



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Bilan Environnemental et Énergétique du Bioéthanol Lignocellulosique

Allouache Amina^{#1,2}, AZIZA Majda Amina^{*1},

^{#1} Centre de Développement des Energies Renouvelables
BP62 Route de l'observatoire. Bouzareah; Alger, Algérie.

^{#2} Ecole Nationale Polytechnique

¹ allouacheamina@yahoo.fr

^{*} Centre de Développement des Energies Renouvelables

² majdaamina@yahoo.fr

Résumé— La cellulose est considérée comme une matière non alimentaire très prometteuse pour la production de biocarburants liquides dans l'avenir. En effet, il s'agit de la substance la plus abondante sur terre puisqu'elle est le principal constituant de tous les végétaux de la planète.

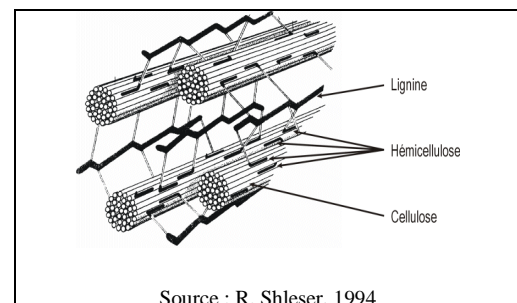
Afin d'évaluer la consommation énergétique, les émissions de CO₂ ainsi que la viabilité d'un projet de production de biocarburant en Algérie, une analyse de cycle de vie du bioéthanol de deuxième génération fait à partir du cardon a été effectuée. Cette analyse révèle une nette diminution des émissions de gaz à effet de serre ainsi qu'une importante économie d'énergie liés à l'utilisation de cette matière première. Le cardon pourrait donc représenter dans le futur, une matière première de choix pour la production du bioéthanol cellulosique.

Mots Clés—biocarburant, bioéthanol, matières non alimentaires, ACV.

I. INTRODUCTION

L'utilisation des biocarburants comme solution aux problèmes de pénuries et de pollution dus aux carburants fossiles n'est plus à prouver. Cependant, leur production ne doit en aucun cas concurrencer la production agroalimentaire. Ceci est une restriction de premier ordre. C'est pourquoi la biomasse lignocellulosique semble être une matière de choix pour produire du bioéthanol. Pour la grande majorité des espèces végétales, la biomasse est composée essentiellement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Les molécules de cellulose, constituant

majoritaire des parois cellulaires chez la plupart des plantes, se présente comme le montre la **figure 1** sous forme de longues chaînes de molécules de glucose (un monosaccharide à 6 atomes de carbone ou hexose), organisées en faisceaux cristallins. Ces molécules de cellulose sont reliées entre elles au moyen d'une autre molécule, l'hémicellulose, qui se présente quant à elle sous la forme d'une chaîne de sucres à 5 atomes de carbone ou pentose (principalement du xylose). La lignine, enfin, effectue la liaison entre les faisceaux de cellulose et confère à la plante sa structure particulière. Cette dernière n'est pas convertie en éthanol. [1]. L'analyse de cycle de vie appliquée aux biocarburants précède généralement tout projet de production de biocarburant dans le but de modéliser les étapes de production et d'éviter d'éventuels problèmes liés à la consommation d'énergie ou d'importantes émissions de gaz à effet de serre.



Source : R. Shleser, 1994

Fig 1 : Structure de la biomasse lignocellulosique



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012**



Un *biocarburant* (ou *agrocarburant*) est un carburant produit à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse. Il existe actuellement trois filières principales : la filière huile et dérivés (biodiesel), la filière alcool, à partir de jus sucré, d'amidon, de cellulose ou d'hémicelluloses hydrolysées (donnant le bioéthanol), la filière gaz (le biogaz) issu de la fermentation de déchets organiques à l'abri de l'air. [2]

On distingue les biocarburants de première et de seconde génération. Cette classification peut servir à séparer les carburants issus de produits alimentaires des carburants issus de source ligno-cellulosique (bois, feuilles, paille, etc.). Une autre interprétation l'utilise pour faire la distinction entre les biocarburants produits à partir de processus techniques simples et ceux produits par des techniques avancées.

Il existe aussi une troisième génération de biocarburant qui n'est encore qu'au stade de la définition. Une des principales pistes de recherche est la production de biodiesel, de bioéthanol ou encore d'hydrogène par des micro-organismes (micro algues et certaines bactéries) sous l'effet de la lumière et d'autres contraintes chimiques. [3]

Le bioéthanol peut être produit à partir d'une grande variété de glucides: les monosaccharides, disaccharides et les polysaccharides. La grande industrie de la biomasse en éthanol utilise la canne à sucre, la betterave sucrière, ou la mélasse) ou encore l'amidon (par exemple, le maïs, le blé, l'orge, le manioc).

L'éthanol est également produit à partir de la biomasse lignocellulosique ou de sous produits d'industrie comme l'industrie des pâtes et papiers ou encore des résidus forestiers et agricoles, le processus de fabrication diffère selon la matière première utilisée.

La matière première pour la production de bioéthanol est actuellement basée principalement sur les cultures agricoles (bioéthanol lignocellulosique), ce qui peut être consacré à la fois aux marchés alimentaires et à l'éthanol ou dédié uniquement à l'éthanol. [4]

Les technologies pour l'obtention du bioéthanol à base de matériaux lignocellulosiques impliquent 4 étapes [5]:

- Le prétraitement (l'hydrolyse): élimination des substances encombrantes (lignine)
- L'hydrolyse proprement dite (saccharification): décomposition de la cellulose en glucose
- La fermentation: transformation du glucose en éthanol (bioéthanol)
- La distillation: Élimination de l'eau contenu dans le bioéthanol.

L'ACV «Analyse de cycle de vie» est une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit (qu'il s'agisse d'un bien, d'un service voire d'un procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation. Outil normalisé et reconnu, l'ACV est la méthode la plus aboutie en termes d'évaluation globale, elle résulte de l'interprétation du bilan quantifié des données (quantité d'engrais, eau, énergie consommée,...) liées à chaque étape du cycle de vie des produits (acquisition de matières première, transport, production, consommation, recyclage ou élimination). Ces données serviront à calculer les impacts potentiels sur l'environnement. [6]

II. MÉTHODOLOGIE

Le bioéthanol produit dans cette étude est à base de cardon, ce dernier considéré comme une matière non alimentaire très prometteuse pour la production de biocarburants liquides dans l'avenir, il s'agit d'une plante pérenne méditerranéenne, bien adaptée aux conditions xérothermiques de l'Algérie, avec un coût de production minimum, et de faibles exigences en termes de qualité du sol, d'irrigation et d'engrais. L'analyse du cycle de vie du bioéthanol a été réalisée après l'introduction de plusieurs données dans le logiciel SimPro (quantité de fertilisants (N, P, K), de pesticide et d'eau nécessaire à la culture du cardon, électricité consommée, produit chimique nécessaire au prétraitement et à la fermentation) ces données sont relatives aux étapes de culture du cardon, le prétraitement, la fermentation, la distillation.

L'unité de référence considérée dans cette analyse est la quantité de bioéthanol produite à partir du cardon récolté dans 1 hectare (elle s'élève à 25 tonnes).

L'introduction de toute ces données dans le logiciel SimaPro nous a permis de calculer la quantité de CO₂ émise lors e la production du bioéthanol de cardon ainsi que l'énergie consommée par cette dernière.

Afin d'évaluer ces résultats, le bilan énergétique a été comparé à celui du bioéthanol de canne à sucre, bioéthanol de switch grass (herbe) ainsi qu'au bioéthanol de maïs, ces données ont été prises de la base de données du logiciel SimaPro.

III. LES RÉSULTATS

A. Emissions de gaz à effet de serre

Après introduction des données dans le logiciel, on a eu les résultats suivants :

TABLE 1: Pourcentage des émissions de CO₂ relative à chaque étape de production du bioéthanol de cardon

Émissions de CO ₂ (%)		
Bioéthanol 95% de cardon	Culture et récolte	51.2 %
	Prétraitement	3.28%
	Fermentation	16.8%
	Distillation	28.7%
	Total	100%

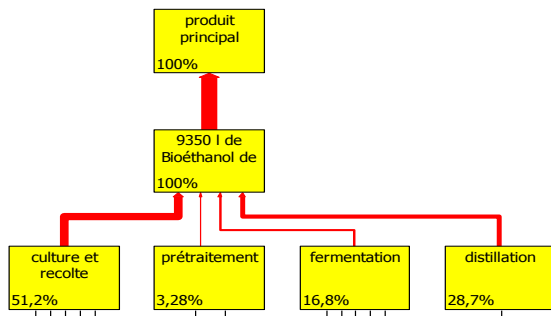


Fig 2: Pourcentage des émissions de CO₂ relative à chaque étape de production du bioéthanol de cardon

B. Consommation énergétique (%)

Après introduction des données dans le logiciel, on a eu les résultats suivants :

TABLE 2: Pourcentage des consommations énergétiques relatives à chaque étape de production du bioéthanol de cardon

Consommation énergétique (%)		
Bioéthanol 95% de cardon	Culture et récolte	46 %
	Prétraitement	3.65%
	Fermentation	18.8%
	Distillation	31.5%
	Total	99.4%

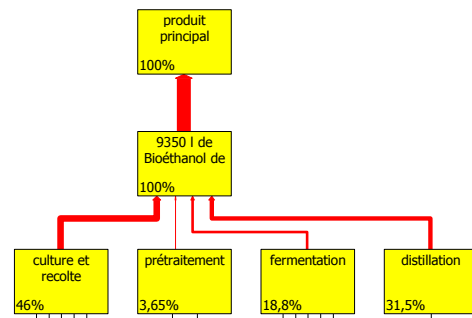


Fig 3: Pourcentage des consommations énergétiques relatives à chaque étape de production du bioéthanol de cardon

C. Comparaison des résultats

Le bilan énergétique du bioéthanol 95% de cardon a été comparé à celui du bioéthanol à de canne à sucre, de maïs, et de switch grass (herbe verte).

TABLE 3 : Comparaison des émissions de CO₂, de la consommation énergétique ainsi que du bilan énergétique du bioéthanol de cardon avec ceux des bioéthanol de canne à sucre, d'herbe et de maïs.

bioéthanol	Bilan énergétique E. produite/E. consommée	Bilan environnemental
95% de cardon	4.06	++
95% de canne à sucre	5.82	+++
95% de maïs	0.98	-
95% à base d'herbe (Grass)	2.26	+



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012**



IV. DISCUSSION

A. Emissions de gaz à effet de serre

Les résultats montrent que la culture et la récolte sont les étapes les plus polluantes dans le processus de fabrication du bioéthanol avec 51.2% du total des émissions.

Cela est dû essentiellement au lourd bilan carbone des fertilisants utilisés durant la culture notamment celui de l'azote dont la fabrication est connue pour consommer beaucoup d'énergie, notamment le gaz naturel générant ainsi d'importantes quantités de méthane dont l'effet de serre est 25 fois supérieur à celui du CO₂, il y a aussi les fortes émissions de protoxyde d'azote (N₂O) après épandage de l'azote, ce dernier est un puissant gaz à effet de serre, à fort potentiel de réchauffement global.

La distillation est quand à elle responsable de 28.7% Kg des émissions de CO₂ dus à l'utilisation du gaz naturel, ce qui représente environ 28.7% du total des émissions.

La fermentation émet environ 16.8% du total des émissions de carbone qui ont pour origine l'électricité (turbine à gaz) utilisée pour assurer simultanément la saccharification et la Co-fermentation, par contre le prétraitement présente le bilan carbone le moins lourd avec 3.28% des émissions, dus essentiellement à la fabrication de l'acide sulfurique nécessaire à l'hydrolyse de la biomasse lignocellulosique, l'énergie consommée durant cette étape n'est pas importante car l'opération ne dure que quelques minutes (de 2 à 10 minutes).

B. Consommation énergétique (%)

Les résultats montrent que la culture et la récolte sont les étapes les plus consommatrices d'énergie dans la production du bioéthanol avec 46 % de la consommation énergétique totale.

En effet, la culture du cardon nécessite un petit apport en engrais et herbicides, les engrais azotés sont spécialement connus pour leur grande consommation d'énergie car ils sont produits à partir de l'ammoniac dont la fabrication consomme d'importantes quantités de combustibles, d'électricité ainsi que de matières premières à base d'hydrocarbures.

La récolte consomme également beaucoup d'énergie, cela est dû à la consommation de diesel qui alimentent les ramasseuses botteleuses utilisées pour récolter et conditionner la biomasse.

La distillation est elle aussi une étape vorace en énergie consommant près de 31.4% d'énergie pour la production du bioéthanol. La distillation est connue pour être l'étape la plus consommatrice d'énergie dans la fabrication du bioéthanol, cette consommation peut atteindre les 60% de la consommation totale ce qui n'est pas le cas dans notre analyse qui n'est que de 31.5%, ceci est dû au fait que l'étape de déshydratation qui permet de passer de l'éthanol 95% à l'éthanol 99.7% n'a pas été prise en considération ; de ce fait le produit final est un bioéthanol hydraté à 5% et non pas un bioéthanol anhydride permettant ainsi d'économiser 30% d'énergie et par conséquent d'avoir un bioéthanol de moins bonne qualité.

La fermentation est responsable d'environ 18.8% de la consommation totale d'énergie, il s'agit essentiellement de l'électricité qui alimente le bioréacteur durant 24h et qui assure l'agitation, l'aération, le maintien de la température (30°C) pour mener à bien la saccharification ainsi que la conversion du glucose et du xylose en éthanol.

Quand au prétraitement, il ne consomme que 3.65% de la consommation énergétique totale, ceci peut s'expliquer par la rapidité de cette étape qui ne dure que quelques minutes (2 à 10 minutes) en présence de l'acide sulfurique dilué.

C. Comparaison des résultats

Les résultats montrent que le bioéthanol de cardon émet plus de CO₂ et consomme plus d'énergie comparé au bioéthanol de canne à sucre, ce dernier présente le meilleur bilan carbone ainsi que le meilleur bilan énergétique parmi les quatre types de bioéthanol comparés. Cela ne veut pas dire que le bioéthanol de canne à sucre consomme moins d'énergie que le bioéthanol de cardon, bien au contraire, ces raffineries sont connues pour être très voraces en énergie, la différence est qu'une grande partie de l'énergie consommée est renouvelable, elle provient de la combustion de la bagasse qui génère l'électricité nécessaire pour alimenter la raffinerie.

Comparé à un autre éthanol cellulosique (herbe), le bilan énergétique ainsi que les émissions de CO₂ associées du bioéthanol de cardon peuvent être considérés comme très bons, surtout que la production du bioéthanol du switch grass (herbe)



utilise les mêmes procédés (prétraitement à l'acide, SSCF), aussi, c'est une biomasse cellulosique comparable au charbon, ceci est du aux quantités d'intrants agricoles nécessaires à la culture de l'herbe ainsi qu'à la consommation de carburants fossiles pour acheminer la matière première à la raffinerie.

Les bilans du bioéthanol de charbon sont également nettement supérieurs à ceux du bioéthanol de maïs qui a les plus lourds bilans (énergétique, CO₂) des quatre types de bioéthanol comparés. Ceci peut être expliqué par la voracité des étapes d'hydrolyse de l'amidon ainsi que par la consommation d'importantes quantités d'eau et d'engrais. En effet, l'azote est responsable de la libération du protoxyde d'azote (N₂O), qui est un puissant gaz à effet de serre, à fort potentiel de réchauffement global et à durée de résidence élevée (de l'ordre de 100 ans).

De là, on peut déduire que la production du bioéthanol de charbon est écologique et contribue par ses procédés, ses intrants ainsi que par son produit final à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Aussi, une telle production génère environ 4 fois plus d'énergie qu'elle n'en consomme, ce bilan bien qu'il soit légèrement inférieur à celui de la canne à sucre, qui est un produit alimentaire peut être considéré comme *excellent* si on le compare au bilan énergétique moyen du bioéthanol qui est de 1.2.

V. CONCLUSION

L'analyse de cycle de vie du bioéthanol de charbon, nous a permis de mettre en évidence l'amélioration du bilan énergétique et environnemental, lorsqu'on utilise des substrats cellulosiques, par rapport aux produits alimentaires. Cependant les étapes de culture, de fermentation, et de distillation restent voraces en énergie. C'est justement sur ce point que travaillent actuellement les scientifiques, car ils sont convaincus, qu'une fois les coûts et les besoins en énergie liés à ces techniques réduits, ces nouvelles générations de biocarburants seront très compétitives. L'analyse de cycle de vie des biocarburants produits à partir de ces matières premières vérifie la viabilité de la filière, son rendement, son caractère durable, et permet ainsi d'éviter les erreurs en termes d'impact environnemental et rendement économique. Cependant, il est nécessaire de continuer les essais expérimentaux, de manière à collecter un maximum de données, liées aux ressources et aux conditions de l'Algérie, et ce dans le but de constituer une base de

données qui aidera les chercheurs à connaître le réel potentiel de l'Algérie en termes de biomasse et de bioénergie constituant ainsi une base de données sûre pour des analyses de cycle de vie plus objectives permettant de concrétiser un projet de production de bioéthanol en Algérie.

VI. REMERCIEMENTS

En guise de reconnaissance et de gratitude, mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance sont adressés à toutes les personnes qui ont contribué à l'accomplissement de ce projet, je citerai particulièrement:

Ma promotrice Dr A.M. AZIZA, pour m'avoir proposé ce sujet, qui désormais me tient beaucoup à cœur, je la remercie pour son encadrement et sa disponibilité. Ses conseils ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Professeur T.A. ZAID, pour son aide, sa disponibilité et sa gentillesse.

Mon collègue monsieur M. AMOURI, pour sa serviabilité et sa précieuse aide notamment pour la maîtrise sur logiciel SimaPro.

RÉFÉRENCES

- [1] E. Gnansounou et A. Dauriat. Le bioéthanol. Rapport publié par ENERS Energy Concept. Lausanne, 2008, pages 1 à 5.
- [2] Communiqué de presse «Biocarburants» (2009) : l'OFAG doit réagir contre les abus. Les carburants agricoles sont des agrocarburants . *Paru dans le journal Bio-suisse le 23 mars 2009.* www.bio-suisse.ch
- [3] Energy - New and Renewable Energies (2008). Intelligent Energy for Europe.
- [4] CEPAF (Centre d'expertise sur les produits agroforestiers) (2007). La production de biocarburants dans les milieux ruraux du Québec.
- [5] P. Ashoc. (2009) Handbook of plant based biofuels. Maison d'édition CRC press. PP 160-167.
- [6] WWF Scientific Report. Conifères méditerranéens et les forêts mixtes". Consulté le 10 Février 2008.



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**

**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

