

Soumis le : 23/08/2021

Forme révisée acceptée le : 19/05/2022

Auteur correspondant : el_samira_st@hotmail.fr



**Revue
Nature et Technologie**

<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec>

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

Production de bioéthanol à partir de jus d'orange de Rouïba

Samira ELBEY*, Abderrahmane OUAKIL, Fatma Zohra ZOUBIRI, Rachida RIHANI,
Fatiha BENTAHAR

Laboratoire Phénomènes de transfert, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB), Bab-Ezzouar, BP 32 El Alia 16111 Alger, Algérie

Résumé

Les circonstances écologiques et économiques actuelles poussent de plus en plus les chercheurs à l'échelle internationale notamment en Algérie à opter pour une source d'énergie renouvelable, respectueuse de l'environnement, propre, et durable tout en préservant les réserves pétrolières à la génération future. Les biocarburants restent l'issue la plus prometteuse qui peut remplacer les carburants des sources fossiles, tout au moins à les incorporer sous forme d'additifs à des proportions variables. Ce travail consiste à déshydrater le bioéthanol par deux méthodes à savoir : - la distillation fractionnée ; - et les tamis moléculaires de type A4. De plus, la caractérisation a été effectuée sur des carburants de types essences incorporées de 10 % de bioéthanol. Les mélanges obtenus ont été caractérisés selon des essais normalisés tels que : la distillation ASTM, l'indice d'octane, la tension de vapeur REID, etc. Il ressort de ce travail que l'addition de 10 % de bioéthanol à l'essence super a permis une amélioration de l'indice d'octane de l'essence allant de 98 à 100.

Mots-clés : Jus d'orange de Rouïba ; Bioéthanol ; Déshydratation ; Indice d'octane, Essais normalisés.

Production of bioethanol from orange juice of Rouïba

Abstract

The ecological and economic circumstances current push more and more the researchers with the international scales in particular in Algeria to choose an renewable energy source, environment friendly, clean, and sustainable while preserving our oil reserves to the future generation. The biofuels remain the most promising exit being able to replace the fuels derived from fossil sources, at least with the built-in ones in the form of additives with variable proportions. This study consists of dehydration of bioethanol via two methods namely: fractional distillation and A4 molecular sieves. Moreover, the characterization of the fuels was carried out using fuels as the gasolines incorporated with 10% of biotehanol. The mixtures obtained were characterized according to standardised tests such as: distillation ASTM, the number octane, the vapor REID tension, etc. It can be found that the addition of 10% of bioethanol to super gasoline allowed an improvement of the octane number of the gasoline from 98 to 100.

Keywords: Rouïba orange juice; Bioethanol; Dehydration; Number octane; Standardised tests.

1. Introduction

La crise énergétique de 1970 a stimulé les scientifiques à l'échelle internationale à la recherche des carburants alternatifs, avec comme principal objectif de réduire la dépendance au pétrole dans le secteur stratégique des transports [1-3] ; et surtout en Algérie de préserver nos ressources fossiles pour la génération future.

Actuellement, le monde fait face à une croissance significative en matière de la demande en énergie, ce qui signifie un accroissement accru de la consommation des énergies fossiles [4]. Cette consommation ne peut

qu'engendrer une émission accrue des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Selon Ballerini [5], la température de la planète devrait passer de 1,4 à 5,8 °C d'ici à l'horizon 2100. Il est à noter que ces perturbations s'accompagnent souvent d'importants changements climatiques à la surface de la planète sans omettre l'accélération de la désertification dans certaines régions arides et semi-arides. Parmi ces gaz, le dioxyde de carbone (CO₂) émis par le secteur du transport reste le plus significatif. Afin de réduire de façon considérable les émissions de polluants nocives générées par la combustion dans les moteurs à combustion interne, l'utilisation des biocarburants



Ceci est un document en libre accès selon les termes de [Creative Commons Attribution License CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), ce qui permet de le partager, copier, reproduire, distribuer, communiquer, réutiliser ou de l'adapter avec l'obligation de créditer son auteur.

alternatifs est fortement recommandée et apparaît comme une solution prometteuse. Toutefois, elle peut constituer à moyen terme l'option ayant le meilleur ratio coût/efficacité [6].

Afin de limiter les conséquences désastreuses du changement climatique sur l'environnement, la réduction de la pollution de l'air générée par les véhicules apparaît comme une urgence. L'utilisation de biocarburants dans le secteur du transport peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la mise en œuvre d'actions concrètes en vue d'atteindre les objectifs fixés par le protocole de Kyoto [5]. Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre produites dans le secteur des transports, l'utilisation de la biomasse comme combustible ou en mélange avec des combustibles fossiles a été favorisée par les initiatives législatives et financières des différents gouvernements. Parmi les différentes technologies de production de biocarburants, le bioéthanol est la plus maîtrisée. Cependant, le bioéthanol issu de la fermentation de la biomasse, qui peut provenir de différentes sources telles que : agricoles, agroalimentaires, etc., doit être purifié afin de l'incorporer dans les essences. Ce bioéthanol est récupéré après distillation du moût, puis déshydraté avant son utilisation comme combustible. Notons que la législation européenne autorise une concentration maximale de 0,3 % en poids d'eau dans le bioéthanol incorporé à l'essence [7].

Les processus de fabrications et les techniques de traitements des déchets varient selon les types de biocarburants qui sont utilisés à savoir : le GNV (Gaz Naturel Véhicule), les alcools, et les huiles esters. Les biocarburants liquides sont classés en trois générations (Figure 1).

Globalement, les filières biocarburants peuvent présenter un impact positif sur la balance commerciale d'un pays. Elles sont liées au gisement de la biomasse dont dispose le pays.

En outre, la production de biocarburants offre plusieurs débouchés énergétiques ; le recyclage des déchets ainsi que la création d'emploi. Par ailleurs, grâce aux avancées technologiques, les motoristes font d'énormes efforts afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre produites par les moteurs à combustion interne notamment, les moteurs à allumage par compression. Mais, ces progrès technologiques ont des

effets avec le renouvellement du parc automobile et celui-ci ne peut se faire qu'à moyen et long terme.

Certains travaux [8] ont montré que l'utilisation de biocarburants de 2^{ème} génération, notamment, ceux issus de la paille de blé et des déchets de bois, permet de réduire respectivement jusqu'à 85 % et 80 %, d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Leur incorporation en mélange de 5 à 10 % dans les carburants conventionnels donne un gain sur les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre sans modification des véhicules [5]. En effet, le taux d'incorporation d'éthanol est de 3 et 5 % en France alors qu'aux Etats-Unis, il est de 6 % [8], légèrement plus élevé. Mansouri *et al.*, [4] ont montré que l'addition de 5 % d'éthanol à l'essence sans plomb a conduit à une légère diminution du soufre qui est passé de 0,017 à 0,015, alors que l'indice d'octane est passé de 94 à 96, 4.

L'objectif de ce travail consiste à déshydrater du bioéthanol issu de jus d'orange de Rouïba¹ via deux méthodes : la distillation fractionnée et les tamis moléculaires de type A₄. De plus, la caractérisation des carburants a été effectuée sur des carburants de types essences incorporées de 10 % de bioéthanol. Les mélanges obtenus ont été caractérisés par distillation ASTM, et l'indice d'octane et la tension de vapeur REID.

¹ Produit de la société NCA Rouïba Spa. Entreprise algérienne, spécialisée dans la production et la distribution de boissons, nectars et jus de fruits. <https://rouiba.com.dz/>

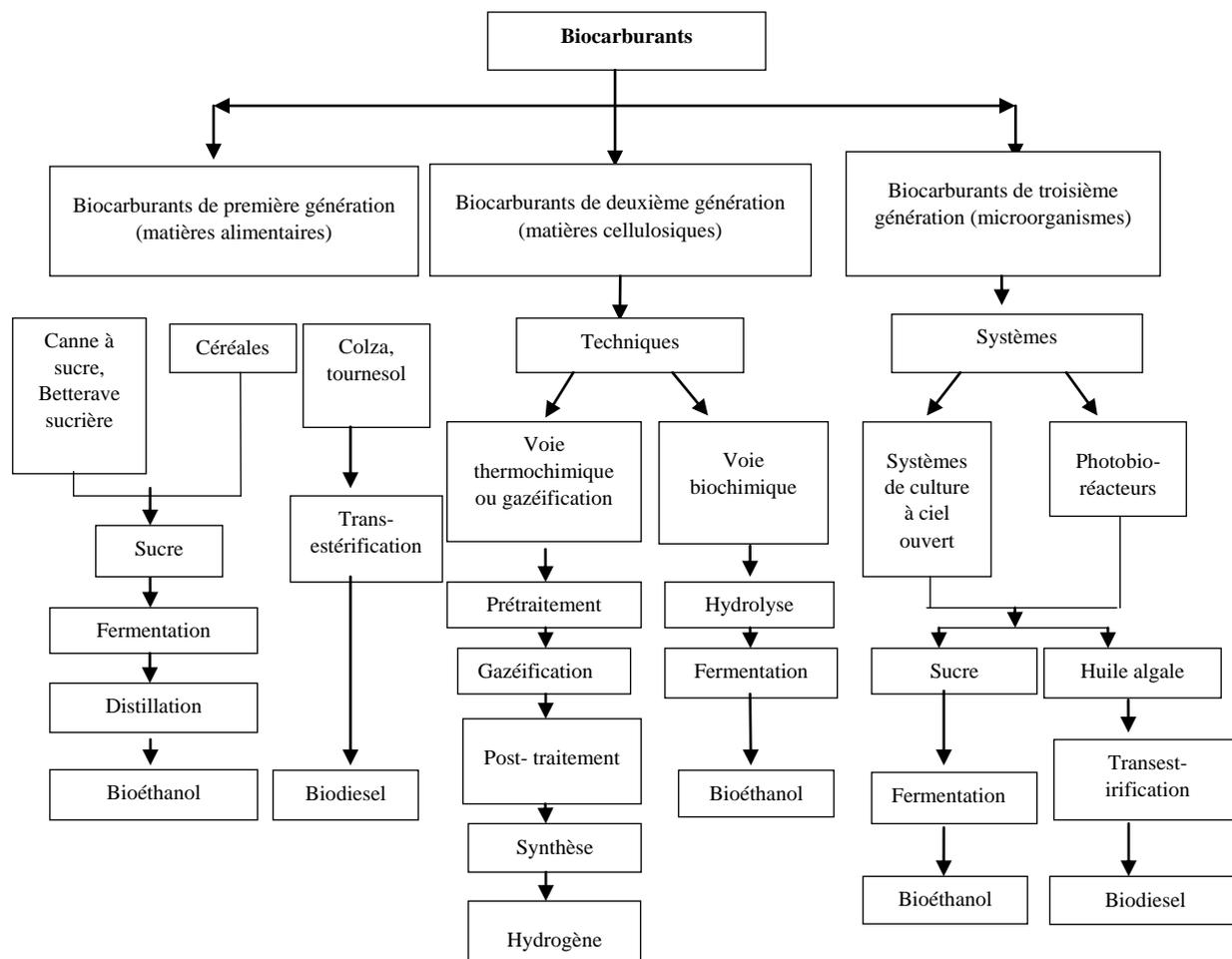


Figure 1 : Procédés de fabrication des biocarburants [9-11]

2. Matériels et méthodes

La déshydrater du bioéthanol obtenu après fermentation des sucres issus de jus d'orange de Rouïba par *Saccharomyces cerevisiae* dans un réacteur de capacité de 3 L, d'une part, par le procédé de distillation fractionnée et d'autre part, par l'utilisation de tamis moléculaires de type A_4 . De plus, la caractérisation des carburants a été effectuée sur des carburants de types essences incorporées de 10 % de bioéthanol en utilisant la distillation ASTM² et l'indice d'octane³.

2.1. Distillation fractionnée

La déshydratation de bioéthanol a été effectuée via la distillation fractionnée en quatre étages (Figure 2). Cette méthode permet de concentrer l'alcool et d'éliminer l'eau contenue dans le mélange.

² Méthode normalisée par l'ASTM (American Society for Testing and Materials) : <https://www.astm.org/>

³ Exprime les caractéristiques antidétonantes d'un carburant

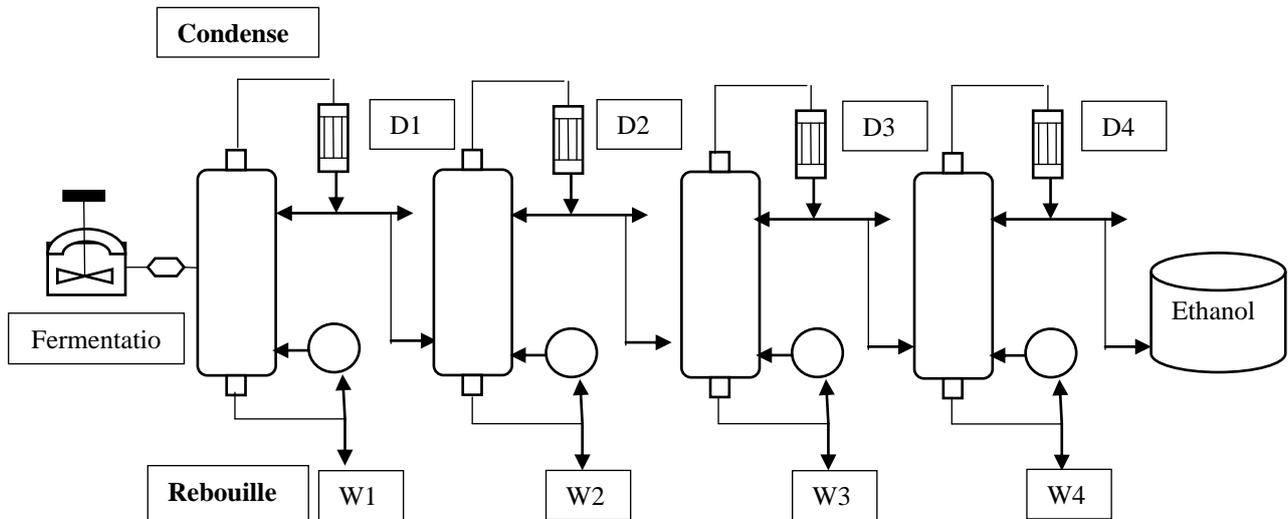


Figure 2 : Schéma du système de distillation azéotropique [10, 12, 13].

2.1.1. Distillation azéotropique

Le cyclohexane comme solvant, les températures des solvants ainsi qu'un mélange ternaire éthanol-cyclohexane-eau ont été utilisés pendant les travaux expérimentaux (Tableau 1).

Deux volumes égaux de cyclohexane et d'éthanol à 93° ont été mis en contact pendant 20 minutes, deux phases immiscibles apparaissent, la plus dense se décante. Ensuite, la phase aqueuse contenant le bioéthanol subit une nouvelle distillation à une température de 78,2 °C afin de séparer le bioéthanol du solvant.

Tableau 1
Température du mélange ternaire éthanol-cyclohexane-eau.

Solvant	T _{éb} (°C)	T _{éb} du mélange ternaire (°C)
Ethanol	78,20	
Eau	100	62,10
cyclohexane	80,75	

2.1.2. Purification via les tamis moléculaires de type A4

Afin de purifier le bioéthanol issu des déchets agroalimentaires, ce dernier a été mis en contact avec des tamis moléculaires durant un temps de séjour de 72 h. Dans ce travail, les tamis moléculaires zéolithes de type A4, leurs caractéristiques sont répertoriées dans le tableau 2.

Tableau 2
Caractéristiques des zéolithes

Propriétés	Granulés
Diamètre nominal des pores (Å)	4
Densité « non tassée » (kg.m ⁻³)	640
Densité (tassée) (kg.m ⁻³)	690
Diamètre (mm)	1,6
Résistance à l'encrassement (kg)	5
Chaleur d'adsorption (kcal/kg H ₂ O)	1000
Capacité en eau à l'équilibre	22 %
Teneur en eau (à l'emballage)	1,5 %

La déshydratation du bioéthanol a été réalisée selon les étapes suivantes :

- Séchage des zéolithes à 105 °C pendant 24 heures ;
- Les zéolithes ont été placées dans des flacons contenant de bioéthanol à une teneur de 1 g.mL⁻¹ et durant un temps de séjour de 72 h.



Figure 3 : Déshydratation via les zéolithes.

3. Résultats et discussion

3.1. Distillation fractionnée

La distillation à 4 étages a été effectuée afin de réduire la teneur en eau dans le bioéthanol, et de recueillir quasiment tout l'alcool présent dans le distillat. La figure 4 illustre l'évolution du degré alcoolique en fonction du nombre d'étage. Nous remarquons que le degré alcoolique du distillat augmente au fur et à mesure que le nombre de distillations augmente. Pour le mélange testé, le degré alcoolique maximal atteint est de 93,9° et la densité correspondante est de 0,830 g.cm⁻³. Il est à souligner que ce degré ne permet pas d'incorporer le bioéthanol dans les essences, c'est pour cela, le recours à d'autres techniques de déshydratation s'impose.

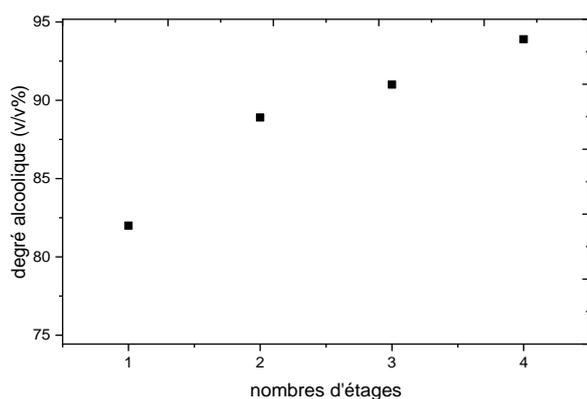


Figure 4 : Variation du degré alcoolique en fonction du nombre d'étages.

3.2. Déshydratation de bioéthanol

La déshydratation du bioéthanol par solvants a été effectuée en utilisant le cyclohexane comme solvant. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 3.

Tableau 3
Déshydratation via le cyclohexane.

Volume d'alcool initial (mL)	100
Degré initial (% v/v)	93,9
Volume de cyclohexane (mL)	100
Degré final (%)	95,9

Afin d'augmenter le degré de pureté de l'alcool, le mélange obtenu a été déshydraté jusqu'à un degré de 95,9 %. Les pertes sont de 4,1 % d'alcool, elles sont dues principalement à l'alcool entraîné par le cyclohexane lors de l'étape de déshydratation.

La variation temporelle du degré alcoolique est donnée par la figure 5. Le degré alcoolique augmente au cours du temps, plus le temps de séjour augmente plus l'eau contenue dans le mélange est adsorbée par les zéolithes. L'augmentation du degré alcoolique de 93,9° à 96,7° après 3 jours de mise en contact montre que ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par des travaux antérieurs [14].

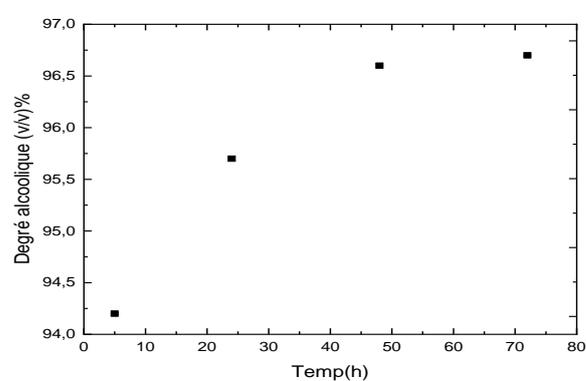


Figure 5 : Évolution temporelle du degré alcoolique lors de la déshydratation par Tamis moléculaire.

4. Caractéristiques de bioéthanol incorporé aux essences

4.1. Indice d'octane

Les résultats relatifs aux caractéristiques des essences incorporées de bioéthanol sont cités dans le tableau 4. L'indice d'octane caractérise l'aptitude des carburants à brûler dans les moteurs à allumage commandé. Plus l'indice d'octane est élevé, plus la combustion est meilleure et par conséquent, le carburant résiste au cliquetis. Les travaux effectués montrent que, l'incorporation de 10 % d'éthanol à l'essence sans plomb et au supercarburant a permis d'améliorer le paramètre d'ordre de 2, pour l'essence sans plomb et de 5 pour le supercarburant. La présence de composés isoparaffiniques et oxygénés dans les essences ont conduit à l'amélioration du pouvoir antidétonant des essences [15]. Il est à souligner qu'un indice d'octane élevé reste une réelle valeur ajoutée à l'éthanol.

Tableau 4
Caractéristiques des essences incorporées de bioéthanol.

Carburant	Indice d'octane	Teneur en plomb	Corrosion à lame de cuivre.	Teneur en soufre
Essence super	95	$0,8.10^{-2}$	1a	$2,6.10^{-3}$
Essence super +5 % éthanol	97,8	/	1a	/
Essence super +10 % éthanol	100	10^{-2}	1a	$2,3.10^{-3}$
Essence sans Plomb	96	$32,0.10^{-2}$	1a	$5,1.10^{-3}$
Essence sans Plomb + 5 % éthanol	97,5	/	1a	/
Essence sans Plomb +10 % éthanol	98	$32,2.10^{-2}$	1a	$4,5.10^{-3}$

4.2. Teneur en plomb

La norme NA11044 exige la valeur de $0,013 \text{ g.L}^{-1}$ comme limite supérieure concernant la teneur en plomb des essences sans plomb et de $0,40 \text{ g.L}^{-1}$ pour les super essences. Nous remarquons que l'incorporation de 10 % de bioéthanol augmente légèrement la concentration en plomb qui passe de $0,32 \text{ g.L}^{-1}$ à $0,322 \text{ g.L}^{-1}$ pour l'essence super et de $0,008 \text{ g.L}^{-1}$ jusqu'à $0,01 \text{ g.L}^{-1}$ pour l'essence sans plomb, les mélanges sont conformes et ils répondent aux normes exigées.

4.3. Teneur en soufre

La combustion d'un carburant contenant du soufre des produits dangereux comme les oxydes de soufre sont émis. Ces oxydes forment des acides lors de leurs contacts avec l'eau provoquant ainsi la corrosion de certaines pièces du moteur et conduisent à la formation des suies dans les gaz d'échappement. La norme NA 11046 stipule que la teneur en soufre dans les essences, sans plomb et super essence, ne doit pas dépasser les 0,01 % en poids. L'incorporation de 10 % de bioéthanol dans les essences entraîne une légère diminution de la teneur en soufre, qui est passée de $2,6.10^{-3}$ à $2,3.10^{-3}$ pour l'essence super et de $5,1.10^{-3}$ à $4,5.10^{-3}$ pour le sans plomb. Ces résultats sont en accord à ceux obtenus par Mansouri *et al.* [4].

4.4. Corrosion de la lame de cuivre

La corrosion de la lame de cuivre indique la présence de composés sulfurés corrosifs dans les carburants, et par conséquent, la corrosion directe au niveau des réservoirs et des conduites d'aspiration. Il ressort des résultats obtenus (Tableau 4) que les carburants incorporés de 10 % d'éthanol issus de déchets agroalimentaires ne sont pas corrosifs et ne risquent pas de provoquer de fumées noires. Selon la norme NA 566, la cotation (1a) est considérée comme étant la limite supérieure du test de la corrosion de la lame de cuivre par les essences. Dans le cas de ce travail, la cotation obtenue de 1a montre que l'incorporation du bioéthanol n'a pas d'influence sur la lame de cuivre et par la suite pas de présence de traces de composés sulfurés.

5. Conclusion

Ce travail consiste à caractériser d'une part, les carburants conventionnels et d'autre part les essences incorporées d'éthanol issu de déchets agroalimentaires. Cette caractérisation est basée sur la détermination des propriétés physico-chimiques et la combustion de différents types de biocarburants. Il ressort de ce travail que :

- L'addition de 10 % d'éthanol à l'essence super a permis d'augmenter l'indice d'octane du mélange de l'ordre de 5 ; ceci est conforme à la norme qui exige un indice d'octane supérieur à 85 pour les essences ;
- L'addition de 10 % d'éthanol aux carburants a permis de diminuer la teneur en soufre, par exemple, dans le cas du supercarburant, le pourcentage est passé de $2,6.10^{-3} \%$ jusqu'à $2,3.10^{-3} \%$. Les biocarburants obtenus possèdent une faible teneur en soufre, ils ne sont pas corrosifs et peuvent contribuer à diminuer la pollution atmosphérique.

En somme, l'incorporation du bioéthanol issu de déchets agroalimentaires aux carburants conventionnels a permis d'améliorer certaines propriétés physico-chimiques et la combustion de différents types de biocarburants.

Références

- [1] Lynd L.R., Wang M.Q., A product-nonspecific framework for evaluating the potential of biomass-based products to displace fossil fuels, *J. Ind. Ecol.*, 7 (2004): 17-32.
<https://doi.org/10.1162/108819803323059370>
- [2] Dien B.S., Jung H.G., Vogel K.P., Casler M.D., Lamb J.F.S., Weimer P.J., Iten L., Mitchell R.B. and G. Sarath, Chemical composition and response to dilute-acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfalfa, reed canarygrass, and switchgrass. *Biomass Bioenergy*, 30 (2006): 880-891.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.02.004>.
- [3] Chandel A.K., Kapoor R.K., Singh A., Kuhad R.C., Detoxification of sugarcane bagasse hydrolysate improves ethanol production by *Candidashehatae* NCIM 3501, *Bioresour. Technol.*, 98 (2007): 1947–1950. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.047>
- [4] Mansouri A., Rihani R., Laoufi A.N. and Özkan M., Production of bioethanol from a mixture of agricultural feedstocks: Biofuels characterization, *Fuel*, 185 (2016): 612–621.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.008>
- [5] Ballerini D., *Les biocarburants. Répondre aux défis énergétiques et environnementaux des transports*, Ed. Technip. Paris, 2011. ISBN: 9782710809692
- [6] Eucar, European Commission joint research center, Well-to-wheels report, Bruxelles, 2004.
- [7] European Committee for Standardisation, *Automotive Fuels. Ethanol as a Blending Component for Petrol. Requirements and Test Methods*. European Standard EN15376:2011. ISBN 978 0 580 68485 2.
- [8] Jeremy Boucher, « *Étude des possibilités de production d'éthanol hémicellulosique dans le cadre d'une bioraffinerie papetière. Génie des procédés* ». Université de Grenoble, 2014. Français. NNT : 2014GRENI037. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01278355>
- [9] Aboïna Gerard Tchakblo, « *Production de biodiesel par transestérification alcoolique : étude sur réacteur pilote* », Mémoire de Master en Génie énergétique, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (I2E) Juin 2009. 53p. Disponible en ligne : http://documentation.2ie-edu.org/cdi2ie/opac_css/doc_num.php?explnum_id=736 (consulté le 09/04/2021)
- [10] Christophe Nunes Da Silva, *Dossier Technique : La filière bioéthanol*, Groupement National Pour la formation automobile, ANFA Edition 2009. 44p
- [11] Anne-Lise Hantson et Diane Thomas, *Enjeux technologiques et écologiques majeurs des Biocarburants*, Congrès Français de Thermique, SFT, pp 5-20, Belgique, 25-28 mai 2010. Disponible en ligne : https://www.sft.asso.fr/Local/sft/dir/user-3775/documents/actes/Congres_2010/communications/Conf_Bio_carburants.pdf (consulté le 15/04/2021)
- [12] Huang H., Ramaswamy S., Tschirmer U. et Ramarao B., A review of separation technologies in current and future biorefineries, *Sep. Purif. Technol*, 62 (2008) : 1-21.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.12.011>
- [13] Ballerini D., Casanave D., Forestière A., Lacombe S. et Montagne X., Chapitre 2 : L'éthanol et l'ETBE, dans *Les biocarburants*, Editions TECHNIP, Paris, 2006. ISBN : 9782710808695
- [14] Rapport : *Evaluation des risques de l'Éthanol en population professionnelle*, Edition scientifique de l'Afsset, juin 2010. 336p. Disponible en ligne : <https://www.anses.fr/fr/content/evaluation-des-risques-de-1-%E2%80%99-%C3%A9thanol-en-population-professionnelle-0> (consulté le 05/05/2021)
- [15] Hsieh W D, Chen RH, TL Wu and Lin TH., Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels, *Atmospheric Environment*, (36) (3) (2002): 403-10. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00508-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00508-8)