

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE CONSTANTINE 3



FACULTE DE GENIE DES PROCÉDES

DEPARTEMENT : GENIE CHIMIQUE

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

Mémoire de Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie Chimique

**Etude expérimentale et modélisation de méthodes
d'intensification de la transesterification**

Dirigé par:

Dr : Outili Nawel

Présenté par :

Boukhalfa Rania

Mazouz Yasmine

Année Universitaire 2019/2020

Session : septembre

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations et nomenclatures

Introduction générale 1

CHAPITRE 1 : Revue bibliographique

1.1 Introduction 3

1.2. Généralités sur le biodiesel 3

1.2.1. Biodiesel..... 3

1.2.2.La réaction de transestérification 4

1.2.3. L'utilisation du biodiesel 6

1.2.4. Situation de biodiesel dans le monde et en Algérie 7

1.2.5. Les propriétés du biodiesel..... 8

1.3. Les méthodes d'intensification..... 9

1.3.1. Intensification par micro-onde 10

1.3.2. Intensification par ultrason..... 11

1.3.3. La méthode d'intensification par microréacteur 13

1.3.4. La méthode d'intensification par l'état supercritique 14

1.3.5.Autre méthode 15

1.4. Travaux précédents 15

1.4.1. Travaux réalisés sur la transestérification par microonde 15

1.4.2. Travaux réalisés sur la transestérification par ultrason 18

1.4.3. Travaux réalisés sur la transestérification par microréacteur 19

1.4.4. Travaux réalisés sur la transestérification à l'état supercritique 20

1.4.5. Travaux réalisés par Modélisation 20

1.5. Conclusion..... 23

CHAPITRE 2: Matériels et Méthodes

2.1.Introduction	25
2.2. Caractérisation de l’huile usagée et biodiesel et protocoles des tests réalisés	25
A. La densité	25
B. Indice d’acidité	26
C. Indice de saponification	27
D. Indice de réfraction	28
E. La viscosité	28
F. Le pH	30
G. La teneur en eau	30
2.3. Méthodologie expérimentale de la synthèse du biodiesel pour chaque	
Méthode d’intensification	32
2.3.1. Matériels et produits	33
2.3.2. Protocole expérimental de la transestérification	34
A. Intensification par microonde.....	35
B. Intensification en utilisant un microréacteur.....	36
2.4. La chimie verte	38
2.5. Modélisation du microréacteur par Comsol multiphysics.....	40
2.6. Généralité sur le business model et l’étude de marché	46
2.6.1. Le business model BM.....	46
2.6.2. L’étude de marché	47
2.7. Conclusion.....	49

CHAPITRE 3 : Résultats et discussions

3.1. Introduction	50
3.2. Partie expérimentale	50
3.2.1. Résultats de la caractérisation de l’huile de friture (HF).....	50

3.2.2. Résultats de l'intensification par micro-ondes sur le rendement en biodiesel	52
3.2.3. Les résultats du milli-réacteur	54
3.2.4. Calcul des paramètres de la chimie verte	55
3.3. Partie modélisation	56
3.3.1. Les propriétés et données du programme.....	57
3.3.2. Effet de la géométrie sur le mélange des phases dans le milli-réacteur	58
3.3.3. Effet de la vitesse sur le mélange	63
3.3.4. Effet de la forme du mélangeur	65
3.3.5. Effet du Ratio huile/alcool sur la production de biodiesel	68
3.3.6. Profil de température.....	70
3.3.7. Comparaison entre les résultats donnés par l'expérimental et la modélisation ..	72
3.4. Réalisation d'un prototype à grande échelle : le scale-up.....	72
3.4.1. Estimation du nombre de milli-réacteurs pour une production de 2l/h.....	73
A. Un Scale-up de forme cylindrique	74
B. Le scale up en forme cubique	76
3.5. Le business model et l'étude de marché	80
3.5.1. Le business model	80
3.5.2. Etude de marché	82
A. L'étude économiques et estimation du prix du milli-réacteur et du réacteur.....	82
3.6. Les utilisations possibles des microréacteurs.....	86
3.7. Conclusion	87
Conclusion générale.....	88
Références bibliographique	
annexes	

Résumé

Dans ce travail on a fait l'optimisation de la production de biodiesel à partir d'huile de friture usagée de marque Lynor (traité par microonde) par l'utilisation des méthodes d'intensification microonde et milli-réacteur. La production par microonde au niveau du laboratoire a donné un rendement de 87.8% avec un rapport 1/5.5, un taux de catalyseur de 1.4 %, KOH et un temps de séjour de 23s avec une température 43C⁰. La réalisation de la réaction de transestérification par milli-réacteur a donné une conversion totale avec un rendement de 82%.

Une modélisation-simulation du milli-réacteur proposé est faite pour optimiser certains facteurs et tester leurs performances. Les résultats ont donné une géométrie optimale avec une longueur de 0.5 m, un diamètre de 2mm, un espacement de 1mm et une forme de mélangeur à deux entrées pour le méthanol et une pour l'huile avec rétrécissement pour disperser une phase dans l'autre. L'optimum de vitesse d'entrée des fluides est de 0.1 m/s. Le rendement de production de biodiesel dans ce milli-réacteur a atteint 92% sous un ratio huile/méthanol de 1/9 dans un temps de 1.8 min avec une température de 318K. Pour une production à grande échelle on a opté pour un développement de ce milli-réacteur par disposition sous deux formes : cylindrique et cubique. Les résultats de l'étude de marché, l'étude économique et le business modèle nous ont orientés pour mettre la base de la création d'une entreprise de production de ces milli-réacteurs et leur superposition en réacteur à grande échelle et qui apparait comme une solution de production nationale pour répondre à une demande du marché national.

Mots clés : transesterification, intensification, biodiesel, huile de friture, milliréacteur, étude économique, modélisation-simulation

Abstract

In this work we optimized the production of biodiesel from used Lynor brand treated frying oil through the use of microwave and milli-reactor intensification methods. Microwave production at the laboratory level gave an efficiency of 87.8% with a ratio of 1 / 5.5, a catalyst rate of 1.4% KOH and a residence time of 23s with a temperature of 43C⁰. Carrying out the transesterification reaction by milli-reactor gave complete conversion with a yield of 82%.

A modeling-simulation of the proposed milli-reactor is made to optimize certain factors and test their performance. The results gave an optimal geometry with a length of 0.5m, a diameter of 2mm, a spacing of 1mm and a mixer shape with two inputs for methanol and one for oil with narrowing to disperse one phase in the other. The optimum fluid inlet speed is 0.1 m / s. The production efficiency of biodiesel in this milli-reactor reached 92% under an oil / methanol ratio of 1/9 in a time of 1.8 min with a temperature of 318K. For large-scale production, we opted for a development of this milli-reactor by arrangement in two forms: cylindrical and cubic. The results of the market study, the economic study and the business model have guided us to lay the basis for the creation of a production company for these milli-reactors and their superposition into large-scale reactors and which appears to be a national production solution to meet a demand from the national market.

Keywords: transesterification, intensification, biodiesel, frying oil, millireactor, economic study, modeling-simulation

الملخص:

في هذا العمل قمنا بتحسين إنتاج الديزل الحيوي من خلال استغلال زيوت القلي المستعملة لينور (التي تمت معالجتها بواسطة جهاز الميكروويف) وذلك باستخدام أساليب التكتيف المتمثلة في الميكروويف و المفاعل مع المليمترى. مكنا الإنتاج بواسطة الميكروويف على المستوى المخبري بالحصول على مردود ب87.8% و هذا مع استعمال 0.4% من المحفز و نسبة 1/5.5 (ميثانول/زيت) في وقت 23 ثانية في درجة حرارة 43 درجة مئوية . انجاز تفاعل الأسترة في هذا المفاعل المليمترى أعطى تحويل إجمالي الديزل الحيوي مع مردود قدر ب 82%.

تم إنجاز نمذجة- محاكاة للمفاعل المليمترى من أجل تحسين بعض العوامل المدروسة و اختبار أداءه حيث تحصلنا على الحدود الكبرى لكل عامل هندسي: القطر: 2 مم, الطول: 0.5م, التباعد: 1م مع الاعتماد على شكل الخلاط الذي يحتوي على مدخلين للميثانول و مدخل للزيت مع التضييق من أجل تفريق طبقة واحدة في الأخرى. بالنسبة لسرعة إدخال المحلول أفضل قيمة حددت ب 0.1 م/ثانية . دراسة تفاعل الأسترة في هذا المفاعل أعطت أكبر قيمة للمردود قدرت ب 92% و هذا من أجل نسبة مولية بين الميثانول و الزيت 9/1 في وقت قدر ب 1.8 دقيقة كما أن درجة الحرارة وصلت إلى 318 كلفن.

من أجل التحول إلى الإنتاج على نطاق واسع قمنا بتطوير تركيب المفاعل المليمترى لشكلين : أسطواني ومكعب. نتائج دراسة السوق، الدراسة الاقتصادية و نموذج العمل وجهتنا لوضع قاعدة تأسيس الشركة المنتجة لهذه المفاعلات وتركيباتها على شكل مفاعل واسع الإنتاج و التي تكون كحل من أجل البدء في تطوير صناعة وطنية من أجل تلبية احتياجات السوق المحلي.

الكلمات المفتاحية:

تحويل الأسترة, تكتيف, وقود الديزل الحيوي, زيوت القلي, مفاعل مليمترى, الدراسة الاقتصادية, نمذجة- محاكاة