autre à 96 heures tandis que les courbes des échantillons E3.2 et E3.6 ne présentent pas deux pics aussi bien différenciés. Selon Le Blanc en 2008, la plage optimale du pH pour une activité levurienne est comprise entre 4,6 et 6. L'analyse des résultats obtenus montre que les valeurs de pH sont comprises entre 4,44 et 6,10 durant la fermentation. Ces résultats justifient donc une activité levurienne dans le milieu.

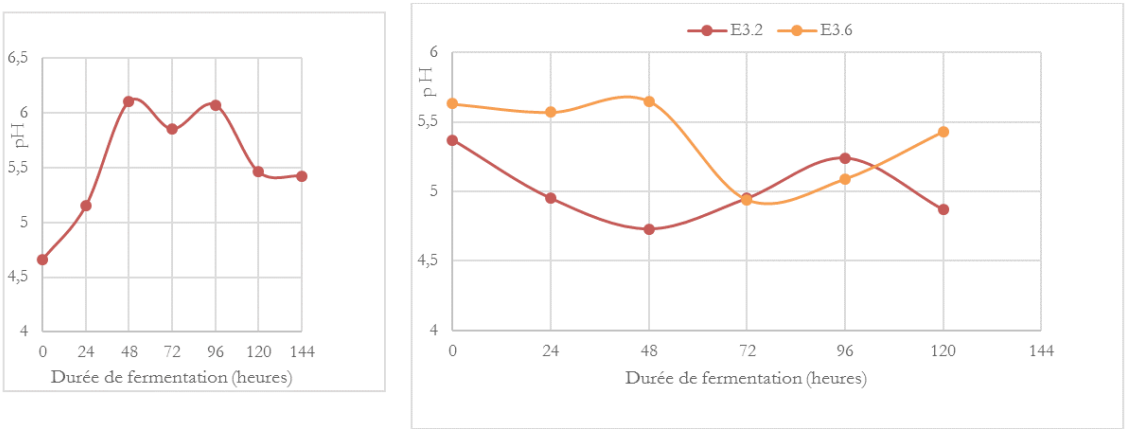
2.1.2. Évolution de la teneur en AGV

L'analyse des résultats obtenus montre que l'évolution des AGV en fonction de la durée de fermentation présente aussi deux pics. Pour tous les échantillons fermentés, l'allure de la courbe est semblable. La figure 2 illustre celle de l'échantillon E1.1.

A l'instant initial, on observe la présence d'AGV dans le milieu. Cette quantité d'AGV à 0 heure, représente plus de 50 % de la production maximale observée. Pour cet échantillon E1-1, le rapport entre les productions initiale et maximale d'AGV est de plus de 64 %.

Cette réaction spontanée témoigne que le prétraitement accélère la décomposition et facilite l'activité enzymatique. Par ailleurs, de 0 à 48 heures, la production d'AGV est croissante puis décroissante jusqu'à 72 heures. Cette première croissance s'expliquerait par le principe de la décomposition initiale du ferment sous forme de macromolécules (la levure boulangère) en microorganismes (*S. cerevisiae*). Après 72 heures, la courbe croît à nouveau pour atteindre son optimum à 120 heures. Cette deuxième croissance très prononcée est favorisée par la fermentation du substrat par l'ensemble des microorganismes présents dans le milieu. Des résultats des campagnes 2 et 3, la variation de l'AGV suit pratiquement la même évolution que celle obtenue pour la première campagne. Toutefois, il est à remarquer que les résultats d'AGV de deux des échantillons ne présentent pas le même aspect que les autres. Aussi, la quantité d'AGV produite varie-t-elle en fonction des trois paramètres étudiés : le volume d'eau, la quantité de levure et la durée de fermentation.

Figure 1 : Évolution du pH en fonction de la durée de fermentation de l'échantillon E1.1 (à gauche) et E3.2 ; E3.6 (à droite)



doi:10.4267/dechets-sciences-techniques.3445

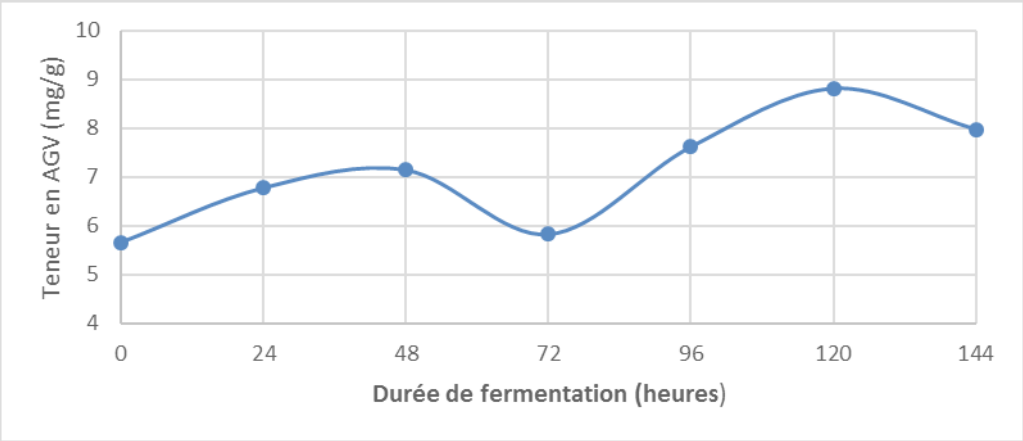


Figure 2 : Teneur en AGV de E1.1 en fonction de la durée de fermentation

2.1.3. Influence de la quantité d'eau

L'analyse des résultats des lots d'échantillons de la première campagne montre que la production d'AGV suit le même principe quel que soit le lot. À titre d'exemple, la figure suivante présente l'évolution de la teneur en AGV des échantillons (E1.1, E1.2, E1.3, E1.4 et E1.5) du Lot 1 dont le taux de levure est 2,5 % avec des rapports L/S variant de 5 à 25 (respectivement 5, 10, 15, 20, 25).

Il ressort de l'analyse de la figure 3 que E1.1, l'échantillon le moins hydraté (L/S = 5) présente la plus faible teneur d'AGV produit. La production d'AGV n'est pas la plus élevée pour l'échantillon E1.5, le plus hydraté (L/S = 25).

Il est à retenir donc qu'un fort ou faible taux d'hydratation constitue un facteur limitant pour la fermentation de la jacinthe d'eau. Ainsi, une comparaison de l'évolution de la production d'AGV des cinq (5) échantillons du lot 1 de la première campagne montre que l'hydratation L/S = 20 de E1.4 est favorable à une fermentation optimale.

2.2. Pouvoir éthanoïque

2.2.1. Influence de la quantité de ferment et de la durée de fermentation

La figure ci-après présente la teneur en AGV en fonction de la durée de fermentation des échantillons E1.4, E1.9, E1.14 et E1.19 pour un rapport L/S = 20 (figure 4). Pour cette courbe, la variante à considérer est le taux de ferment appliqué à chaque échantillon. Les échantillons ci-dessus énumérés ont reçu respectivement 0,5 g (2,5 %), 1 g (5 %), 1,5 g (7,5 %) et 2 g (10 %) de levure boulangère.

Les courbes de la figure 4 présentent la même allure. Par ailleurs, les échantillons E1.14 et E1.19 ayant un taux de levure supérieur à 5 % atteignent plus vite leur production maximale d'AGV que les deux autres ayant un taux de levure inférieur à 5 %. Cette variation suit le principe selon lequel l'apport d'activité enzymatique est nécessaire et permet d'accélérer la fermentation des biomasses lignocellulosiques

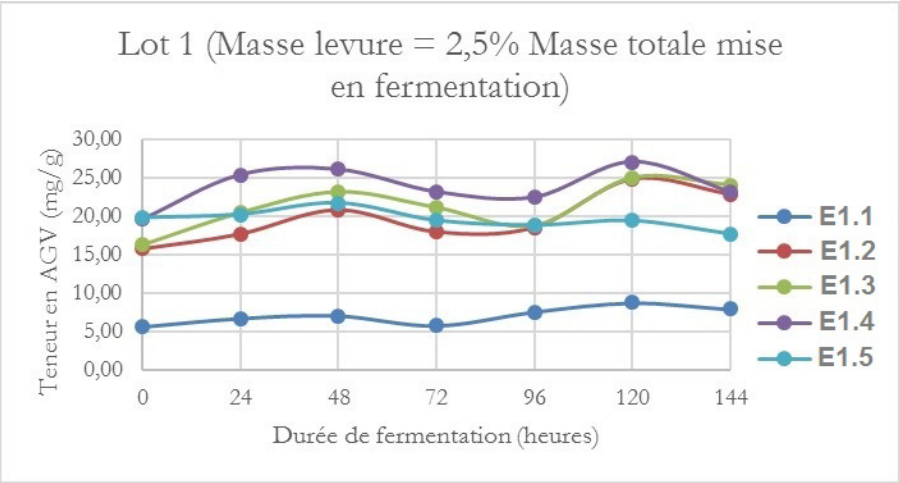


Figure 3 : Teneur en AGV en fonction du rapport L/S et de la durée de fermentation (Lot 1)

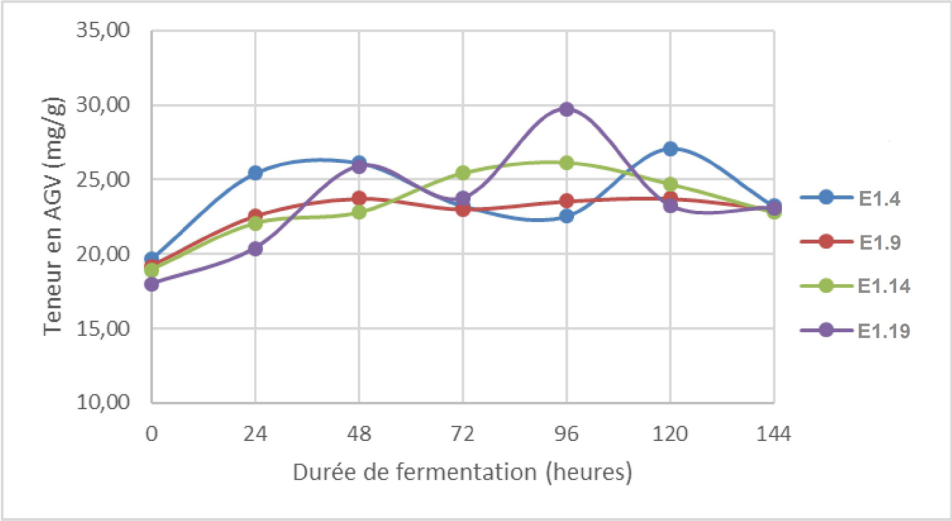


Figure 4 : Teneur en AGV pour différents taux de ferment avec L/ S = 20

(Almoustapha *et al.*, 2008). Ainsi, le choix se porterait sur un taux de levure maximale pour une bonne fermentation. Mais ce taux devra être limité, voire minimisé pour des raisons socio-économiques : meilleure valorisation de la biomasse à faible coût.

La durée de fermentation optimale est égale à 120 heures pour la première campagne. L'analyse des résultats des deux autres campagnes confirment la durée optimale obtenue. En effet, Fragoso (2011) a trouvé une durée optimale de 121 heures pour la fermentation de la jacinthe d'eau. L'utilisation de *S. cerevisiae* NBRC 2346 a nécessité un temps de fermentation égal à 96 heures (Mishima *et al.*, 2008). On peut donc conclure que la durée de fermentation est influencée par la qualité et la nature du ferment utilisé. Par contre, pour les échantillons E2.6 et E3.6 non pré-hydrolysés, la production d'AGV évolue de 0 à 96 h. On retiendra donc une durée de fermentation optimale de 96 heures. Ainsi, le substrat non-pré-hydrolysé se révèle meilleur car présente un meilleur pouvoir éthanoïque pour un rapport L/S égal à 20. Notons que dans les conditions optimales déterminées (jacinthe non pré-hydrolysée, 2,5 % de levure boulangère, L/S = 20 et 96 heures de fermentation), la quantité de bioéthanol pur obtenue est 0,955 %V/V soit 0,08 g/g de jacinthe fermentée. Toutefois, Mishima *et al.* (2008) ont trouvé une quantité de 0,14 g de bioéthanol pur /g de jacinthe d'eau prétraitée.

CONCLUSION

La voie de production adoptée lors de ces travaux est la voie biochimique qui consiste à faire un prétraitement de la jacinthe, une pré-hydrolyse à l'acide dilué, une fermentation par l'action de la levure boulangère suivie d'une distillation. Au cours des expérimentations, il a été remarqué que le prétraitement à l'acide dilué n'est pas la technique la plus appropriée pour nos expérimentations. Les résultats obtenus pour la fermentation d'échantillons avec et sans pré-hydrolyse (respectivement, taux d'AGV = 33,36 à 120 h et taux d'AGV = 39,86 à 96 h) donnent un meilleur avantage aux échantillons fermentés sans pré-hydrolyse. Les quantités optimales retenues à cet effet sont 2,5 % de levure par matières sèches de jacinthe et un rapport liquide sur solide (L/S) de 20. Par ailleurs, la distillation du moût de fermentation permet d'obtenir de l'éthanol hydraté à une concentration de 0,955 %V/V.

Au vu d'une optimisation des résultats obtenus, en perspective, il est envisagé une reprise de l'expérimentation avec une pré-hydrolyse enzymatique précédée de la caractérisation de la jacinthe séchée afin de prédire son comportement face aux enzymes de fermentation.

Références bibliographiques

Aïna M.P., Kpondjo N.M., Adounkpe J., Chougourou D. and Moudachirou M., (2012), Study of the Purification Efficiencies of three Floating Macrophytes in Wastewater Treatment. International Research Journal of Environment Sciences. Publication, Abomey-Calavit University, vol. 1(3), pp : 37- 43.

Almoustapha O., Millogo J.R. et Kenfack S., (2008), Production de biogaz et de compost à partir de la jacinthe d'eau pour un développement durable en Afrique sahélienne. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], 1227 Volume 8 Numéro 1. DOI : http://dx.doi.org/10.4000/vertigo.1227

Ayissi Z.M., Mohamed T., Sary A., Obounou M. O., Ayina Ohandja L.M., 2016, Elaboration et étude expérimentale des performances d'un biocarburant innovant à base de deux plantes non comestibles locales, Sci. Tech. et Développement, Ed. spéciale Juillet 2016, p. 108-112.

Ben Chaabane F., Aldiguier A.S., Alfenore S., Cameleyre, Blanc P., Bideaux C., Guillouct S.E., Roux G., Molina-Jouve C., 2006, Very Hight ethanol productivity in an innovative continuous two-stage bioreactor with cell recycle. Bioperocess Biosysteme Eng April 2006, 29; 49-57.

Carrere H., Monlau F., Barakat A., Dumas C., Battimelli A., Steyer J. (2011), Intérêt des prétraitements pour la méthanisation de la biomasse lignocellulosique, Séminaire Bioénergie Sud. Nîmes

Foteinis S., Kouloumpis V., Tsoutsos T., (2011), Life cycle analysis for bioethanol production from sugar beet crops in Greece, Energy Policy, and n ° 39, pp: 4834–4841.

Fragoso, S., (2011), La jacinthe d'eau, une ressource ligno cellulosique pour la production d'enzymes saccharifiantes. Rapport de stage de recherche 2AA, Agro-sup Dijon. Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

Mishima D., Kuniki M., Sei K., Soda S., Ike M. et Fujita M., (2008), Ethanol production from candidate energy crops: Water hyacinth (***Eichhornia crassipes***) and water lettuce (***Pistia stratiotes*** L.), Bio resource Technology 99 (2008) 2495–2500, 6 p.

Wertz J.L., (2012), Prétraitements de la biomasse lignocellulosique, 9èmes Rencontres de la Biomasse, Université de Liège.