

**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
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>88</b>
<b>Références bibliographique</b>	
<b>annexes</b>	

## **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 43C<sup>0</sup>. 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 43C<sup>0</sup>. 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 حصلنا 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