

Optimisation De La Production De L'huile Du Suif De Bœuf Pour La Fabrication De Biodiesel Par Transestérification

Raheliarison R. N.¹, Andriamifidisoa M.V.², Ravoninjatovo A. O.³, Rasoanaivo J. L.⁴, Andrianaivo L.⁵

¹ Département Ingénierie Pétrolière, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA),
Université d'Antananarivo

^{3,4} Département énergétique,

Centre National de Recherches Industrielle et Technologique,

^{2,3,4,5} Laboratoire Exergie et Géomécanique, STII

École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA)

Université d'Antananarivo



Résumé - Le changement climatique est devenu l'un des problèmes majeurs de notre ère ainsi que la sécurité énergétique, le développement de nouvelles sources d'énergie écologique et durable est primordial. De ce fait, le but de cette étude est de produire un carburant durable et écologique de la manière la plus optimale possible et qui, à priori, valorise les ressources locales. L'étude consiste à la recherche des conditions optimales des intrants et paramètres influant la production de biodiesel issu du suif de bœuf en optimisant l'extraction de l'huile, puis la transestérification. Et la recherche a été clôturée par une analyse des caractères physico-chimiques du biodiesel optimisé et un essai sur moteur diesel. Le résultat du travail a permis d'obtenir un biodiesel durable de très bonne qualité qui peut substituer le gazole en totalité et est plus écologique.

Mots-clefs – huile animale, suif de bœuf, transestérification, biodiesel, écologique.

Abstract – Climate change has become one of the major problems of our era as well as energy security, the development of new ecological and sustainable sources of energy is essential. Therefore, the aim of this study is to produce a sustainable and ecological fuel in the most optimal way possible and which enhances local resources. The study consists of searching for all the optimal conditions of inputs and parameters influencing the production of biodiesel from beef tallow by optimizing the extraction of the oil, then the transesterification. The research was concluded with an analysis of the physico-chemical characteristics of the optimized biodiesel and a test on a diesel engine. The result of the work gave a sustainable biodiesel with a very good quality which can replace gasoil in its entirety and is more ecological.

Keywords – Animal oil, beef tallow, transesterification, biodiesel, ecological.

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'approvisionnement en pétrole a toujours été un problème pour les pays importateurs, mais c'est actuellement un problème universel, due principalement aux distorsions géopolitiques, économiques et environnementales. Beaucoup de pays à l'instar de l'Europe ont engagé une politique de réduction de leur dépendance au pétrole depuis les chocs pétroliers de 1970 ; la tendance tend ainsi à trouver de nouvelles ressources énergétiques puisque les scientifiques prédisaient la chute des réserves pétrolières à partir de 2030 [1], d'où la nécessité de se rabattre sur de nouvelles sources pouvant se substituer au

carburant conventionnel. De plus, le réchauffement climatique est devenu un obstacle majeur de ce siècle rendant l'étude et le développement des énergies renouvelables et écologiques essentielles.

Madagascar importe la totalité de ses besoins en produits pétroliers dont le gasoil représente les 58,62 % de ces produits en 2011 [1]. Avec l'augmentation incessante de la demande de ces produits, cette dépendance vis-à-vis de l'extérieur constitue aussi une menace permanente pour la satisfaction de nos besoins en énergie. Au prix actuel du pétrole, une augmentation de l'importation de 1 171 m³ obligerait Madagascar à déboursier 1 million de Dollar de devise, et une diminution de cet ordre permet, de ce fait, d'économiser la même valeur [1]. Ainsi, n'est-il pas évident que la réduction de cette menace contribue largement non seulement à l'accroissement de l'économie nationale mais aussi à la résolution des problèmes de développement durable. C'est dans ce sens que ce travail a été focalisé sur les ressources énergétiques potentielles, en particulier le suif bovin compte tenu du développement de la filière engraissement bovin depuis quelques années dans quelques districts de Madagascar. L'huile extrait du suif de bœuf possède les caractéristiques pour être un bon combustible pour l'éclairage ou pour la cuisson, mais surtout, elle peut potentiellement être un carburant pour les moteurs Diesel pouvant substituer le gasoil d'origine fossile avec un faible degré de pollution.

Les travaux de recherche ont pour objectif l'optimisation de la production de biodiesel, avec comme critère « l'optimisation du temps de production de l'huile de suif et la maximisation de son rendement volumique par la transestérification ».

II. SUIF DE BŒUF

II.1. Description et utilisations

Les suifs sont des graisses garnissant les cavités abdominales des ruminants, mais cette dénomination englobe également les graisses d'os et d'autres parties du bœuf. Ils sont d'aspects grumeleux et de point de fusion élevé (vers 70 °C). Un zébu constitue 4 types de gras [2] :

- le gras interne (dans la cavité abdominale),
- le gras intermusculaire,
- le gras de couverture (qui se situe sous la peau),
- et le gras intramusculaire (appelé "persillé").

Le suif de bœuf est utilisé depuis longtemps à Madagascar dans les savonneries traditionnelles pour la fabrication du « savony gasy ». Actuellement, il reste encore l'une des principales matières premières de la savonnerie. Mais du fait de l'élévation incessante du prix de la viande à Madagascar depuis quelques années, certains fabricants de savon et surtout ceux qui fabriquent du « savony gasy » sont contraints d'abandonner leur activité, ou du moins chercher d'autres types d'huile en substitut. [3]

II.2. Mode d'engraissement des zébus

Les abattoirs de Tananarive utilisent des bovins qui proviennent pour la plupart des régions de l'Ouest de l'île. Comme il existe une clientèle pour de la viande grasse et même très grasse, une activité s'est développée de façon traditionnelle dans les villages qui entourent la ville de Tananarive, Ampahimanga, à plusieurs dizaines de kilomètres à la ronde. Les paysans engraisent des bœufs achetés maigres selon une technique qui est dite du « bœuf de fosse » en les plaçant dans des « fosses » creusées à flanc de pente autour des villages. [4]

De décembre à mars les animaux sont nourris d'herbe, ensuite de mars à juillet de repousses de riz, feuilles de patates et manioc. Les animaux deviennent très gras avec un rendement en carcasses atteignant 65% ayant des poids jusqu'à 450 UBT.

II.3. Cheptel bovin

La Figure 1 montre le nombre des bovins dans chaque direction d'élevage à Madagascar en 2012. Mahajanga est la province ayant le plus de bovin avec un nombre de 2 112 150 têtes, suivie de Toliara avec 1 596 000 têtes. La province de Toamasina (235 360 têtes) et la région d'Alaotra Mangoro (355 600 têtes) ont le moins de bovin à Madagascar.

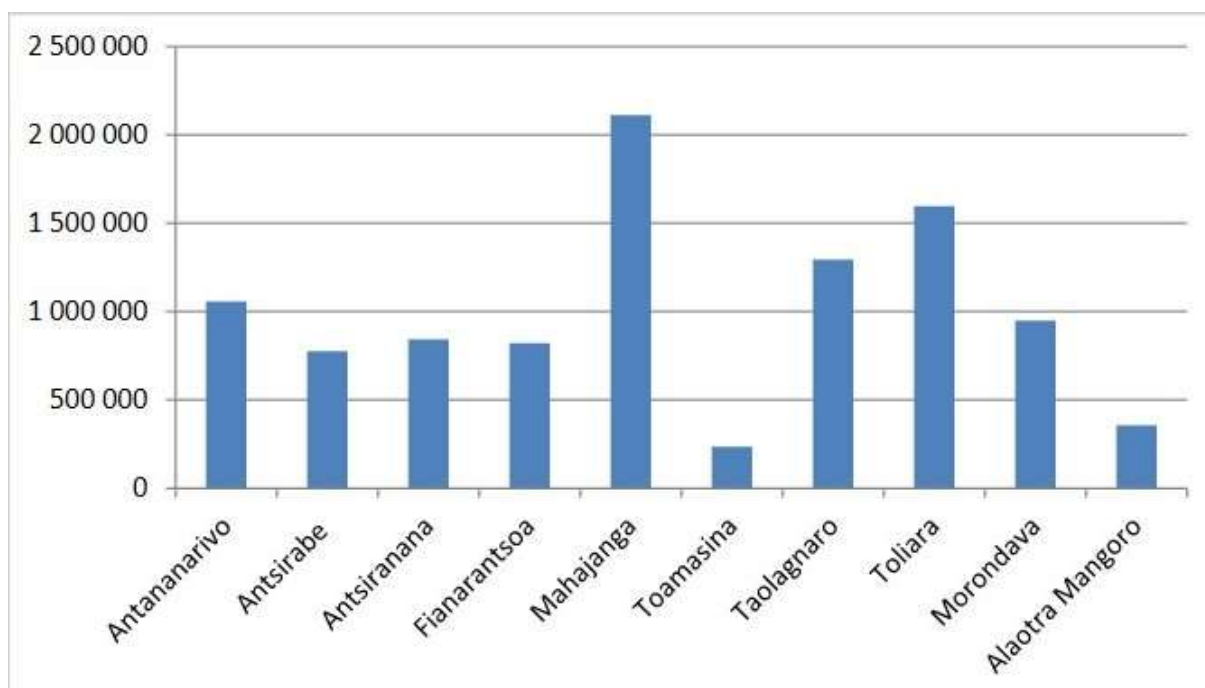


Figure 1 : Diagramme de répartition des bovins dans chacune des directions d'élevage à Madagascar en 2012

Source : SAIGS/DSI/MINEL 2012, adapté par l'auteur

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. MATÉRIELS

Le suif est choisi comme source d'énergie pour 3 raisons :

- la revalorisation d'un produit considéré comme néfaste à la santé ;
- la production d'un biodiesel plus écologique ;
- et c'est une source renouvelable.

Pour la maximisation du rendement volumétrique lors de la transestérification :

- le bioéthanol est choisi comme alcool car il est 100% biosourcé, de fabrication locale, écologique, et six fois moins chère que le Méthanol ;
- et les catalyseurs testés sont également des produits locaux :
 - L'Hydroxyde de Soude ou NaOH
 - Et l'Hydroxyde de Potassium ou KOH.

III.2. MÉTHODES

L'extraction de l'huile du suif, ainsi que l'optimisation des paramètres de la transestérification ont été effectués au laboratoire CNRIT Tsimbazaza. Tandis que les analyses ont été effectuées au laboratoire LCP Nanisana.

III.2.1. Extraction de l'huile de suif

Les étapes de l'extraction de l'huile sont montrées sur la Photographie 1. Le suif est chauffé à 70 °C sur un chauffe ballon (1) et la cuisson continue jusqu'à ce que les graisses soient fondues et qu'il ne reste plus que les tissus intramusculaires brûlés. L'huile est, par la suite, transvasée dans un récipient propre (2).

Avant de pouvoir être transformée, l'huile obtenue doit être purifiée (3) pour se débarrasser d'éventuels résidus (tissus brûlés, eau). Il est conseillé de laisser l'huile décanter pendant 2 heures. Filtrer une première fois l'huile pour se débarrasser des particules les plus grosses. Puis verser l'huile dans une poche de filtration dans un nouveau récipient propre prévu à cet effet.

L'huile est ensuite chauffée à 100 °C pendant 30 mn afin d'extraire les traces d'eau dans l'huile et nous obtenons, par la suite, de l'huile purifiée (4).



(1) Faire fondre le suif à 70°C



(2) Mettre l'huile dans un récipient



(3) Filtrer l'huile pour enlever les impuretés



(4) Obtention d'huile purifiée

Photographie 1 : Les étapes pour l'extraction de l'huile du suif de bœuf

III.2.2. Optimisation des paramètres de transestérification

III.2.2.1. Protocole de synthèse

- 1^{ère} étape : Mélange des réactifs

L'huile de suif est initialement chauffée et maintenue à 60°C et la maintenir.

Les étapes du mélange sont résumées sur la Photographie 2 : peser la quantité de catalyseur nécessaire (1) ainsi que le volume d'alcool voulu (2) ; combiner l'alcool avec le catalyseur dans un récipient (3) ; puis, agiter l'ensemble jusqu'à ce que toute la quantité de catalyseur soit dissoute dans l'alcool ; et enfin, mélanger le tout dans l'huile chauffée à 60 °C et agiter vigoureusement pendant 15 mn.



(1) Pesage du catalyseur



(2) Mesure du volume d'alcool nécessaire



(2) Combinaison des réactifs

Photographie 2 : Les étapes du mélange des réactifs de la réaction de transestérification

- 2^{ème} étape : Mis en réaction

Une fois que le mélange huile/alcool ait lieu, le processus de la réaction de transestérification se déclenche pour durer 2 h dans une étuve à 70 °C (voir Photographie 3). A la fin de la réaction, l'huile passe à l'état d'ester en changeant ses propriétés physico-chimiques : la viscosité, la densité, la masse molaire.



Photographie 3 : Mis en réaction du mélange huile/alcool dans l'étude

- 3^{ème} étape : Décantation

Après la formation des esters au cours de la transestérification, une étape de décantation du produit est nécessaire pour séparer les différentes phases que peuvent donner la réaction : le biodiesel, le glycérol, les acides aminés, le savon, les résidus de potasse. La décantation s'effectue jusqu'à ce que les phases soient bien séparées afin de faciliter la séparation.

- 4^{ème} étape : Séchage

L'opération de séchage permet d'évacuer l'eau présente. Elle est réalisée par chauffage à une forte température du biodiesel lavé, la température de séchage que nous avons prise est de 110 °C pendant 30 mn dans l'étuve.

III.2.2.2. Les paramètres optimisés

➤ *Le taux d'alcool ou rapport molaire alcool/huile*

D'après la majorité des études [5] [6], ce rapport et la température semblent être les deux facteurs les plus importants qui gouvernent la vitesse de la réaction de transestérification des huiles.

Les taux d'alcool prisent sont 20%, 25%, 30%, 35% et 45% du volume d'huile. Ils sont équivalents aux ratio-molaires 4 : 1 ; 5 : 1 ; 6 : 1 ; 7 : 1 ; 8 : 1 et 10 : 1.

➤ *Le type de catalyseur*

La catalyse est par définition, l'action d'une substance appelée catalyseur sur une transformation chimique dans le but d'accélérer la cinétique de cette conversion. Il est admis que, dans le cas de la réaction de transestérification, la catalyse basique est beaucoup plus rapide que la catalyse acide. Ainsi, les temps de réaction varient de 3 à 48 heures avec un catalyseur acide, les réactions sont pour la plupart complètes au bout d'une heure avec un catalyseur basique.

Ainsi, deux catalyseurs basiques ont été testés : l'hydroxyde de potassium (KOH) en premier, puis le soude (NaOH).

➤ *La concentration massique du catalyseur*

Trois valeurs ont été prises, par la suite, pour la variation de la concentration massique du catalyseur : 0.5%, 1%, et 2% en utilisant le type et le taux de catalyseur le plus performant de l'expérience précédente afin de voir les effets de cette variation par rapport au rendement.

➤ *Le degré alcoolique*

En utilisant la concentration massique la plus favorable au rendement, on a fait varier le degré alcoolique de manière décroissante afin de connaître l'influence de cette variation sur le rendement : 94° ; 85° ; 75° ; 65° et 55°.

III.2.3. Analyses des propriétés physico-chimiques du biodiesel issu du suif

Après les expériences, le biodiesel optimisé a été par la suite analysé au laboratoire LCP Nanisana afin de voir si ces caractéristiques sont voisins de ceux du gasoil ordinaire, dont :

- le point d'éclair ;
- la densité ;
- et la viscosité cinématique.

II.3. ESSAIS SUR UN MOTEUR DIESEL

Comme le montre la Photographie 4, du gasoil de 950ml (1) et du Biodiesel de 50 ml (2) ont été incorporés afin d'obtenir du B5, mélange toléré par les moteurs Diesel ordinaires alimentés en biodiesel.

Ci-après les différentes opérations de montage effectuées lors des essais de fonctionnement :

- Incorporer le biodiesel dans le gazole (3) ;
- bien agiter le mélange (4);
- couper le circuit d'alimentation en gazole entre le réservoir et la pompe d'injection du véhicule, puis refermer ce circuit en remplaçant le réservoir du gazole par celui du biodiesel testé (5) ;
- relier la pompe d'injection à un nouveau récipient pour le retour de carburant (6) ;
- démarrer le moteur alimenté en biodiesel .



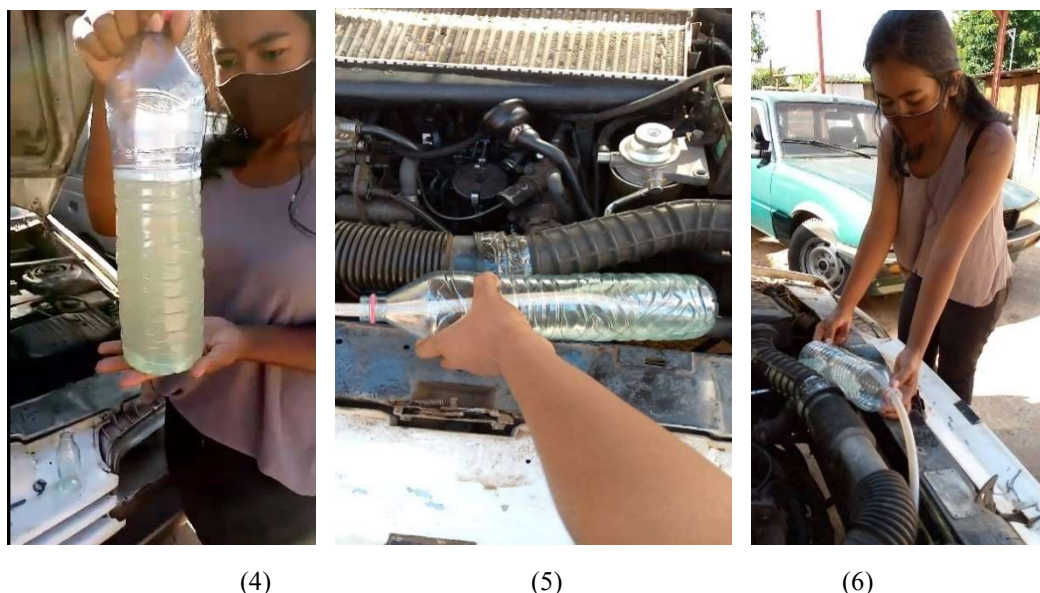
(1)



(2)



(3)



(4)

(5)

(6)

Photographie 4 : Etapes de l'essai sur moteur

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. RÉSULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRES DU CNRIT

IV.1.1. Résultats des extractions de l'huile de suif de bœuf

La masse moyenne de suif d'un zébu est de 38,37 Kg (cf. Tableau 1), soit 15,35% de son poids.

Tableau 1: Masse moyenne de suif par type de zébu

	Zébu mince	Zébu à gras moyen	Zébu très gras	Moyenne
Masse totale du gras en Kg	22,56	37,57	55,4	38,37
% de gras	9,024	15,028	55,4	15,348

Les résultats des expériences lors de l'extraction de l'huile de suif ont montré alors que :

- 1kg de suif a donné 0,7L d'huile et 10% en masse restante de tissu brûlé qui peut servir d'aliment des porcs. Cela mène à dire qu'un zébu peut en moyenne donné 24, 859 L d'huile de Suif
- Et lors de l'extraction, nous avons remarqué que les huiles obtenues présentent des caractères différents selon la température de cuisson comme le montre la Photographie 5. Plus la couleur est sombre, plus l'huile présente un taux d'acide gras élevé, et plus la transestérification est difficile.



Photographie 5 : Échantillons obtenus après extraction de l'huile du suif de bœuf à différentes températures
(à gauche : huile obtenue à 65°C ; à droite : huile obtenue à 85°C)

IV.1.2. Résultats de l'optimisation des paramètres de la transestérification

IV.1.2.1. Taux d'alcool

La Figure 2 montre l'influence du taux d'alcool mélangé avec de l'huile de suif, afin de transformer cette dernière en biodiesel à l'aide de la potasse (KOH) ou de la soude (NaOH) comme catalyseurs. Un faible volume d'huile est transformé en biodiesel à partir de 10% d'alcool avec les 2 catalyseurs.

Pour la Potasse, le biodiesel obtenu augmente avec le taux d'alcool, et atteint la valeur maximale de 51,85% pour 35% d'alcool mélangé avec de l'huile de suif. Pour la soude, on enregistre un rendement volumique maximal de 17,31% de biodiesel pour 30% d'alcool.

Nous constatons alors que le rendement volumique maximal obtenu avec la potasse est le double de celui avec la Soude.

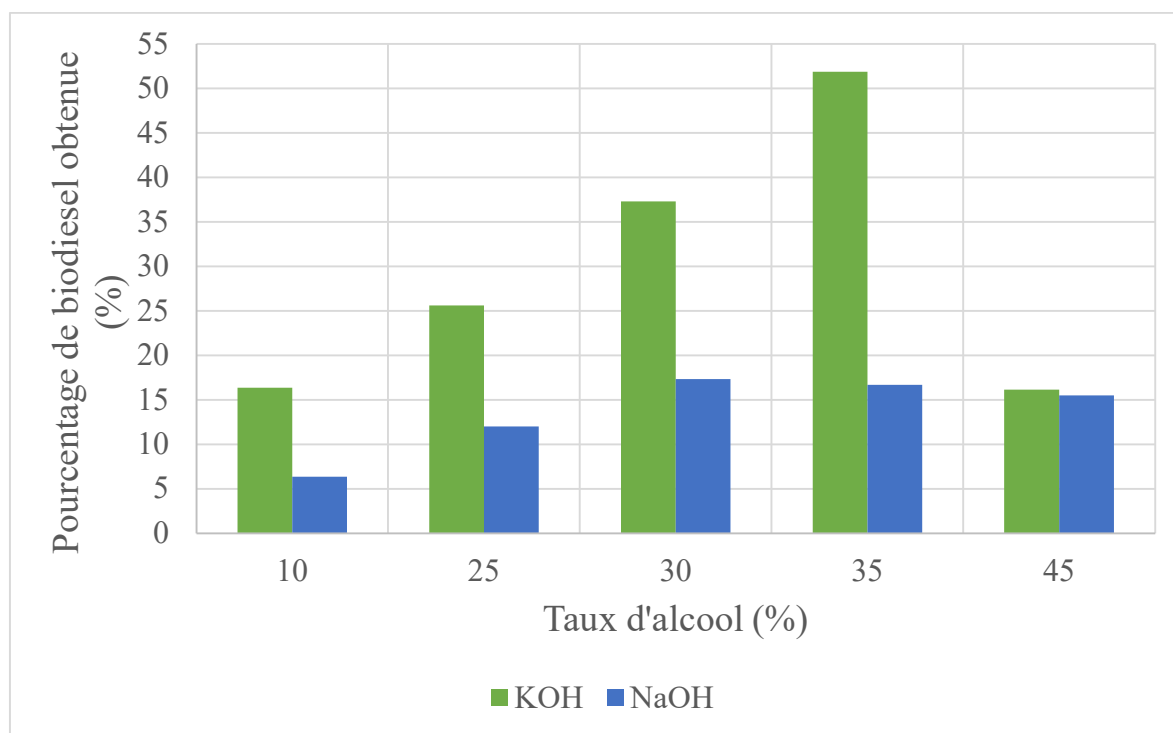


Figure 2 : Influence du taux d'alcool mélangé sur le rendement de la transformation de l'huile de suif en biodiesel selon le type de catalyseur

IV.1.2.2. Type de catalyseur

La variation des catalyseurs utilisés lors de la transestérification nous a permis de constater une grande différence au niveau du volume de biodiesel obtenu et au niveau de sa qualité.

Comme le montre la Photographie 6, les essais avec la soude n'ont permis d'observer que 2 phases :

- Le biodiesel mélangé à d'autres particules blanches flottantes à la partie supérieure,
- et une réaction parasite, de couleur blanche, à la partie inférieure.



Photographie 6 : Résultat de la transestérification avec la soude

Tandis qu'avec la potasse, 4 phases ont été observé (voir Photographie 7) :

- un reste de potasse, dans le fond, qui peut être utilisé comme fertilisant agricole ;
- suivi d'une liquide marron-rouge, qui est le glycérol ;
- une réaction parasite blanche ;
- et le biodiesel à la partie supérieure.



Photographie 7 : Résultat de la transestérification avec la potasse

IV.1.2.3. Taux du catalyseur

Tableau 2 : Résultat du rendement volumétrique moyen de biodiesel en fonction du taux de catalyseur

Taux du catalyseur (%)	N°Essai	Volume de biodiesel (ml)	N°Essai	Volume de biodiesel (ml)	Volume moyenne de biodiesel (ml)	Rendement moyen de biodiesel (%)
0.5	31	17	32	16	16.5	24.44
1	26	35	27	35	35	51.85
2	33	27	34	26	26.5	39.26

Selon le Tableau 2, une addition de KOH de 1% permet d'avoir plus de la moitié du taux de conversion, toujours avec un rendement maximum de 51.85%. De 0,5% à 1% de catalyseur, le rendement augmente fortement en doublant mais à partir du pic 1%, le rendement commence à diminuer (voir la Figure 3).

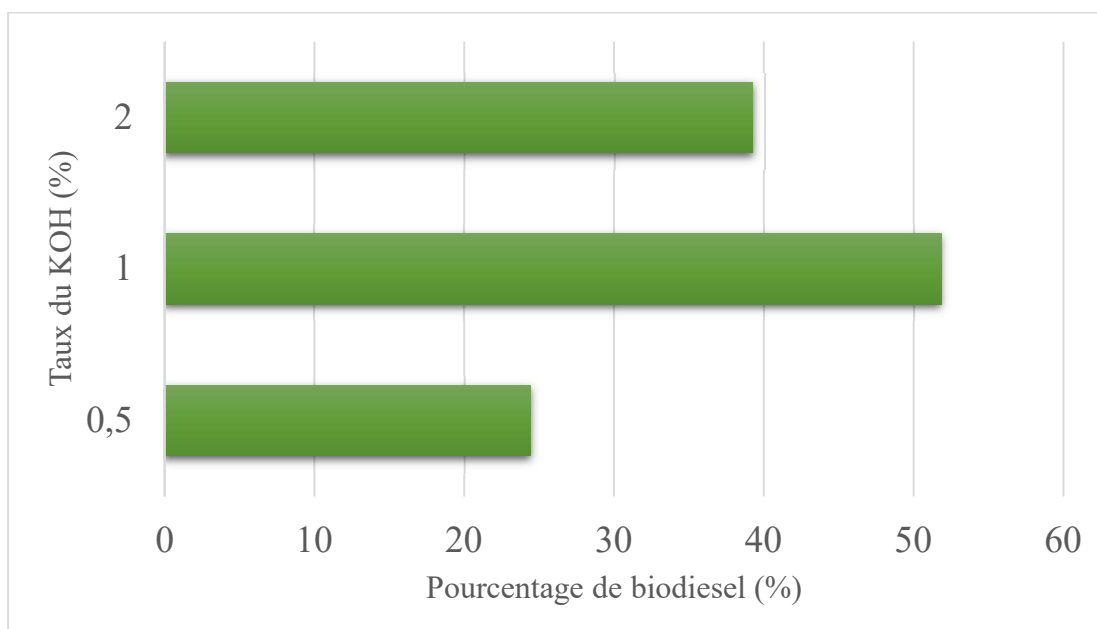


Figure 3 : Influence du taux de catalyseur sur le rendement volumétrique du biodiesel

- Concernant la durée de décantation, celui du KOH à 1% met 24 h à décanter totalement tandis qu'avec un taux de 2%, il n'a nécessité que 12 h et la décantation de l'huile à 0,5% de KOH a nécessité 28 h.
- Par rapport à la pureté, plus le taux de catalyseur augmente, plus le biodiesel obtenu est clair. Le biodiesel avec un taux de 2% est plus clair que le biodiesel à un taux de 0,5 % de KOH (voir la Photographie 8). Plus le biodiesel est clair, moins le lavage est difficile.



Photographie 8: Comparaison de l'huile transestérifiée à un taux de KOH 0,5% et à un taux de KOH 2%
(à gauche : taux de KOH 0,5% ; à droite : taux de KOH 2%)

IV.1.2.4. Optimisation du degré alcoolique

Lors de cette expérience, l'obtention d'un degré alcoolique supérieure à 94°GL n'a pas pu être possible par manque de matériels.

Tableau 3 : Résultat des rendements de biodiesel et de glycérol par rapport au degré alcoolique

Degré alcoolique (°GL)	N°Essai	Volume de glycérol(ml)	N°Essai	Volume de glycérol(ml)	Volume moyenne de glycérol(ml)	Volume moyenne de biodiesel(ml)
55	35	15	39	15	15	0
75	36	13	40	11	12	0
85	37	8	41	12	10	0
94	26	15	27	16	15.5	35

Selon le Tableau 3, seul le degré alcoolique 94° GL a donné du biodiesel, les autres n'ont donné que 2 phases : substance parasite dans la partie supérieure et le glycérol dans la partie inférieure (voir la Photographie 9).



Photographie 9 : Résultat des huiles transestérifiées selon le degré alcoolique

IV.1.3. Résultats des analyses des propriétés physico-chimiques du biodiesel optimisé

Les résultats des analyses du biodiesel sont résumés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques du biodiesel obtenu

	Huile pure	Gasoil	Biodiesel
Point d'éclair	Supérieur à 100	Supérieur à 55	Supérieur à 28
Densité	0,893	0,83-0,89	0,890
Viscosité cinématique	-	1,6 - 5,7	0,33 cst
Viscosité dynamique	-	-	0,22 cpo

Selon le Tableau 4, par rapport à l'huile de départ, le point d'éclair a significativement diminué, ce qui permet au biodiesel d'être utilisé dans un moteur Diesel sans préchauffage.

La viscosité étant faible, cela signifie que l'huile est très fluide et que cela favorisera l'évacuation des particules restantes dans les jets du réservoir. Cela permet l'utilisation directe du biodiesel dans le moteur.

IV.2. RÉSULTAT DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR ALIMENTÉ EN BIODIESEL

Lors des essais de fonctionnement d'un moteur alimenté en biodiesel, il n'y pas de ratage ni ronflement ni cognement du moteur avec le mélange B5.

Les fumées dégagées par le mélange sont moins denses que celles produites par le gazole et l'odeur des fumées est moins aigue. Cela s'explique par la présence des atomes d'oxygène dans le diester qui facilite sa combustion et qui réduit considérablement l'émission des monoxydes de carbones. De plus, on constate que le mélange semble être un bon lubrifiant que le gazole car le son du moteur est très stable par rapport à l'emploi du gasoil.

V. CONCLUSION

Le présent travail de recherche confirme que le suif de bœuf est une ressource énergétique potentielle. Plusieurs districts à travers l'île y interviennent pour le développement de cette filière depuis quelques années. Ce travail a permis de prouver que le biodiesel de suif de bœuf peut être utilisé comme combustible de cuisson et d'éclairage. Ses caractéristiques physico-chimiques sont proches de celles du gazole d'origine fossile avec un faible degré de pollution atmosphérique. La transestérification est la technologie appropriée pour la transformation de l'huile du suif de bœuf en biodiesel.

La méthodologie adoptée est à la fois qualitative et quantitative. Sa concrétisation à termes nécessite à priori par le passage à travers l'ordre chronologique de trois activités suivantes. La première a été réalisée au niveau du laboratoire du CNRIT à Tsimbazaza. C'est une étude purement expérimentale qui a pour objet d'optimiser l'extraction de l'huile du Suif et les paramètres de la transestérification de l'huile. Une série de manipulations y a été réalisée en variant respectivement la proportion d'alcool utilisé, le type et la concentration massique du catalyseur ainsi que le degré alcoolique. Ces manipulations ont été réalisées en vue de déterminer les proportions optimales de la transestérification. La seconde activité a été réalisée au laboratoire LCP Nanisana pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques du biodiesel de suif de bœuf. La troisième et dernière activité consiste à effectuer des essais du biodiesel optimisé sur un moteur PEUGEOT 405 Diesel.

Les résultats issus de ce travail de recherche sont probants et innovants. Le procédé de transestérification est facile à réaliser surtout avec les matières premières locales comme le suif de bœuf. L'optimisation des paramètres de transestérification a montré une efficacité du rendement volumique de 51,85% de biodiesel en utilisant un taux d'alcool 35% par rapport au volume d'huile, avec le KOH à 1% de la masse d'huile et un degré éthanolique 94°. Par rapport à l'huile végétale, ce rendement est faible. Pour augmenter ce rendement, l'utilisation d'un prétraitement avec un catalyseur acide est donc nécessaire avant de procéder à la transestérification. Le Biodiesel de suif de bœuf présente des caractéristiques physico-chimiques proches du gazole : un point

d'éclair plus bas facilitant le démarrage à froid du moteur, une densité proche du gazole, et une faible viscosité permettant l'utilisation directe du biodiesel dans le moteur.

De plus, les essais de fonctionnement du biodiesel de suif de bœuf sur moteur Diesel ont montré que le biodiesel d'origine animal est un meilleur lubrifiant par rapport au gazole d'origine fossile. L'émission de monoxyde de carbone au niveau de l'échappement est moindre et plus claire par rapport à celle du gazole. Beaucoup restent encore à faire entre autres l'amélioration du rendement en réduisant le taux d'acide gras libre et le teneur en eau de l'huile de départ en utilisant des enzymes ; l'étude de faisabilités technique et financière du mélange d'huile de suif de bœuf avec d'autres types d'huile animale.

REFERENCES

- [1] WWF, « Diagnostic du secteur énergie à Madagascar », Septembre 2012,
- [2] Sadaka C., Composition chimique et intérêt nutritionnel de la viande de bœuf à partir de l'analyse des données INRA, Mémoire d'Ingénieur, Conservatoire des Arts et de Métiers Paris, Option Biochimie et technologie des industries agro-alimentaires, 2011
- [3] Andrianarisoa, Rasoamiadana A., Situation des corps gras à Madagascar, Mémoire de fin d'études de cycle Ingénieur, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Industries Agricoles et Alimentaires, Université Antananarivo, 1978
- [4] Serres H., L'engraissement des zébus dans la région de Tananarive selon la technique du « bœuf de fosse », 1969
- [5] Hamad B., Transestérification des huiles végétales par l'éthanol en conditions douces par catalyses hétérogènes acide et basique, Université Claude Bernard - Lyon I, 2009,
- [6] Richard M., Transestérification éthanolique d'huile végétale dans des microréacteurs : transposition du batch au continu, Domaine Sciences et Agro ressources, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), 2011