



# République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université d'El Oued

Faculté de Sciences Exactes ...



Laboratoire d'exploitation et de valorisation des ressources énergétique sahariennes LEVRES

**Thèse de doctorat**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme de docteur (LMD)**

**Filière : Physique**

**Spécialité : Physique Rayonnement Matière et Energie**

**Etude de la performance d'un Moteur à Combustion  
Interne Utilisant le Biodiesel.**

**Présenté par : DOGGA Abdallah**

**Soutenu le [Jour/Mois/Année], en présence du jury d'examen :**

Name	Rang	Affiliation	Rôle
Beggas Azzeddine	Professeur	Université d'El Oued	Président
BOURAS Fethi	Professeur	Université d'El Oued	Supervisor
Khaldi Fouad	Professeur	Université el Harrache	Co-promoteur
BECHKI Djamel	Professeur	Université ouaregla	Examineur
MAARIF yacine	Professeur	Université ouaregla	Examineur
ATIA Abdelmalek	Professeur	Université d'El Oued	Examineur
HADJE AMAR Mohammed ali	Professeur	Université d'El Oued	Examineur

**Année Universitaire : 2025-2026**

# Remerciements

---

*En premier, je remercie Allah de m'avoir donné la force, le courage, la patience et la volonté de mener à bien ce travail.*

*Je tiens à adresser mes vifs et sincères remerciements à mon directeur de thèse, Pr. BOURAS Fethi, et le co-directeur de ma thèse, Pr. Khaldi Fouad, que je suis très reconnaissant pour leur aide et leur supervision de ce travail de recherche.*

*Je remercie les membres du jury qui ont pris la peine d'évaluer mon travail.*

Enfin, Nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*A toutes celles et tous ceux qui de près ou de loin, par une belle parole, un geste, un encouragement m'ont aidée, toujours soutenue et encouragée à réaliser cette thèse.*

*Merci à tous et à toutes.*

**Abdallh Dogga**

# *Dédicace*

---

*Je dédie ce travail*

*À mon père*

*À ma mère*

*À mes frères*

*À mes sœurs*

*Et à tous ceux qui me sont chers*

*Abdallh Dogga*

# Sommaire

**Remerciements**

**Dédicace**

**Sommaire**

I

**Liste des figures**

V

**Liste des tables**

VII

## **Chapitre 1 : Généralité sur le Moteur et le Carburant**

1.1 Introduction	9
1.2 Essence	10
1.2.1 Définition de l'essence	10
1.3 Le gaz de pétrole liquéfié (GPL)	11
1.3.1 Définition du (GPL)	11
1.4 Diesel	13
1.4.1 Définition	13
1.5 Biocarburant	14
1.5.1 Définition de biocarburant	14
1.5.2 Biogaz	15
1.5.2.1 Propriétés du biogaz	15
1.5.3 Biodiesel	16
1.5.3.1 Définition technique du mot biodiesel	16
1.5.3.2 Composition chimique du biodiesel	16
1.6 Généralités sur les moteurs thermiques.	16
1.6.1 Définition	16
1.6.2 Historique des moteurs à combustion interne	17
1.6.3 type des moteurs	20
1.6.3.1 Moteur à essence	20
1.6.3.2 moteur diesel	20
1.7 Cycle thermodynamique	21
1.7.1 Moteurs à quatre temps	21
1.7.2 Moteur à deux temps	24
1.8 Rendement volumique	25

1.9 Pertes de pompage	26
1.10 Rendement de la combustion	26
1.11 Emissions polluantes	26
1.11.1 La réduction de la pollution à la source	27
1.11.2 Le post-traitement des émissions	27
1.12 Avantages et inconvénients des moteurs diesel	28
1.6 Conclusion	28
References	30

## **Chapitre 2: Etude Experimental Production De Biodiesel : Préparation Et Extraction**

2.1 Introduction	34
2.2 Ricin ( <i>Ricinus communis</i> L)	35
2.2.1 Botanique de plante de ricin	35
2.2.1.1 Plante de ricin	35
2.2.1.2 Feuilles	35
2.2.1.3 Fèves (grains) de ricin	36
2.2.2 Cultivation du ricin	37
2.2.3 Huile de ricin	37
2.2.4 Tourteaux de ricin	37
2.2.5 Domaines d'applications	38
2.2.6 Composition et toxicité	39
2.3 Extraction de l'huile	39
2.3.1 L'extraction mécanique par presage	40
2.3.2 L'extraction par soxhlet	41
2.4 L'évaporateur rotatif (ou rotavapor)	42
2.4.1 Principe	43
2.4.2 Evaporation	43
2.5 Le biodiesel	44
2.5.1 Définition	44
2.5.1.1 Définition générale	44
2.5.1.2 Définition technique	44
2.5.2 Préparation du biodiesel	45
2.5.2.1 matériaux utilisés	45

2.5.2.2	Méthode de production de biodiesel par estérification	45
2.5.2.3	Mécanisme de la réaction	47
2.5.2.4	Installation et séparation	47
2.5.2.5	Le lavage	48
2.5.2.6	Filtration	49
2.5.2.7	Retirer l'eau	49
2.6	Conclusion	50
	References	51

### **Chapitre 3: Caractérisation D'Huile Et Biodiesel De Ricin**

3.1	Introduction	56
3.2	Analyses physico-chimiques de l'huile et du biodiesel	56
3.2.1	La densité	56
3.2.2	Le pH	57
3.2.3	Viscosité a 40 °C	57
3.2.4	Point d'éclair	58
3.2.5	Indice de réfraction	59
3.2.6	Indice d'acidité	59
3.2.7	Indice d'iode	60
3.2.8	Indice de peroxide	61
3.2.9	Indice de saponification	62
3.2.10	Indice de cétane	63
3.3	Caractérisation des propriétés physiques et chimiques de l'huile de ricin et du biodiesel	64
3.3.1	Caractérisation de l'huile	64
3.3.2	Caractérisation du biodiesel	66
3.4	Analyse de la composition en acides gras	68
3.5	Conclusion	72
	References	73

### **Chapitre 4: Valorisation du Biodiesel : Effet sur l'Environnement et Performance du Moteur**

4.1	Introduction	77
4.2	Caractéristiques techniques principales du moteur d'essai	77

4.3 Configuration expérimentale	78
4.4 Résultat et discussion	82
4.4.1 La conformité du biodiesel aux normes ASTM et EN	82
4.4.2 Effet du mélange de diesel sur les émissions de polluants	83
4.4.3 Analyse des performances du moteur du biodiesel à l'huile de ricin	87
4.5 Conclusion	89
References	91
Conclusion Générale	95

---

# Liste des figures

Figure	Titre de la figure	age
<b>Chapitre 1</b>		
1.1	Exemple de composition de l'essence Algérienne	10
1.2	Schéma d'un système d'injection multipoint pour bicarburation GPL / essence (Document BOSCH)	12
1.3	Exemple de composition d'un gazole Algérien	13
1.4	Schéma de la production des biocarburants	14
1.5	Les organes d'un moteur thermique	17
1.6	Classification des moteurs à essence	20
1.7	Classification des moteurs diesel	21
1.8	les cycle thermodynamique d'un moteur a combustion intern	21
1.9	Cycle de fonctionnement d'un moteur diesel à 4 temps	22
1.10	Moteur à deux temps	24
1.11	Courbes de levées théoriques des soupapes d'admission et d'échappement, ligne pointillée pour l'échappement et ligne continue pour l'admission	25
1.12	Valeurs limites d'émission en Europe pour voitures à moteur diesel	27
<b>Chapitre 2</b>		
2.1	plant de ricin	35
2.2	Feuilles du plant de ricin	36
2.3	(a) les fruits de ricin et (b) les graines de Ricin	36
2.4	l'huile de ricin	37
2.5	Tourteaux de ricin	38
2.6	Représentation schématique d'une presse à vis	40
2.7	Extracteur soxhlet.	41
2.8	Appareil rota vapeur	43
2.9	Réaction générale de la transestérification	46
2.10	Photo de réaction de transestérification	46

2.11	Réactions successives de la transestérification	47
2.12	installation et séparation des phases	48
2.13	lavage du biodiesel	48
2.14	Filtration de biodiesel	49
2.15	Retirer l'eau de biodiesel	49

### Chapitre 3

3.1	Mesure par papier pH	57
3.2	Appareil de mesure de viscosité	58
3.3	Mesure le point d'éclair	58
3.4	Appareil d'ndice de réfraction	59
3.5	Protocole de mesuré Indice d'acidité.	60
3.6	Protocole de mesuré Indice d'iode	61
3.7	Protocole de mesuré Indice de peroxyde.	62
3.8	Protocole de mesuré Indice de saponification.	63
3.9	Spectre IR de l'huile de ricin	69
3.10	Spectre IR du biodiesel d'huile de ricin.	69

### Chapitre 4

4.1	Caractéristiques technologiques du générateur électrique.	78
4.2 (a)	Banc d'essai de la valorisation du biodiesel	79
4.2 (b)	Schéma du montage de la configuration expérimentale	80
4.3	Effet de la charge sur les émissions des oxydes de carbone	85
4.4	Effet de la charge sur les émissions des oxydes d'azote	86

# Liste des table

Table	Titre du tableau	Page
<b>Chapitre 1</b>		
1.1	Propriétés physiques et chimiques d'essence	11
1.2	Propriétés physiques et chimiques de diesel	14
1.3	Principaux composés autres que CH <sub>4</sub> présents dans le biogaz et leurs effets	15
1.4	Comparaison entre le moteur essence et diesel	23
<b>Chapitre 2</b>		
2.1	Les matériaux employés lors de la fabrication biodiesel .	45
<b>Chapitre 3</b>		
3.1	Propriétés physico-chimiques de l'huile de ricin extraite	65
3.2	Propriétés physico-chimiques du biodiesel d'huile de ricin	68
3.3	Composition en acides gras de l'huile de ricin	71
<b>Chapitre 4</b>		
4.1	Specifications du moteur d'essai	78
4.2	Compositions du carburant utilisé dans l'expérience	81
4.3	Comparaison du biodiesel avec les normes ASTM et EN	83
4.3	Résultats des tests de moteur pour les mélanges de pétrodiesel et de biodiesel d'huile de ricin	88

# **Introduction générale**

---

### Problématique Scientifique

Au cours des dernières décennies, la consommation mondiale de carburants conventionnels n'a cessé d'augmenter sous l'effet conjugué de la croissance démographique et du développement industriel. Cette tendance exerce une pression considérable sur les ressources pétrolières, entraînant à la fois leur épuisement progressif et une hausse continue des prix du pétrole. Parallèlement, la combustion des carburants fossiles constitue l'une des principales sources d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique, contribuant ainsi au réchauffement climatique et à la dégradation de la qualité de l'air [1–2]. Face à ces enjeux énergétiques et environnementaux, les sources d'énergie renouvelables issues de la biomasse ont suscité un intérêt croissant. Parmi elles, le biodiesel s'impose comme une alternative prometteuse aux carburants fossiles. Utilisable pur ou en mélange avec le gazole sans modification majeure des moteurs diesel, le biodiesel permet de réduire sensiblement les émissions polluantes et de contribuer à la préservation de l'environnement [1–3].

Ce biocarburant peut être produit à partir d'une grande variété de matières premières, notamment des huiles végétales (ricin, jatropha, coton, soja) ou des huiles de cuisson usagées [4–5]. Le craquage de ces huiles peut être réalisé soit thermiquement, sans catalyseur, soit à l'aide de catalyseurs alcalins. D'autres sources de biodiesel d'origine animale, telles que les huiles de poisson, les graisses animales et les huiles de microalgues, ont également montré un potentiel intéressant [6–7]. La production de biodiesel à partir d'huiles non comestibles présente plusieurs avantages majeurs : elle réduit les coûts de production et évite la concurrence directe avec la filière alimentaire. En outre, les plantes oléagineuses non comestibles peuvent être cultivées sur des terres marginales impropres aux cultures vivrières, limitant ainsi la pression sur les terres agricoles [5, 8]. De nombreuses espèces végétales et algales, telles que le jatropha, le ricin, l'hévéa, le dattier du désert ou encore certaines microalgues, constituent des ressources particulièrement prometteuses pour la production de biodiesel. Ces dernières offrent un rendement en huile élevé, une croissance rapide et une efficacité photosynthétique supérieure à celle des plantes terrestres. De plus, leur culture nécessite peu de surface et de main-d'œuvre, ce qui renforce leur attractivité économique et écologique [9–5].

En somme, la transition vers des biocarburants issus de ressources locales non comestibles représente une solution durable pour répondre aux défis énergétiques et environnementaux actuels. Cette dynamique ouvre la voie à des recherches approfondies sur

l'exploitation d'huiles végétales non conventionnelles, telles que l'huile de ricin, pour la production de biodiesel.

### Recherche Bibliographique

En 2008, Itânia et al. ont utilisé la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour analyser les variables caractéristiques de mélanges de biodiesel issus de différentes sources. Les chercheurs ont étudié plusieurs types d'huiles provenant de diverses régions du Brésil : l'ester d'huile de ricin fourni par l'Université Estadual de Santa Cruz (État de Bahia), l'ester d'huile de palme par l'entreprise Agropalma (État du Pará) et l'ester d'huile de coton par Soyminas (État du Minas Gerais) [9]. Le biodiesel obtenu a été mélangé à du biodiesel de soja selon différentes proportions (de 1 à 40 %), pour constituer un total de 120 échantillons. L'analyse FTIR et la modélisation chimiométrique ont permis de développer un modèle robuste, capable de prédire avec une précision de 95 % la composition des mélanges de biodiesel. Ce modèle a mis en évidence la stabilité des variables spectrales face à la colinéarité et a clarifié les relations entre les caractéristiques du biodiesel et sa composition en mélange [9]. Dans cette optique, plusieurs études ont comparé les performances des moteurs alimentés par différents types de biodiesel, notamment ceux issus de l'huile de ricin, de l'huile de coco et des huiles de cuisson usagées. Les biodiesels obtenus ont été mélangés au gazole à des taux de 5, 10, 20 et 30 % pour alimenter un moteur diesel réel [1, 4, 8, 10]. Les résultats montrent que l'ajout de biodiesel au gazole entraîne une diminution de la puissance au frein, plus marquée à mesure que la proportion de biodiesel augmente. La réduction de puissance la plus faible a été observée pour le biodiesel issu des huiles de cuisson usagées, tandis que la plus importante concernait le biodiesel de ricin. Par ailleurs, la consommation spécifique de carburant augmente avec la proportion de biodiesel dans le mélange, et cette hausse est particulièrement significative pour le biodiesel de ricin.

La présence d'oxygène dans la structure moléculaire du biodiesel favorise une meilleure oxydation des particules, ce qui réduit les émissions de suies. Cependant, au-delà de 30 % de biodiesel dans le mélange, les émissions d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) augmentent. Parmi les trois biocarburants testés, le biodiesel de coco a généré les émissions de  $\text{NO}_x$  les plus élevées, suivi de celui issu des huiles de cuisson et enfin du biodiesel de ricin [3, 4]. Concernant le monoxyde de carbone (CO), sa concentration diminue avec l'ajout de biodiesel, bien que les valeurs restent proportionnelles au pourcentage de gazole dans le mélange. Enfin, l'augmentation du régime moteur s'accompagne d'une hausse des émissions de  $\text{CO}_2$ , traduisant une combustion plus

complète [2, 4]. En 2012, Wang et Yu ont étudié l'huile du noyau d'abricot de Sibérie comme matière première non conventionnelle pour la production de biodiesel. Cette huile se distingue par une teneur élevée en lipides ( $\approx 50\%$ ), un faible indice d'acide ( $0,46\text{ mg/g}$ ) et une faible teneur en eau ( $0,17\%$ ). Elle est riche en acides gras insaturés, notamment en acide oléique ( $65,23\%$ ) et linoléique ( $28,92\%$ ). Le biodiesel produit a satisfait les exigences des normes ASTM, en particulier pour ses excellentes propriétés d'écoulement à froid (point de colmatage du filtre à  $-14\text{ }^\circ\text{C}$ ). L'ajout de  $500\text{ ppm}$  de tert-butylhydroquinone (TBHQ) a également amélioré sa stabilité à l'oxydation, prolongeant la période d'induction jusqu'à  $7,7$  heures. Cette étude a ainsi démontré que l'huile d'abricot de Sibérie constitue une ressource à faible coût, à haut rendement et bien adaptée à la production de biodiesel en Chine [11].

La technologie des moteurs diesel occupe une place prépondérante dans la production d'énergie, notamment dans les secteurs automobile et agricole. En 2016, Negm et al. ont produit du biodiesel à partir d'huile de ricin égyptienne cultivée dans le sud de l'Égypte sur près de deux millions d'hectares, irrigués à l'aide d'eaux industrielles prétraitées. Cette plante se distingue par son faible besoin d'entretien, ses coûts de production réduits et un rendement en huile d'environ  $38\%$  [1, 10]. Les auteurs ont étudié les performances d'un moteur diesel alimenté par des mélanges de biodiesel et de gazole à  $10$ ,  $20$  et  $40\%$ . Les résultats ont révélé qu'un mélange à  $10\%$  améliorait l'efficacité du moteur d'environ  $10\%$ , tout en réduisant la consommation spécifique de  $312,37$  à  $296,4\text{ g/kWh}$ . Le rendement thermique est ainsi passé de  $25\%$  à  $27,36\%$ . En revanche, à des taux de biodiesel plus élevés ( $40\%$ ), l'efficacité diminue ( $22\%$ ) en raison de la baisse de la densité énergétique du mélange [1, 10]. En 2018, Aboelazayem et al. ont approfondi cette étude en optimisant les conditions de production du biodiesel de ricin, notamment le rapport méthanol/huile, la concentration en catalyseur et la température de réaction. Les mélanges biodiesel/gazole ( $5$  à  $20\%$ ) ont ensuite été testés sur un moteur diesel à injection directe. Les résultats ont montré une réduction notable des émissions globales de gaz à effet de serre et des particules, bien qu'une augmentation du CO et du  $\text{CO}_2$  ait été observée à des proportions élevées de biodiesel [1]. Ces observations confirment que l'huile de ricin constitue une matière première prometteuse pour la production de biodiesel de qualité.

En Algérie, le parc automobile est composé à près de  $34,33\%$  de véhicules diesel [12]. De plus, le gazole est largement utilisé dans le secteur agricole, notamment pour alimenter les générateurs électriques d'irrigation dans les zones rurales non raccordées au réseau. Son coût relativement faible ( $29\text{ DA/L}$ ) en fait le principal carburant utilisé, mais sa dépendance au pétrole pose un problème stratégique. L'exploitation de plantes locales comme le ricin (*Ricinus*

communis), abondant dans le désert algérien, représente une alternative durable. En effet, à partir d'un kilogramme d'amandes de ricin, il est possible d'extraire environ 500 g d'huile, soit un rendement d'environ 50 %. La transestérification de cette huile permet d'obtenir un biodiesel conforme aux normes internationales, positionnant cette plante comme une candidature prometteuse pour la production de carburants alternatifs non conventionnels [13–14]. Ainsi, la présente thèse vise à caractériser l'huile et le biodiesel dérivés des amandes de ricin du désert algérien (région d'El Oued). Le premier chapitre présente les notions générales sur les moteurs thermiques et les types de combustibles. Le second décrit les techniques d'extraction et de production du biodiesel à partir des graines de ricin locales. Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation physico-chimique et spectroscopique (FTIR) de l'huile et du biodiesel, avec comparaison aux normes ASTM et aux travaux antérieurs. Enfin, le dernier chapitre valorise le biodiesel produit en l'utilisant comme carburant dans un moteur diesel, afin d'évaluer ses performances énergétiques et ses émissions polluantes selon différents taux de mélange.

### **Motivation et Objective**

La production de biodiesel à partir d'huiles végétales comestibles soulève un problème majeur de concurrence avec la production alimentaire et engendre des coûts élevés. C'est pourquoi l'attention des chercheurs se porte de plus en plus sur les huiles non comestibles issues de plantes locales et abondantes. En Algérie, l'amande de ricin (*Ricinus communis*) se présente comme une ressource particulièrement intéressante : elle pousse naturellement dans des zones arides, nécessite peu d'entretien et offre un rendement élevé en huile. L'exploitation de cette plante représente donc une opportunité stratégique pour valoriser les ressources locales, réduire la dépendance énergétique du pays et limiter les impacts environnementaux liés à l'utilisation du diesel conventionnel. L'objectif principal de cette étude est de produire et de caractériser le biodiesel dérivé de ricin du désert algérien (région d'El Oued), afin d'évaluer son potentiel en tant que biocarburant alternatif. Cette recherche vise ainsi à démontrer la faisabilité technique et environnementale de la production de biodiesel à partir d'une ressource locale abondante, contribuant à la transition énergétique et au développement durable en Algérie.

La présente thèse est structurée en quatre chapitres principaux :

- **Chapitre 1 : Généralités sur les moteurs thermiques et les carburants**

Ce premier chapitre expose les notions fondamentales relatives au fonctionnement des moteurs thermiques, ainsi que les différents types de carburants utilisés. Il met en évidence

l'importance croissante des biocarburants comme alternative durable aux carburants fossiles, tout en présentant les bases théoriques nécessaires à la compréhension des études expérimentales menées par la suite.

- **Chapitre 2 : Extraction de l'huile et de production du biodiesel à partir des graines de ricin**

Ce chapitre décrit les procédés expérimentaux utilisés pour extraire l'huile des graines de ricin et pour la transformer en biodiesel. Il détaille les conditions opératoires de la transestérification, les paramètres influençant le rendement de production et les méthodes de caractérisation physico-chimique permettant de valider la qualité du produit obtenu selon les normes ASTM.

- **Chapitre 3 : Caractérisation d'Huile et Biodiesel de Ricin**

Ce chapitre est consacré à resulta d'extraction de l'huile et du biodiesel à partir des noix de ricin collectées dans la zone d'El Oued. On procède ensuite à la caractérisation des deux produits, huile et biodiesel, en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques normalisées et les mettre en parallèle avec les résultats d'études précédentes réalisées sur des amandes de ricin provenant d'autres parties du monde.

- **Chapitre 4 : Valorisation du Biodiesel : Effet sur l'Environnement et Performance du Moteur**

Le dernier chapitre est consacré à l'analyse des effets des principaux polluants générés lors de la combustion du biodiesel et du diesel, notamment les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et le monoxyde de carbone (CO). L'objectif est d'évaluer l'impact environnemental de l'utilisation du biodiesel issu de l'huile de ricin par rapport au diesel conventionnel, et d'identifier les conditions optimales de combustion permettant de minimiser ces émissions. Il présente les essais réalisés avec différents mélanges biodiesel/gazole, et analyse leurs effets sur les performances du moteur, notamment la consommation spécifique de carburant, le rendement énergétique et le comportement global du moteur.

### Référence

- [1] Aboe lazayem, O., El-Gendy, N., Abdel-Rehim, A.A., Fand, A., and Sadek, M.A., *Energy*, 2018, vol. 157, pp. 843–853.
- [2] Hasana, M.M. and Rahman, M.M., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 74, pp. 938–948
- [3] Das, M., Sarkar, M., Datta, A., and Santra, A.K., *Renewable Energy*, 2018, vol. 119, pp. 174–184
- [4] Zareh, P. and Zare, A.A., Ghobadian, B.. *Energy*, 2017, vol. 139, pp. 883–894.
- [5] Bhuiya, M.M.K., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., Ashwath, N., and Azad, A.K., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 55, pp. 1109–1128
- [6] Anand Kumar, S.A., Sakthinathan, G., Vignesh, R., Rajesh Banu, J., and Al-Muhtaseb, A.H., *Fuel*, 2019, vol. 253, pp. 921–929.
- [7] Seffati, K., Esmaeili, H., Honarvar, B., and Esfandiari, N., *Renewable Energy*, 2020, vol. 147, pp. 25–34.
- [8] Upendra Rajak and Tikendra Nath Verma, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2020, vol. 23, pp. 10–20.
- [9] Soares, I.P., Rezende, T.F., Silva, R.C., Castro, E.V.R., and Fortes, I.C. P., *Energy & Fuels*, 2008, vol. 22, pp. 2079–2083.
- [10] Nabel, A., Negm Magdy, A., Shaalan El Barouty, G.S., and Mohamed, M.Y., *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2016, vol. 63, pp. 151–156
- [11] Wang, L. and Yu, H., *Bioresource Technology*, 2012, vol. 112, pp. 355–358
- [12] Algerian Office of National Statistics, <https://www.ons.dz/>.
- [13] Silitonga, A.S., Masjukia, H.H., Hwai Chyuan Ong, Talal Yusaf, Kusumo, F., and Mahlia, T.M.I., *Industrial Crops and Products*, 2016, vol. 85, pp. 274–286
- [14] Omohu, O.J. and Omale, A.C., *European Journal of Biophysics*, 2017, vol. 5, pp. 62–65

# Chapitre 1

Généralité sur le Moteur et le  
Carburant

---

## 1.1 Introduction

Les carburants sont des produits énergétiques employés dans les moteurs à combustion interne. Les véhicules, les machines et d'autres équipements sont alimentés par cette énergie [1]. Différents types de carburants sont employés dans différents domaines : les carburants fossiles (essence, diesel et gaz naturel), les carburants renouvelables ou biocarburants (biodiesel, éthanol et biogaz), les carburants alternatifs (hydrogène, électricité et propane) et les carburants spéciaux (carburacteur et carburants de courses) [2].

Il convient de souligner que les différentes catégories de carburants disponibles peuvent différer selon les régions, les réglementations et les infrastructures de distribution. En outre, de nouvelles études et progrès technologiques continuent d'introduire de nouvelles formes de carburants plus écologiques et novateurs [3].

Les combustibles fossiles sont des énergies naturelles fabriquées à partir de matières organiques stockées dans la Terre depuis des millions d'années. Ils se composent principalement d'hydrocarbure, qui est des ensembles des atomes de carbones et d'hydrogènes. Les carburants fossiles principaux comprennent le pétrole, le gaz naturel et le charbon. Ils sont couramment employés à travers le monde, mais ils comportent de graves désavantages environnementaux, tels que les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au changement climatique.

Étant donné leur influence sur l'environnement et l'épuisement progressif de leurs réserves, il existe un grand intérêt pour développer et adopter des sources d'énergie alternatives et renouvelables afin de diminuer la dépendance aux carburants fossiles [4].

Les biocarburants ont fait leur apparition comme une véritable option. Les produits chimiques enrichis d'énergie, produits directement par les processus biologiques ou dérivés de la conversion chimique de la biomasse d'organismes vivants antérieurs, peuvent constituer une source viable d'énergie renouvelable [5].

La plupart des biocarburants sont fabriqués à partir de bactéries photosynthétiques, de micro-algues, de macro-algues et de plantes terrestres vasculaires. Les biocarburants peuvent se présenter sous différentes formes : gaz, liquide ou solide [6]. D'ici 2050, il est prévu que l'utilisation d'énergies renouvelables augmente considérablement, en raison de la demande

croissante d'énergie et de la diminution progressive des ressources énergétiques non renouvelables [7].

## 1.2 Essence

### 1.2.1 Définition de l'essence

Le mot (essence) est généralement utilisé pour désigner tous les carburants utilisés sur les moteurs à allumage commandé par étincelle, également connus sous le nom de (à explosion), bien que cette dernière appellation ne soit plus couramment employée. En réalité, l'essence est répartie en différentes catégories ou (grades) en fonction de leur indice d'octane. L'essence ordinaire (en anglais : regular) est donc distinguée de supercarburant (premium). La présence ou l'absence d'alkyles de plomb dans ces produits est un autre mode de répartition. En Europe, on désigne le carburant traditionnel sans plomb sous le nom d'Eurosuper. Il peut donc y avoir une variété de types d'essence dans une même station-service : ordinaire ou supercarburants, avec ou sans plomb [8].

Les hydrocarbures présents dans l'essence sont ; les n-alcane ; les isoalcane ; les cycloalcane ; les alcène et les aromatique. La composition de l'essence algérienne présentée dans La Figure (1.1).

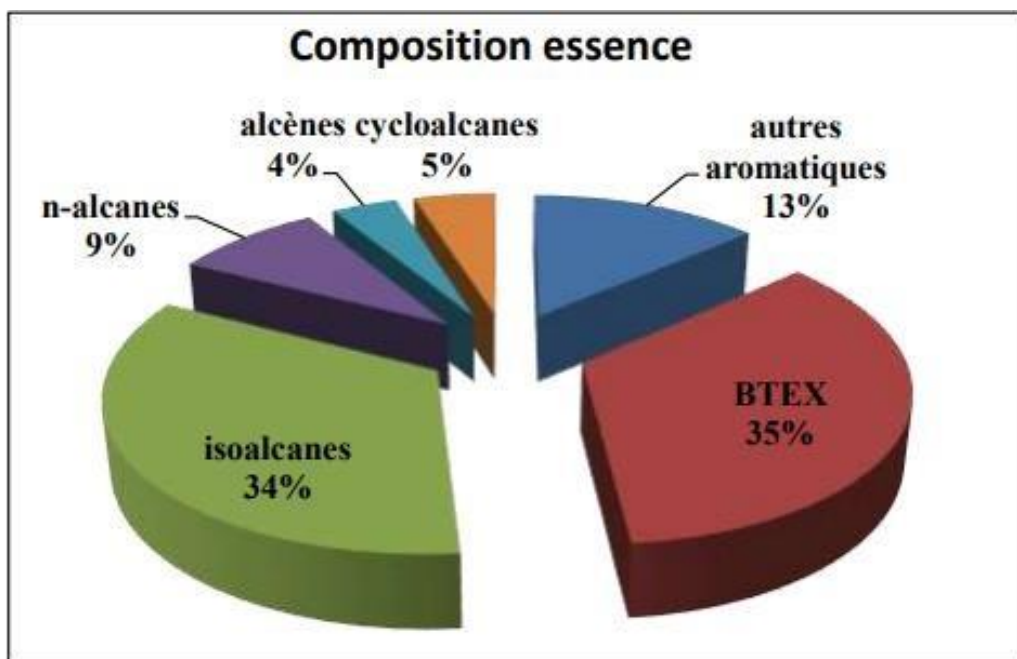


Figure 1.1. Exemple de composition de l'essence Algérienne [9].

L'essence est jaune très pâle, voire transparent. De plus, elle dégage une forte odeur, est aisément inflammable et très volatile.

Les propriétés physiques et chimiques d'essence sont répertoriées dans le tableau suivant (Tableau 1.1).

**Tableau 1.1. Propriétés physiques et chimiques d'essence [9].**

Température de fusion	Température de vaporisation	Solubilité dans l'eau	Masse volumique à 15 °C	Température d'auto inflammation	Limites d'explosivité dans l'air	Pression de vapeur saturante
< -60 °C	25 à 220 °C	De 100 à 250 mg/l	de 680 à 790 kg/m <sup>3</sup>	450 °C	<1,4 % vol > 7,6 % vol	de 350 à 900 hPa

Lorsqu'elle est versée dans l'eau, l'essence se transforme en une phase flottante en surface (partie pure). La solubilisation d'une partie des composés est entraînée. Il est possible que l'évaporation d'une nappe d'essence soit rapide.

## 1.3 Le gaz de pétrole liquéfié (GPL)

### 1.3.1 Définition du (GPL)

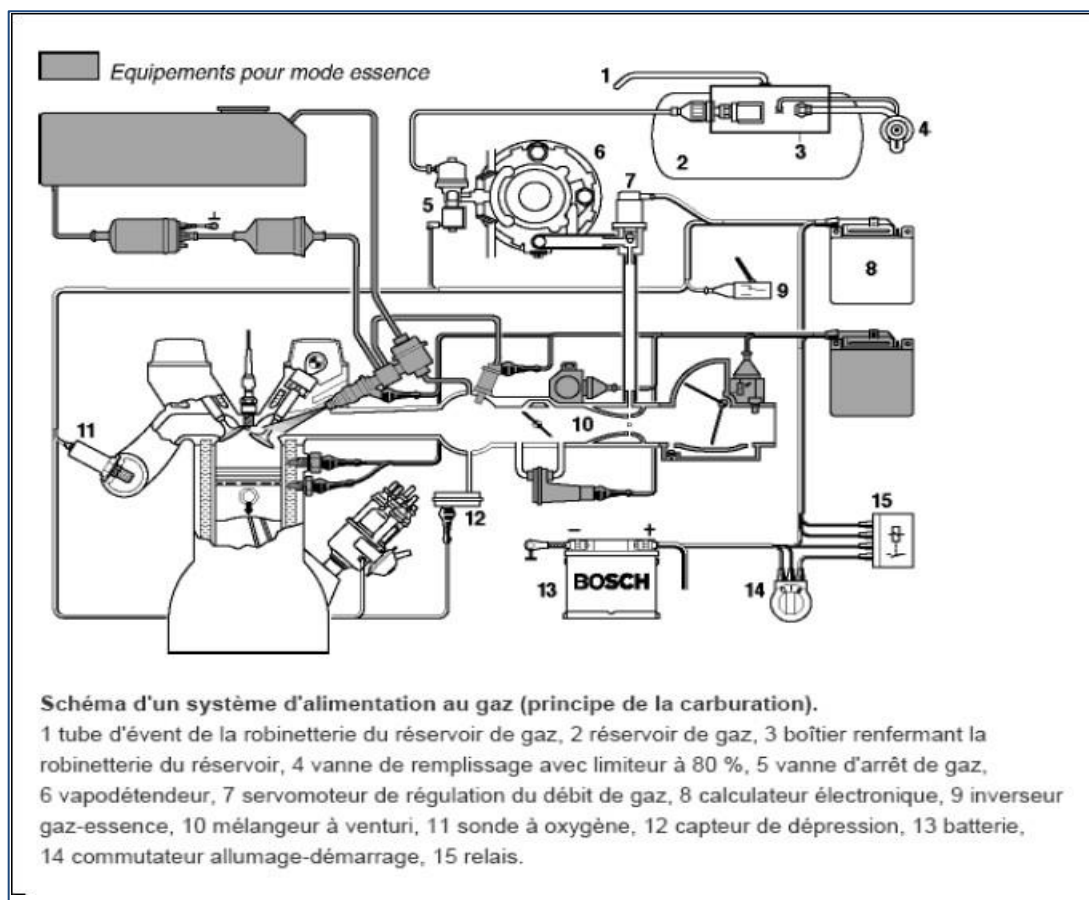
Le gaz de pétrole liquéfié est fabriqué à partir de pétrole brut et de gaz naturel, composé d'un mélange de butane et de propane à 50 %. Il est aisément liquéfié à température ambiante. La moitié du butane et du propane est issue directement des gisements de pétrole brut ou de gaz naturel (surtout en Mer du Nord). La deuxième moitié provient de la transformation du pétrole brut. Le GPL carburant a déjà été largement développé et nécessite peu de modifications techniques pour les systèmes de distribution existants. De plus, les moteurs à essence sont parfaitement adaptés au GPL. Cependant, son usage entraîne un coût supplémentaire pour l'automobiliste en raison de l'installation d'un réservoir supplémentaire spécifique et d'un dispositif de réglage variable en fonction du type de véhicule [10].

Alors que le GNV reste à l'état gazeux lorsqu'il est comprimé à une pression de 200 bars, le GPL se liquéfie à l'état gazeux dans les conditions ambiantes sous une pression de 8 bars à 20°C. Les voitures à GPL sont généralement proposées en bicarburant essence/GPL (Figure

1.2). Afin de préserver la capacité du réservoir d'essence, le GPL est alors conservé à bord du véhicule sous une pression de 10 bars, dans des réservoirs en acier situés dans le coffre du véhicule. Le moteur n'est pas optimisé ni pour l'un ni pour l'autre de ces carburants avec cette solution. Il est essentiel de développer un moteur spécifique afin de respecter les normes d'émissions polluantes, même si les émissions sont inférieures avec le GPL par rapport à l'essence et au diesel. Le GPL ne contient pas de soufre et de benzène, tout comme le GNV. En comparaison avec la norme Euro IV pour les moteurs à essence, les émissions polluantes d'un moteur au GPL sont diminuées de :

- 73% pour les HC,
- 79% pour les NOx,
- 87% pour le CO [11].

En revanche les émissions de CO<sub>2</sub> sont supérieures à celles d'un moteur Diesel de 15-20%.



**Figure 1.2.** Schéma d'un système d'injection multipoint pour bicarburant GPL / essence  
 (Document BOSCH)

## 1.4 Diesel

### 1.4.1 Définition

Le diesel, également connu sous le nom de gazole, est largement employé comme carburant pour les moteurs à allumage par compression.

Le gazole est un liquide blanc ou un peu jaunâtre à une odeur de pétrole.

les gazoles est composée de 2 000 à 4 000 hydrocarbures, dont le nombre des atomes de carbones varie de 11 à 25. Ainsi, le gazole a une lourdeur supérieure à celle d'essence et constitué des produits moins volatils. Il ne renferme pas d'alcènes et se compose principalement de n-alcane et de cycloalcanes [9]. La composition d'un gazole algérien est illustrée dans la Figure (1.3).

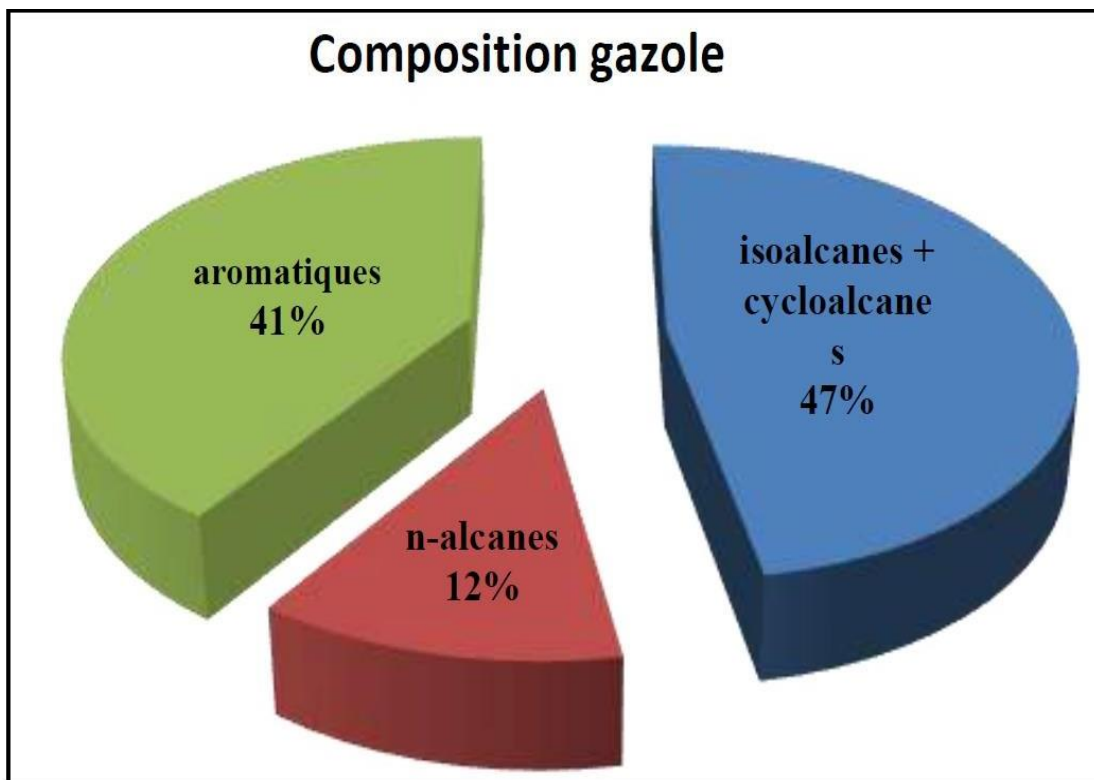


Figure 1.3. Exemple de composition d'un gazole Algérien [9].

À la différence des moteurs à essence, le carburant diesel doit être facile à enflammer afin de garantir un fonctionnement optimal du moteur. L'indice de cétane définit cette capacité d'allumage.

Les propriétés physiques et chimiques des diesels sont répertoriées dans le Tableau (1.2).

Tableau 1.2. Propriétés physiques et chimiques de diesel [9].

Température d'ébullition	Solubilité dans l'eau	Masse volumique à 15°C	Limites d'explosivité dans l'air	Pression de vapeur saturante
170 –390 °C	Très peu Soluble	0,82-0,89 g/cm <sup>3</sup> à 15 °C	Inférieure : 1% vol supérieure : 6% vol	1 h Pa à 20 °C

## 1.5 Biocarburant

### 1.5.1 Définition de biocarburant

Le biocarburant se réclame principalement de ne pas être une énergie fossile et de fournir une énergie renouvelable, ce qui n'a que peu d'impact sur l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'air. Effectivement, pendant sa croissance, la plante utilise la photosynthèse pour consommer une quantité de dioxyde de carbone qui sera produite lors de la combustion du biocarburant. Différentes catégories de biocarburants sont employées, notamment le GNV (gaz naturel véhicule), les alcools et les huiles esters. Les biocarburants liquides se divisent en trois générations en fonction de la matière première utilisée [12].

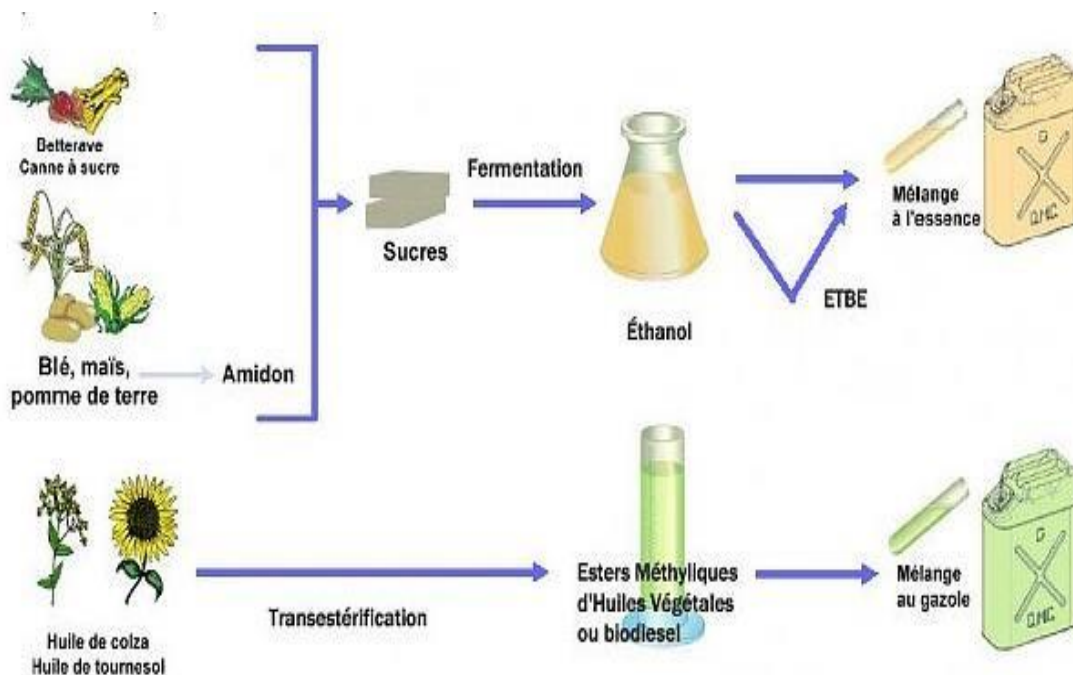


Figure 1.4. Schéma de la production des biocarburants.

## 1.5.2 Biogaz

Il s'agit de combustibles fabriqués en utilisant le méthane présent dans le biogaz. La fermentation anaérobie est le résultat de la fermentation de tout matériau organique tels que les déchets alimentaires, les déchets de bois, la paille, et bien sûr les produits des cultures. Dans la réalité, on obtient ce biogaz en introduisant des matériaux organiques dans une enceinte à l'abri de l'air et en "laissant faire" les bactéries qui vont les décomposer. Ces gaz sont constitués de méthane à 65 %, de CO à 34 % et d'autres gaz à 1 %, tels que le sulfure d'hydrogène et le diazote [13].

### 1.5.2.1 Propriétés du biogaz

Dans les mêmes conditions de température, de pression et de volume, le biogaz est léger que l'air, avec une densité d'environ 0,7 par rapport à l'air. La capacité calorifique du biogaz est influencée par sa teneur en méthane.

Si 70% du biogaz est composé de CH<sub>4</sub> : Le PCI sera de 6,96 kWh/m<sup>3</sup> tandis que le PCS sera de 7,72 kWh/m<sup>3</sup>.

**Tableau 1.3. Principaux composés autres que CH<sub>4</sub> présents dans le biogaz et leurs effets [14].**

Composés	Concentrations	Effets
CO <sub>2</sub>	25 à 50 % en vol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution de la capacité calorifique</li> <li>- Augmentation de l'indice de méthane</li> <li>- Source de corrosion si le gaz contient de l'eau</li> <li>- Dégradation des piles à combustible alcalines</li> </ul>
H <sub>2</sub> S	0 à 1 % en vol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosif pour l'équipement</li> <li>- Source de SO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lors de la combustion</li> <li>- Poison de catalyseurs</li> </ul>
N <sub>2</sub>	0 à 5 % en vol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution de pouvoir calorifique</li> <li>- Augmentation de l'effet cliquetis des moteurs</li> </ul>
H <sub>2</sub> O	1 à 5 % en vol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Source indirecte de corrosion</li> <li>- Source de condensation dans les parties froides pouvant endommager l'instrumentation</li> </ul>

L'odeur typique d'œuf pourri émise par le biogaz est causée par la présence de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) en quantité limitée [15].

### 1.5.3 Biodiesel

#### 1.5.3.1 Définition technique du mot biodiesel

C'est une forme d'ester d'acide gras provenant de matières grasses renouvelables, comme les huiles et les graisses végétales Les animaux conçus pour les moteurs diesel, Cela se produit lorsque l'huile végétale, la graisse animale ou l'huile de cuisson sont réagissant. Le terme biodiesel est également utilisé pour désigner un carburant à 100 % pur qui respecte les normes de qualité internationales. Selon les directives de l'Organisation internationale américaine pour la surveillance de la qualité des matériaux (ASTM) [16].

#### 1.5.3.2 Composition chimique du biodiesel

La formule chimique du biodiesel est généralement R-COOR<sub>1</sub>, où R<sub>1</sub> est le radical méthyle ou éthyle lié au radical d'acide gras COOR. Il est important de noter que R est une chaîne insaturée et peut être saturée ou contenir une ou plusieurs doubles liaisons [17].

## 1.6 Généralités sur les moteurs thermiques.

### 1.6.1 Définition

La fonction des moteurs thermiques est de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique. Et sont habituellement classés en deux catégories .Les moteurs à combustion interne qui nécessitent une refonte du système à chaque cycle. Il n'y a qu'une seule source de chaleur pour le système, l'atmosphère. Cependant, les moteurs à combustion externe recyclent le système (air) sans le renouveler, ce qui nécessite deux sources de chaleur. Par exemple, dans cette dernière catégorie, on retrouve les machines à vapeur et le moteur Stirling [18].

La (figure 1.5) présente les organes d'un moteur thermique.

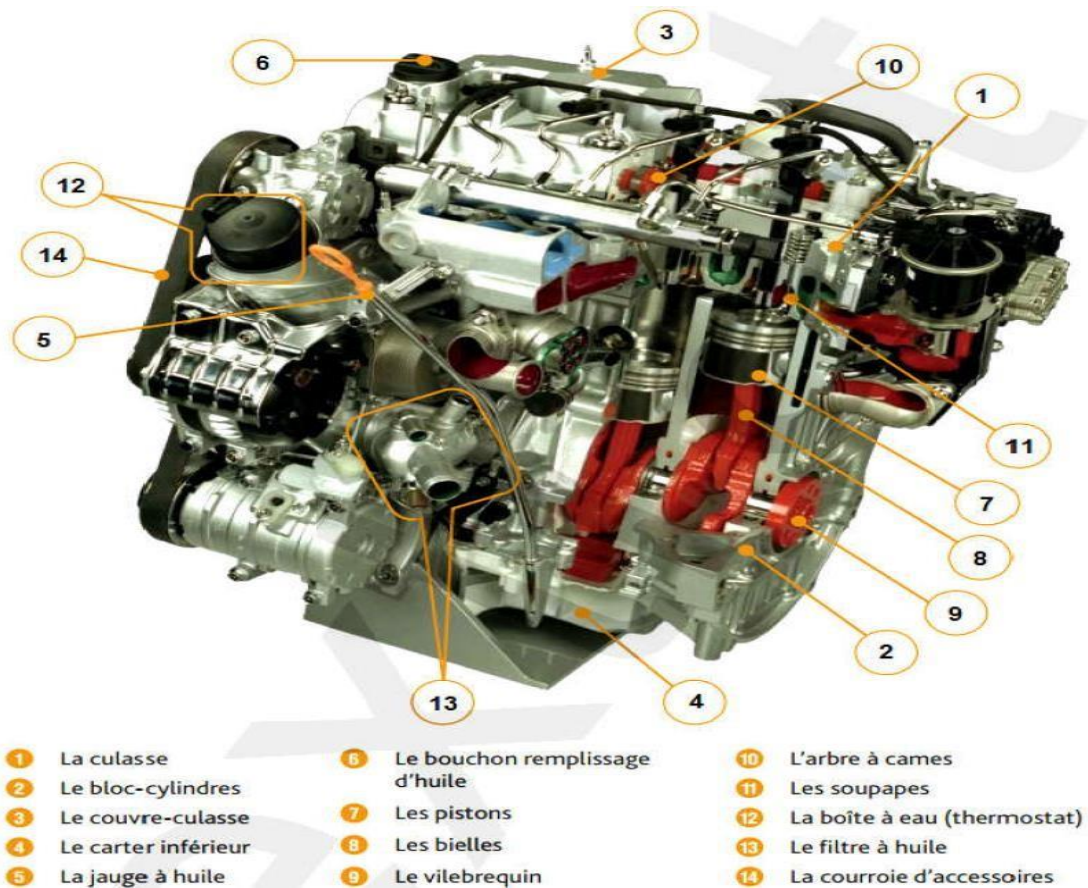


Figure 1.5. Les organes d'un moteur thermique.

## 1.6.2 Historique des moteurs à combustion interne

Le concept du moteur à combustion interne (MCI) à hydrogène est aussi ancien que le moteur à combustion interne lui-même. En 1807, un moteur à combustion interne a été créé par François Isaac de Rivaz de Suisse à partir d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène. Une voiture a été créée pour ce moteur par Rivaz : le premier MCI [19]. En 1820, le premier à proposer l'hydrogène comme carburant pour les moteurs fut le révérend W. Cecil qui tenta de concevoir le moteur à hydrogène [20]. Le premier MCI pratique a été le moteur à allumage commandé à deux temps à disposition horizontale breveté par Etienne Lenoir en 1860 [19, 21]. Le moteur utilise un mélange de gaz d'éclairage et d'air, ce qui lui confère un rendement de 5 %. Ces premiers moteurs étaient produits en quantité relativement limitée [21]. C'est seulement en 1876, lorsque Nicolaus August Otto a mis en marche son premier moteur à quatre temps, que le MCI a connu le développement nécessaire pour devenir la principale source d'énergie mécanique aujourd'hui [21].

Dans les moteurs alternatifs, Rudolf Diesel a développé le concept d'allumage par compression pour résoudre les problèmes de cliquetis, de limitation (à l'époque) du taux de compression à 4 et de prix des carburants [21, 22]. Il avait pour projet initial de fabriquer un moteur qui suivrait le cycle proposé par Sadi Carnot en 1824 [22]. En 1890, Diesel brevetait un nouveau type de MCI où le carburant n'était injecté qu'après compression et où la température de l'air comprimé était suffisante pour faire brûler le carburant [21, 22]. Ce concept récent, le moteur diesel, offrirait des taux de compression bien supérieurs, ce qui entraînerait un rendement accru [21]. Ensuite, le mode dual fuel (DF) a été utilisé pour des applications commerciales plus fructueuses. Les moteurs diesel utilisant des carburants gazeux ne sont donc ni nouveaux ni récents [22].

Cave en 1929 et Helmore et Sokes en 1930 ont mené les premières expériences sur le moteur dual fuel (DF), où la combustion d'hydrogène est utilisée comme carburant secondaire dans les moteurs diesel. Quand l'H<sub>2</sub> brûle entièrement, la quantité de carburant liquide diminue et on économise 20% de carburant diesel. Toutefois, à cette époque, le moteur DF n'était pas commercialisé en raison de sa complexité mécanique et de son fonctionnement irrégulier dû à la combustion anormale (préallumage et cliquetis) à des taux de compression relativement faibles [22-23].

Peu avant et pendant la Seconde Guerre mondiale, l'hydrogène a suscité un intérêt croissant. Prenons l'exemple de Rudolf Erren qui, dans les années 1930, a transformé plus de 1000 véhicules en utilisant de l'hydrogène ou des mélanges hydrogène/essence [20]. À partir de 1933, Norsk Hydro utilise un moteur à combustion interne à l'hydrogène issu du reformage de l'ammoniac [19]. La première injection directe d'hydrogène remonte à 1933, lorsqu'Erren Engineering compagnie suggéra d'injecter l'H<sub>2</sub> sous pression légère dans la chambre de combustion plutôt que d'introduire le mélange air-carburant via un carburateur dans le conduit d'admission. Par la suite, le système breveté était requis par des mécanismes spécifiques d'injection de carburant et de contrôle, mais les autres éléments du moteur étaient conservés. Ce dispositif a réduit le retour de flamme et a favorisé une combustion améliorée avec un rendement accru et une consommation spécifique réduite [19]. Dans les années 1940, Oehmichen a démontré des performances supérieures à 50 % d'un moteur à hydrogène seul [20].

En 1939, National Gas and Oil Engine Co. a fabriqué le premier moteur commercial dual fuel, alimenté par le gaz de ville ou d'autres combustibles gazeux, en Grande-Bretagne. Son processus de conception était plutôt simple. Dans certaines régions, le moteur était

principalement employé dans les installations stationnaires [22-23]. Les chercheurs allemands, italiens et anglais se sont concentrés pendant la Seconde Guerre mondiale sur la possibilité de transformer les moteurs diesel classiques en moteurs fonctionnant en mode dual fuel, en raison de la pénurie de carburants liquides dans les usages civils ou militaires. On a utilisé différents combustibles gazeux : gaz de houille, gaz d'épuration, méthane [22-23]. Malgré une baisse rapide de l'intérêt pour l'hydrogène après la Seconde Guerre mondiale, certaines études sur les véhicules à hydrogène ont continué, notamment celle de R.O. King au Canada [20]. Plus tard, dans les années 1970, pour des raisons économiques et environnementales, notamment la crise pétrolière, la recherche a repris, avec des programmes lancés au Japon, en Allemagne de l'Ouest et aux États-Unis, sur l'utilisation de l'hydrogène dans le transport [20]. À cette époque, les moteurs à double carburant ont été élaborés et employés dans une variété d'applications, allant de la génération d'énergie statique au transport routier et maritime, tels que les camions et les bus de longues et courtes distances [22-23].

En ce qui concerne l'usage du gaz naturel comprimé, il a été utilisé pour la première fois en Italie comme carburant pour véhicules au début de 1930. En 1936, les premiers véhicules à gaz à réservoir de gaz ont été construits en Italie. Mais les années 1970 ont été marquées par une activité importante, avec le GNC qui s'est révélé être un carburant stable et abordable après la crise pétrolière de la fin des années 70 et du début des années 80 [24, 25]. Cependant, les années suivantes et jusqu'en 2000, il a été difficile d'adopter le GNC comme carburant pour les véhicules. Cependant, l'augmentation importante des prix du pétrole après les années 2000 a rendu le marché des véhicules au GN plus attractif, car il est considéré comme le carburant le plus écologique et le moins coûteux. Ensuite, grâce aux avancées technologiques, les véhicules à essence ont intégré le marché du transport dans différentes régions ou pays [24, 25].

Quant aux moteurs à hydrogène, le premier véhicule japonais alimenté par l'hydrogène, Musashi1, a été présenté en 1974 par l'institut de technologie de Musashi, avec un moteur à hydrogène à 4 temps et un stockage à haute pression. Introduit en 1975 sur un moteur 4 temps, le Musashi 2 a été équipé d'une injection d'hydrogène dans le collecteur d'admission en complément d'un stockage liquide. Musashi 3 est un moteur 2 temps à allumage commandé à injection directe d'hydrogène présenté en 1977. En 1979, BMW a présenté son premier véhicule à hydrogène en partenariat avec le DLR [19]. Ces dernières décennies, Mazda, BMW et Mercedes Benz, ainsi que plusieurs chercheurs universitaires, ont publié des études sur

l'hydrogène [20]. Les premières recherches sur le moteur au gaz naturel (GN) enrichi en hydrogène ont été publiées par Collier et ses collègues en 2006 [26].

### 1.6.3 Type des moteurs

#### 1.6.3.1 Moteur à essence

Le système d'allumage commandé du moteur à essence, où la combustion de l'essence est déclenchée par l'étincelle d'une bougie, permet de mélanger l'air et l'essence en deux phases, soit par carburateur, soit par injection. Depuis 1993, tous les nouveaux véhicules vendus en Europe sont propulsés par injection [30].

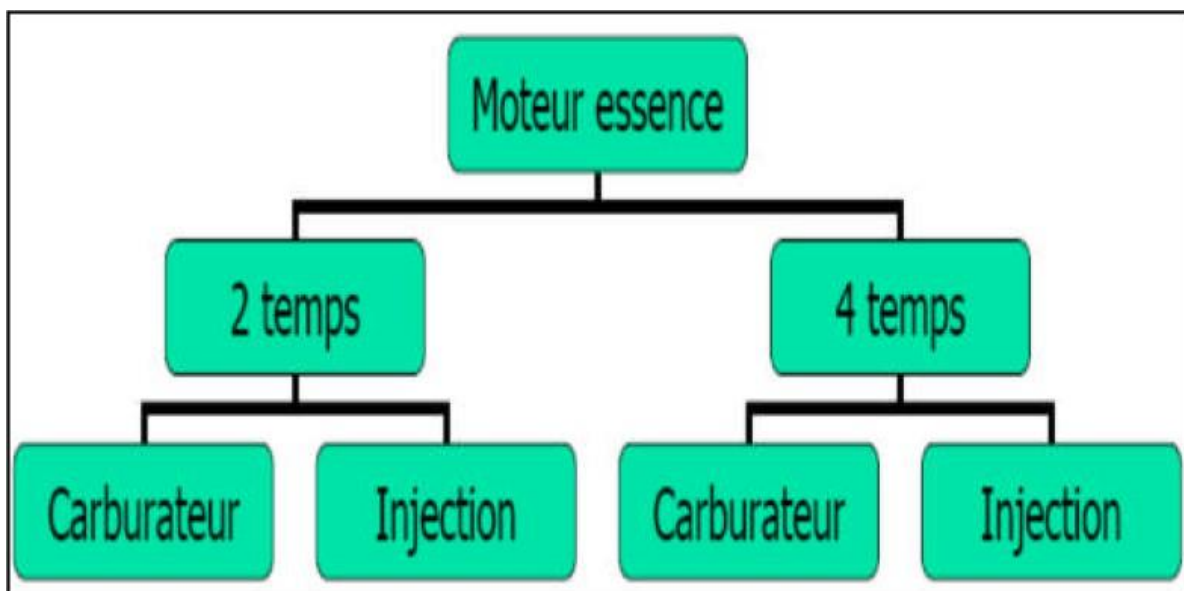


Figure 1.6. Classification des moteurs à essence

#### 1.6.3.2 Moteur diesel

Le moteur diesel est un moteur à combustion interne conçu par Rudolf Diesel au début des années 1900, dont l'allumage n'est pas commandé, mais se produit spontanément par phénomène d'auto-inflammation. L'air est comprimé à une pression allant de 30 à 55 bar (moteurs atmosphériques) ou de 80 à 110 bar (moteurs suralimentés par turbocompresseur) pendant le temps de compression (figure 1.7) et chauffé à une température allant de 700 à 900 °C. Cette température est adéquate pour entraîner une auto-inflammation du carburant injecté peu de temps avant la fin de la compression près du point mort supérieur du piston [27].

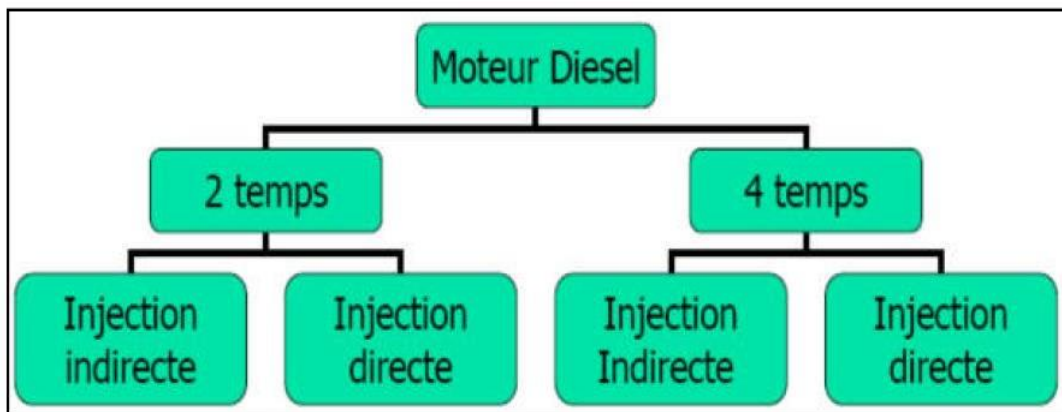


Figure 1.7. Classification des moteurs diesel

## 1.7 Cycle thermodynamique

### 1.7.1 Moteurs à quatre temps

Les deux (02) principaux cycles du moteur à combustion interne peuvent être résumés de la manière suivante :

Cycle de BEAU DE ROCHAS (cycle à apport de chaleur à volume constant) utilisé dans les moteurs à allumage commandés (Fig. 1.8-a).

Cycle diesel pur (cycle à apport de chaleur à pression constante) concerne les moteurs à allumage par compression (Fig. 1.8-b).

Il est possible d'étudier ces cycles en utilisant le diagramme (P, V).

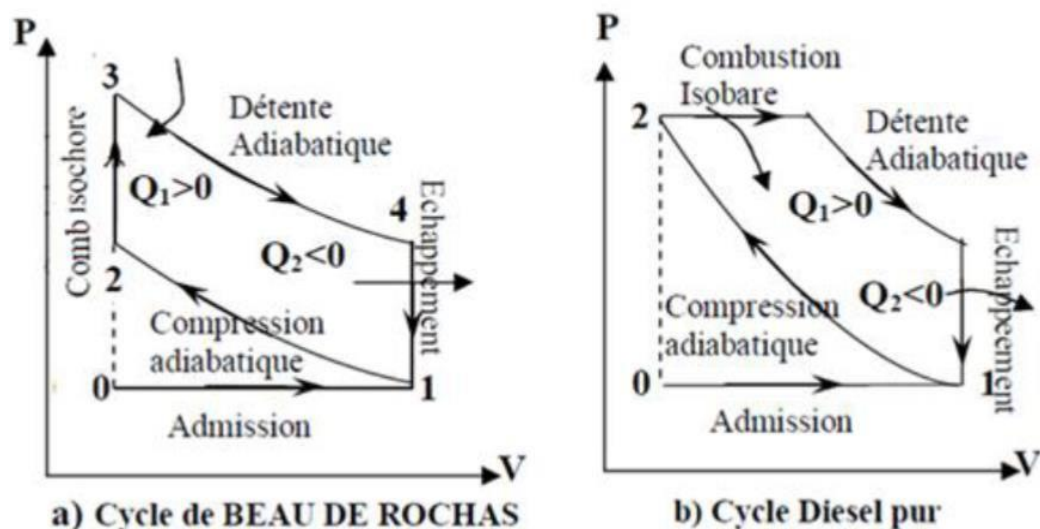
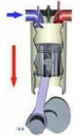


Figure 1.8. Le cycle thermodynamique d'un moteur à combustion interne

Nous utilisons un moteur diesel à quatre temps pour notre étude, ce qui signifie qu'un cycle moteur (qui correspond à une rotation de  $2 \times 360^\circ$ ) comprend les quatre phases suivantes (voir figure 1.9) :

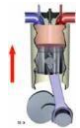
### Admission :

- Le piston descend et la soupape d'entrée s'ouvre.
- Un flux d'air frais pénètre dans le cylindre.



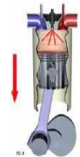
### Compression :

- Le piston remonte lorsque la soupape d'admission se ferme.
- Une fois que le piston est à environ les 9/10ème de sa course, une quantité spécifique de carburant est injectée.



### Détente :

- La fermeture des soupapes.
- Le cylindre contient un mélange d'air et de carburant qui est sous pression.
- Une température adéquate permet à ce mélange de brûler en provoquant une surpression qui pousse le piston vers le bas.



### Echappement :

- L'ouverture de la soupape d'échappement.
- Le piston remonte, entraînant la sortie d'échappement des gaz brûlés [27].

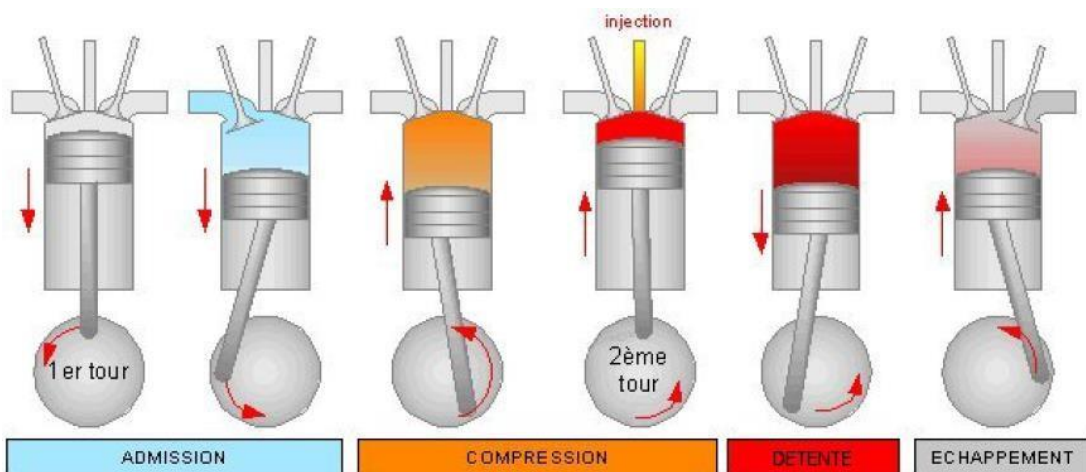
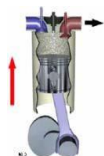


Figure 1.9. Cycle de fonctionnement d'un moteur diesel à 4 temps .

Pour un moteur à quatre cylindres (4 pistons), chaque piston réalise les 4 phases mentionnées précédemment et est décalé de  $180^\circ$  (angle vilebrequin) par rapport au piston proche. Alors que le premier piston termine la phase d'admission, le deuxième termine la phase de compression (début de détente), le troisième termine la phase d'échappement et le quatrième termine la phase d'explosion (début d'échappement).

**Tableau 1.4. Comparaison entre le moteur essence et diesel**

Temps du cycle	Fonctions assurées dans le moteur diesel	Organes en Fonctionnement	Fonctions assurées dans le moteur Essence	Organes en Fonctionnement
<b>1/ Admission</b>	Soupapes d'admission	Soupapes d'admission	Aspiration d'un mélange air/essence préparé et dosé par un carburateur ou un système d'injection	Soupapes d'admission, Carburateur
<b>2/ Compression En fin de course de compression</b>	Injection sous forte pression (100 à 300bars) du combustible qui s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé	Pompe à injection. Injecteur	Compression du mélange 8 à 12 b d'où échauffement à 300 C environ. Rapport volumétrique 1/5 à 1/8 Allumage du mélange par étincelle électrique à la bougie	Allumeur ou magnéto et Bougie d'allumage
<b>3/ Combustion ou explosion</b>	Combustion et Détente		Explosion et Détente	
<b>4/ Echappement</b>	Evacuation des gaz brûlés	Soupapes d'échappement	Evacuation des gaz Brûler	Soupapes d'échappement

### 1.7.2 Moteur à deux temps:

Il n'y a que deux mouvements linéaires du piston dans le cycle à deux temps, alors que les mêmes opérations (admission, compression, combustion/détente et échappement) sont toujours réalisées et le cycle moteur se déroule en un tour au lieu de deux tours du vilebrequin. (Voir la figure 1.10) pour les différentes étapes du cycle deux temps [28].

▶ Tout d'abord (Détente), le piston (5), illustré dans la figure 1.10, se trouve au point mort élevé. La bougie déclenche la combustion tandis que le piston descend en comprimant simultanément le mélange sous le piston. La partie principale du cycle est la détente, le reste du parcours sera influencé par l'inertie générée par cette détente. C'est l'étape de la relaxation. Au moment où le piston descend, l'entrée (6) du mélange dans le carter se referme [29].

▶ Une fois que le piston est proche du point mort bas (Admission et échappement), il ouvre les lumières d'échappement (2) et d'arrivée du mélange dans le cylindre (3) : le mélange pénètre dans le cylindre et chasse les gaz de la combustion (zone 1). Cela correspond à l'étape d'admission - échappement.

▶ Lorsque le piston remonte (Compression), il comprime le mélange dans le cylindre. Pendant ce temps, il fermera l'échappement (2) et l'entrée du mélange dans le cylindre (3), tout en créant une dépression dans le carter (4) qui permettra l'entrée du mélange air-essence par la soupape d'arrivée (6), dont l'entrée a été libérée par la position du piston près du point mort haut. Cette étape correspond à la phase de compression. Une fois que le point mort haut est à nouveau atteint, le cycle peut reprendre à partir du premier point.

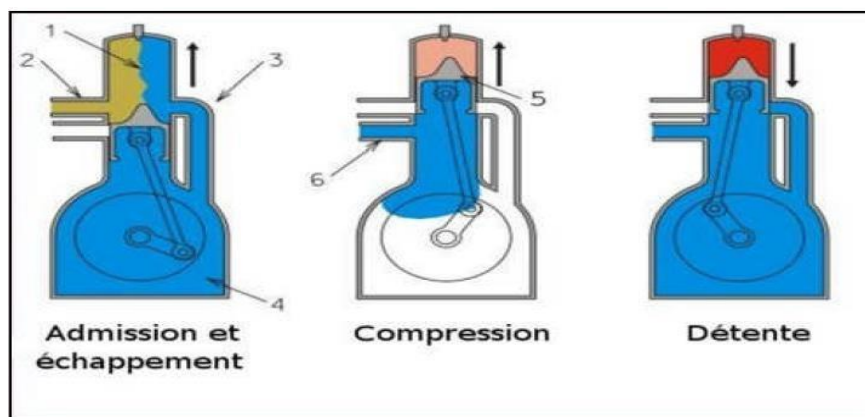


Figure 1.10. Moteur à deux temps

## 1.8 Rendement volumique

Un cylindre agit comme une pompe de volume. Par conséquent, à la fin de chaque cycle, le cylindre capte idéalement une quantité de gaz correspondant à la variation de volume due au mouvement du piston entre le PMH et le PMB, multipliée par la densité des gaz présents dans le réservoir d'entrée. De nombreux éléments tels que les limitations de flux engendrées par les soupapes d'admission, la rencontre entre les soupapes d'admission et d'échappement (voir figure 1.11) et les gaz résiduels (une partie des gaz brûlés qui reste dans les cylindres) participent à la diminution de ce poids théorique souhaité [31]. La formule suivante exprime la masse réelle des gaz aspirés par le cylindre en fonction du rendement volumique du moteur, qui est habituellement supérieur à 0,8.

$$m_{cyl} = \eta_{vol} \rho V_d \quad (1-1)$$

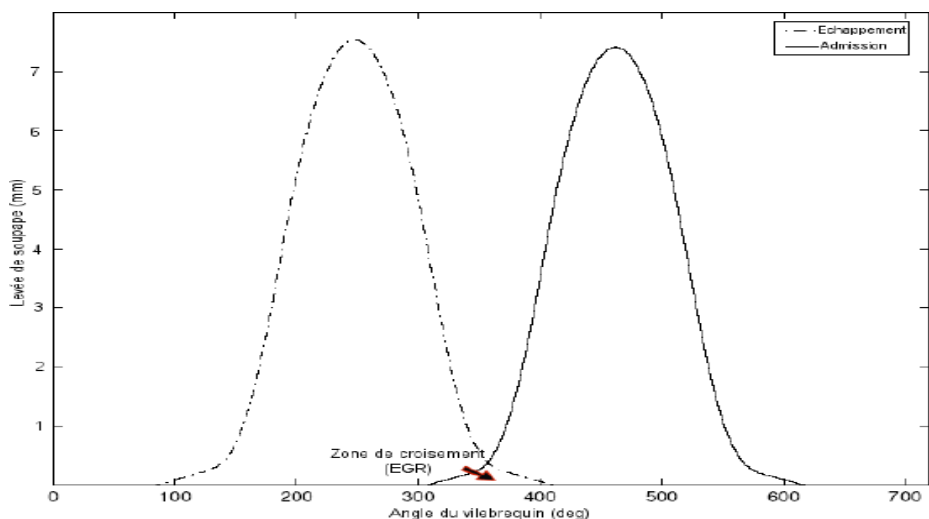
Où :

$m_{cyl}$  est la masse réelle aspirée.

$\eta_{vol}$  est le rendement volumique.

$\rho$  est la densité des gaz dans le collecteur d'admission.

$V_d$  est le volume situé entre le *PMH* et le *PMB* du cylindre.



**Figure 1.11.** Courbes de levées théoriques des soupapes d'admission et d'échappement, ligne pointillée pour l'échappement et ligne continue pour l'admission.

## 1.9 Pertes de pompage

Généralement, la pression d'entrée est plus basse que celle d'échappement dans les moteurs à combustion interne. Le moteur, qui est perçu comme une pompe volumique, sert à comprimer les gaz en les conduisant du réservoir d'admission vers celui d'évacuation. Il est évident que ce transfert nécessite de l'énergie mécanique qui est extraite directement du vilebrequin du moteur concerné.

## 1.10 Rendement de la combustion

Le rendement de la combustion, qui varie entre 0 et 1, désigne la proportion d'énergie chimique du carburant convertie en travail mécanique bénéfique pour le vilebrequin du moteur. Cette performance change en fonction de la charge du moteur et de son mode fonctionnement. Le rendement de combustion des moteurs diesel est généralement compris entre 0,3 et 0,4.

## 1.11 Emissions polluantes

En fonction des conditions de combustion, le moteur diesel a la capacité d'expulser des gaz présentant diverses compositions chimiques. Dans l'idéal, lorsque la combustion diesel est totale, c'est-à-dire que tout le carburant et l'oxygène nécessaires pour une réaction chimique de combustion équilibrée sont exploités. Les seuls rejets seraient de la vapeur d'eau ( $H_2O$ ) et du dioxyde de carbone ( $CO_2$ ). En réalité, la combustion n'est jamais complète, ce qui augmente le nombre d'éléments gazeux ou solides que le moteur diesel libère dans l'atmosphère.

Voici les polluants dont la régulation du rejet est mise en place par les institutions gouvernementales en Europe :

- les hydrocarbures imbrûlés (*HC*),
- les oxydes d'azote (*NO<sub>x</sub>*),
- le monoxyde de carbone (*CO*),
- les particules solides (*PS*) sous forme de fumées noires.

Le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), qui contribue à l'effet de serre dans le domaine des transports, est toutefois soumis à un objectif de réduction par les constructeurs européens.

On mesure habituellement les émissions de moteurs automobiles sur des bancs rouleaux pendant des périodes de conduite standardisées (NEDC, EUDC...) et on les exprime en grammes par

kilomètre. L'évolution des normes antipollution en Europe (EURO1... EURO4) au cours des vingt dernières années (est illustrée dans la figure 1.12) [32].

Pour combattre les émissions polluantes des moteurs diesel, diverses solutions sont suggérées par les constructeurs automobiles en Europe :

### 1.11.1 La réduction de la pollution à la source :

Le processus est effectué à la source dans la chambre de combustion. L'objectif est d'améliorer les combustions classiques en utilisant de nouvelles technologies (injection, suralimentation, recyclage des gaz d'échappement...) ou en adoptant de nouvelles méthodes de combustion homogène (HCCI).

### 1.11.2 Le post-traitement des émissions :

C'est la phase où les gaz d'échappement, entre le moteur et le pot d'échappement, sont transformés pour produire des émissions moins polluantes. Deux méthodes principales permettent de procéder au post-traitement des émissions :

- Le pot catalytique, principalement responsable de la transformation des CO, HC et NO<sub>x</sub>, contribue également à diminuer les particules de suie.
- Le filtre à particules, qui conserve les particules et les brûle régulièrement (environ tout 500 km) dans des conditions totalement contrôlées.

On développe actuellement de nouvelles technologies pour optimiser davantage le traitement des émissions, notamment les pièges aux oxydes d'azote.

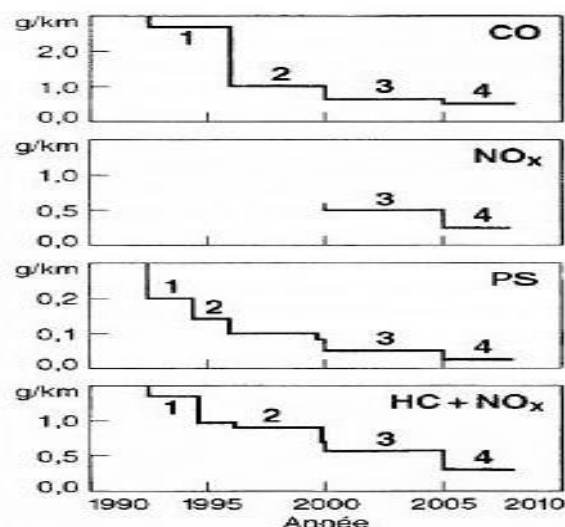


Figure 1.12. Valeurs limites d'émission en Europe pour voitures à moteur diesel.

## 1.12 Avantages et inconvénients des moteurs diesel :

Les désavantages des moteurs diesel initialement plus lourds, plus bruyants et moins performants ne sont plus présents dans les véhicules contemporains grâce notamment au turbocompresseur variable en géométrie et à la rampe d'injection commune. Cependant, certaines difficultés demeurent, en particulier la production de particules polluantes et d'oxydes d'azote. Bien que la gestion des particules soit désormais plus efficace grâce à une optimisation du moteur, le recours à un filtre à particules est relativement onéreux.

Il sera probablement plus compliqué de résoudre le problème des oxydes d'azote, car ils se produisent en présence d'oxygène aux températures importantes et pour un rendement optimal. Il apparaît donc compliqué de réduire les NOx sans affecter le rendement des moteurs, cependant ce dernier influence directement la production de gaz carbonique qui contribue à l'effet de serre.

- Le succès du moteur diesel dans le domaine automobile est principalement attribué à sa performance supérieure par rapport au moteur à essence et à sa faible consommation de carburant. L'utilisation d'un turbocompresseur à géométrie variable, qui augmente la performance du moteur diesel en basse régime, et un dispositif d'injection directe à haute pression, pourrait également optimiser ce rendement.

Initialement perçu comme un moteur « sale » en raison de son carburant moins sophistiqué, du bruit considérable et des fumées noires qu'il générerait, le diesel a grandement progressé : il est désormais extrêmement efficace pour la pollution atmosphérique et sonore [17].

## 1.6 Conclusion

Face aux enjeux liés à une pénurie ou un surplus de production de pétrole, nous avons observé qu'il y a diverses options. Certaines recourent à des ressources fossiles (GNV, GPL, GTL, CTL), et seront par conséquent confrontées aux mêmes enjeux à court ou moyen terme. Elles offriront néanmoins la meilleure option pour repousser ces échéances.

Certaines options se contentent de minimiser l'utilisation de carburant et les rejets polluants des automobiles, à l'image de la technologie hybride. Elles paraissent être une solution temporaire en attendant l'instauration de nouvelles énergies.

Des énergies renouvelables telles que l'électricité et l'hydrogène ne peuvent être considérées comme des ressources en soi, mais plutôt comme des porteuses d'énergie. Leurs avancées sont étroitement associées aux défis technologiques à surmonter.

D'autres options reposent sur l'élaboration de nouvelles ressources telles que les biocarburants, néanmoins elles ne pourront pas remplacer intégralement le pétrole en raison de la demande énergétique, mais serviront plutôt à enrichir le panel énergétique actuel.

Finalement, en plus des obstacles technologiques, c'est aussi la manière dont nous exploitons l'énergie qui doit être réexaminée, car on peut observer une multitude de gaspillages qui seraient pourtant faciles à éviter [11].

## References

- [1]. Luque, R., Herrero-Davila, L., Campelo, J. M., Clark, J. H., Hidalgo, J. M., Luna, D., ... & Romero, A. A. (2008). Biofuels: a technological perspective. *Energy & Environmental Science*, 1(5), 542-564.
- [2]. Kabar, S., & Kadja, M. (2006). Etude numérique de l'effet du type de carburant sur les émissions polluantes dans un moteur.
- [3]. Nuhu, A. A. (2013). Bio-catalytic desulfurization of fossil fuels: a mini review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 12, 9-23.
- [4]. Arshad, M., Bano, I., Younus, M., Khan, A., & Rahman, A. (2018). Health concerns associated with biofuel production. *Perspectives on water usage for biofuels production: aquatic contamination and climate change*, 97-105.
- [5]. Barnard, D., Casanueva, A., Tuffin, M., & Cowan, D. (2010). Extremophiles in biofuel synthesis. *Environmental technology*, 31(8-9), 871-888.
- [6]. Stančin, H., Mikulčić, H., Wang, X., & Duić, N. (2020). A review on alternative fuels in future energy system. *Renewable and sustainable energy reviews*, 128, 109927.
- [7]. Khiari, K., Awad, S., Loubar, K., Tarabet, L., Mahmoud, R., & Tazerout, M. (2016). Experimental investigation of pistacia lentiscus biodiesel as a fuel for direct injection diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 108, 392-399.
- [8]. Guibet, J. C. (1997). *Carburants et moteurs. Tome 1 (Vol. 1)*. Editions TECHNIP.
- [9]. kahlouche, h. (2022). étude de comportement mécanique des argiles sous l'effet des produits chimiques (doctoral dissertation).
- [10]. Chorazewiez, S. (1998). Modélisation de la demande de carburant appliquée à l'Europe (Doctoral dissertation, Dijon).

- [11]. Alkadee, D. (2011). Techniques de réduction et de traitement des émissions polluantes dans une machine thermique (Doctoral dissertation, Conservatoire national des arts et métiers-CNAM).
- [12]. Wertz, J. L. (2010). Une étude sur Le bioraffinage out valorisation optimale de la biomasse. ValBiom, Belgique.
- [13]. HANTSON, A., & THOMAS, D. (2010). Enjeux technologiques et écologique majeurs des biocarburants. Congrès français de thermique, Rue de l'épargne, 56-7000.
- [14]. de La Farge, B. (1995). Le biogaz: procédés de fermentation méthanique. Masson.
- [15]. Almansour, E. (2011). Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz: Approche par filière-type (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).
- [16]. Glasser, W. G., & Sarkanen, S. (1989). Lignin: properties and materials (Vol. 397). Washington, DC: American Chemical Society.
- [17]. Goldstein, I. S. (Ed.). (1981). Organic chemicals from biomass (Vol. 310). Boca Raton, FL: CRC press.
- [18 ]. KERBOUA, B. (2000). Modélisation des caractéristiques mécaniques du moteur thermique alternatif en régime instationnaire (Doctoral dissertation, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid).
- [19]. Verhelst, S., & Wallner, T. (2009). Hydrogen-fueled internal combustion engines. Progress in energy and combustion science, 35(6), 490-527.
- [20]. Al-Dabbas, M. A., & Al-Rousan, A. A. The Simulation of Using Hydrogen Fuel in Gasoline Internal Combustion Engines. fuel, 12, 19.
- [21]. Königsson, F. (2012). Advancing the limits of dual fuel combustion (Doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology).
- [22]. Sahoo, B. B. (2011). Clean development mechanism potential of compression ignition diesel engines using gaseous fuels in dual fuel mode.
- [23]. Abd Alla, G. H., Soliman, H. A., Badr, O. A., & Abd Rabbo, E. M. (2000). Effect of pilot fuel quantity on the performance of a dual fuel engine. Energy Conversion and Management, 41(6), 559-572.

- [24]. Khan, M. I., Yasmin, T., & Shakoor, A. (2015). Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 785-797.
- [25]. Alrazen, H. A., & Ahmad, K. A. (2018). HCNG fueled spark-ignition (SI) engine with its effects on performance and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 324-342.
- [26]. Gharehghani, A., Hosseini, R., Mirsalim, M., & Yusaf, T. F. (2015). A computational study of operating range extension in a natural gas SI engine with the use of hydrogen. *International Journal of hydrogen energy*, 40(17), 5966-5975.
- [27]. Sabe, Z. (2006). Diagnostic à base de modèle: application à un moteur diesel suralimenté à injection directe (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL).
- [28]. Brun, R. (1981). Science et technique du moteur diesel industriel et de transport. Tome 1. Éditions technip.
- [29]. R. Brun, cours « Moteurs thermiques, » Edition castilla-Paris Tom 1 et Tom 2, Année 1992.
- [30]. G.Maillard, Technologie de l'automobile, juin 1986.
- [31]. Bengtsson, H. (2002). Modelling of volumetric efficiency on a diesel engine with variable geometry turbine. Master's thesis LiTH-IBIYEX-3379, Department of Electrical Engineering, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden.
- [32]. R. Bosch. Mémento de Technologie Automobile. Stuttgart, 2000.

# Chapitre 2

Etude Expérimental de  
Production de Biodiesel :  
Préparation et Extraction

---

## **2.1 Introduction :**

En 1912, Rudolf Diesel a exprimé de manière préventive : « L'utilisation des huiles végétales comme carburant automobile est désormais insignifiante », Cependant, à l'avenir, ces huiles pourraient prendre une importance aussi significative que le pétrole ou le charbon actuellement [1].

Le concept du biodiésel n'est pas récent. Dès 1900, Rudolf Diesel, l'inventeur du moteur à allumage par compression appelé « Diesel », avait commencé à utiliser de l'huile végétale (huile d'arachide) dans son moteur [2]. En 1916, le premier moteur diesel en Argentine a utilisé de l'huile de ricin [3]. En 1928, Gauthier, un ingénieur français, a introduit l'utilisation d'huiles végétales dans les moteurs diesel [4]. De nos jours, en raison de la pénurie mondiale de carburants fossiles, de l'augmentation des prix du pétrole brut et des inquiétudes environnementales visant à diminuer la pollution et les émissions à effet de serre, l'intérêt pour l'utilisation des huiles végétales a été renforcé à travers le monde. Toutefois, l'augmentation de la viscosité des huiles végétales et leur faible volatilité perturbent la combustion interne et provoquent une atomisation incorrecte du carburant et une obstruction des injecteurs. Ainsi, ces huiles ont été employées après avoir été transformées par réaction de transestérification en esters d'huile végétale, plus communément appelés biodiésel [2].

Deux voies principales peuvent être utilisées pour catalyser la réaction de transestérification : la chimie et l'enzymologie, Dans le processus de production du biodiésel, la réaction de transestérification est catalysée par un acide ou une base en utilisant un alcool léger comme accepteur d'acyle. Même si cette réaction a un rendement élevé, elle présente de nombreux désavantages tels que la réaction se produit à des températures et des pressions élevées, ce qui entraîne la formation de produits secondaires indésirables [5]. De plus, il est complexe de récupérer le glycérol et le solvant, de supprimer les sels minéraux et l'eau du produit, ainsi que de traiter les eaux alcalines utilisées [6]. Toutefois, en utilisant des enzymes, il est possible de surmonter toutes ces difficultés, De cette manière, elle nous donne la possibilité de fabriquer des esters alkyles à partir d'huiles végétales en évitant les impuretés et en évitant tout gaspillage d'énergie [7]. Dans cette étude, on examine la fabrication de biodiesel à partir d'huile de ricin en utilisant de l'éthanol-alcool comme solvant et de l'hydroxyde de potassium comme catalyseur de réaction, avec une température de réaction de 60 degrés Celsius.

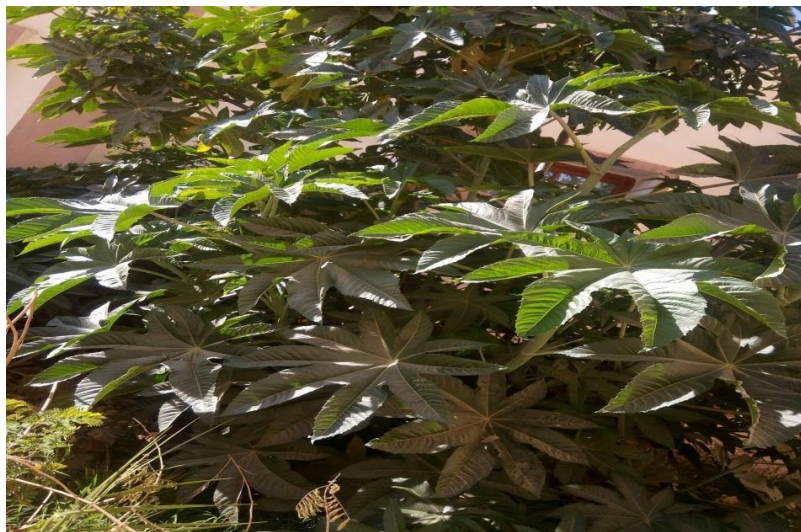
## **2.2 Ricin (*Ricinus communis* L)**

### **2.2.1 Botanique de plante de ricin**

Le terme latin générique *Ricinus* signifie « tique » : la graine est ainsi appelée en raison de ses marques et de sa bosse qui la rendent similaire à certaines tiques [8].

#### **2.2.1.1. Plante de ricin**

*Ricinus communis* est une espèce de plantes de la famille des Euphorbiaceae, appelée Kharouaa en arabe. Le ricin est originaire d'Orient et se rencontre en Grande-Bretagne, en Ouest de la France, en Inde et au Brésil. Il fournit l'huile de ricin, utilisée dans différentes industries, ainsi que la ricine, un poison [9].



**Figure 2.1. : plant de ricin.**

#### **2.2.1.2. Feuilles**

Ils sont alternes, mesurant parfois plus d'un pied, palmés de 7 à 9 lobes, glabres, vertes glauques, avec une veine médiane rougeâtre, dentées irrégulièrement, rouges à leur développement, et sont portées vers leur sommet par de longs et forts pétioles glanduleux [10].



**Figure 2.2** : Feuilles du plant de ricin.

### **2.2.1.3. Fèves (grains) de ricin**

Les graines de ricin (*Ricinus communis*) jouent un rôle crucial en tant que graines oléagineuses. Elles renferment environ 50% d'huile et 18% de protéines [11].



**(a)**

**(b)**

**Figure 2.3** :(a) les fruits de ricin et (b) les graines de Ricin.

### 2.2.2 Cultivation du ricin

Le ricin est cultivé à l'échelle mondiale sur une superficie de 12 600 km<sup>2</sup>, avec une production annuelle de graines de 1,14 (mt) et un rendement moyen de semences de 902 (kg/ha) [12].

### 2.2.3 Huile de ricin

La production d'huile de ricin provient des graines de *Ricinus communis* L, une espèce principalement tropicale qui se développe naturellement dans différentes régions géographiques. Elle représente entre 35 % et 55 % du poids des graines. Il s'agit d'un liquide visqueux d'un ambre pâle, parfois appelé l'huile de Ricinus. L'huile brute de ricin est d'un jaune pâle de paille ou d'un jaunâtre léger. Il dégage une odeur distincte après le raffinage et le blanchissement, mais elle peut être facilement éliminée lors du processus de raffinage [13].



**Figure 2.4 : L'huile de ricin.**

### 2.2.4 Tourteaux de ricin

Le tourteau de ricin est le résidu solide obtenu après la transformation des graines en huile de ricin. Il s'agit d'un engrais azoté naturel, à 100 % issu de plantes, riche en oligo-éléments et en matières organiques [14].



**Figure 2.5 : Tourteaux de ricin**

### **2.2.5 Domaines d'applications**

L'huile de ricin est utilisée dans de nombreux produits, dans des domaines très variés.

- **Pharmacologie** : Il s'agit probablement de la plus ancienne application. Effectivement, l'huile de ricin est un purgatif extrêmement efficace, et elle fait partie intégrante de divers traitements.

- **Cosmétologie** : En général, les produits cosmétiques sont fabriqués à partir d'une base lipidique. On utilise fréquemment l'huile de ricin pour sa tenue, sa souplesse et sa résistance (comme dans le rouge à lèvres, par exemple) [15].

- **Lubrification** : Le pouvoir de lubrification de l'huile de ricin est remarquable et a une durée de vie prolongée. Elle contribue à l'amélioration des caractéristiques mécaniques. Cependant, elle n'est pas très résistante aux hautes températures. C'est la raison pour laquelle il est principalement utilisé pour les boîtiers de transmission (motoculteurs...) ou pour être incorporé dans des produits de synthèse de qualité supérieure (huile moteur spécifique) [16].

- **Fibres Nylon** : La société ELF ATOCHM a développé une méthode pour fabriquer une fibre nylon (RILSAN B) à partir d'huile de ricin. Ce produit demeure indispensable à travers le monde, en raison de ses caractéristiques remarquables : Résistance mécanique élevée, flexibilité, excellente résistance à une grande variété de températures (de 40°C à +130°C). Les conduites d'air comprimé, les canalisations pour le freinage des poids lourds, les colliers de serrage pour les gaines électriques, les fibres pour les brosses, les chaussures de ski, etc. sont ainsi fabriqués.

- **Polyuréthannes** : La généralisation de l'utilisation de polyuréthane dans la production de vernis, de peintures, etc. Aux États-Unis, l'huile de ricin est utilisée dans la production de

divers produits. Ces opportunités se développent de plus en plus en Europe. Grâce à la solidité des produits, il est possible de les appliquer en couches fines et régulières, tout en maintenant une résistance mécanique adéquate [17].

### **2.2.6 Composition et toxicité**

La plante semble toxique dans son ensemble en raison de la présence d'une lectine glycoprotéique : le ricin. Les graines contiennent la plus grande quantité de ricin, ainsi que des protéines, de l'eau et des lipides.

La richesse de l'huile présente dans ces graines est due à la présence de l'acide ricinoléique. Le Ricin produit entre 1200 et 2000 litres d'huile par hectare et par an. L'huile de ricin renferme de l'acide ricinoléique qui modifie la muqueuse intestinale et entraîne des pertes significatives d'eau et de sels minéraux, ce qui explique son effet purgatif intense et irritant. Le ricin est une toxine puissante qui se trouve dans la plante et les graines [18].

## **2.3 Extraction de l'huile**

L'extraction est une méthode ancienne employée pour extraire des produits alimentaires, pharmaceutiques ou odoriférants des plantes et de certains organes d'animaux, que ce soit sous forme de breuvages, de drogues ou de parfums [19]. Dans le cas des produits végétaux, l'extraction par solvant utilise généralement l'eau, les alcools, les solvants chlorés et/ou organiques tels que l'hexane ou le mélange chloroforme-méthanol.

Ensuite, on utilise principalement deux méthodes pour extraire l'huile, en fonction de la quantité d'huile : le pressage mécanique et/ou l'extraction par solvant. En premier lieu, les graines qualifiées de "riches" en huile (avec une teneur en huile supérieure à 20 %, comme le colza ou le tournesol [20]) sont triturées par pressage mécanique. Ce procédé offre la possibilité de récupérer une huile de haute qualité, mais elle demeure incomplète (20 % de matière grasse résiduelle dans le tourteau de pression) et nécessite une extraction solide/liquide à l'hexane pour être finalisée.

Après les prétraitements mentionnés précédemment, les graines végétales classées comme "pauvres" en huile (avec une teneur en huile inférieure à 20 %, comme le soja [21] ou le coton)

sont traitées directement par extraction au solvant. Cette extraction récente permet une récupération presque totale (> 97 %) de l'huile présente dans tous les types de graines.

Plusieurs techniques d'extraction sont particulièrement adaptées aux lipides des matières végétales. Tout d'abord, on mentionne le pressage à plaque ou à vis. Il est également important de prendre en compte l'extraction par Soxhlet, l'extraction assistée par micro-ondes et/ou ultrason, l'extraction par fluide supercritique, etc. comme des méthodes d'extraction par solvant [19].

### 2.3.1 L'extraction mécanique par pressage :

La méthode de pressage mécanique est la moins abordable et la moins invasive. Le fonctionnement de cette méthode repose sur l'évacuation de l'huile de la graine par compression. Ce genre d'activité génère des processus naturels tels que la compression du tourteau causée par l'augmentation de la pression dans les pores, ce qui entraîne un déshuilage par drainage. On peut diminuer la taille du gâteau jusqu'à ce que sa porosité soit trop faible et résistante à l'écoulement. La production d'huile est appelée huile brute de pression.

Au niveau industriel, le processus de pressage est réalisé à l'aide de presses à vis continues (Figure 2.6). Le fonctionnement est basé sur une diminution du volume qui provoque l'évacuation de l'huile par une augmentation de la pression.

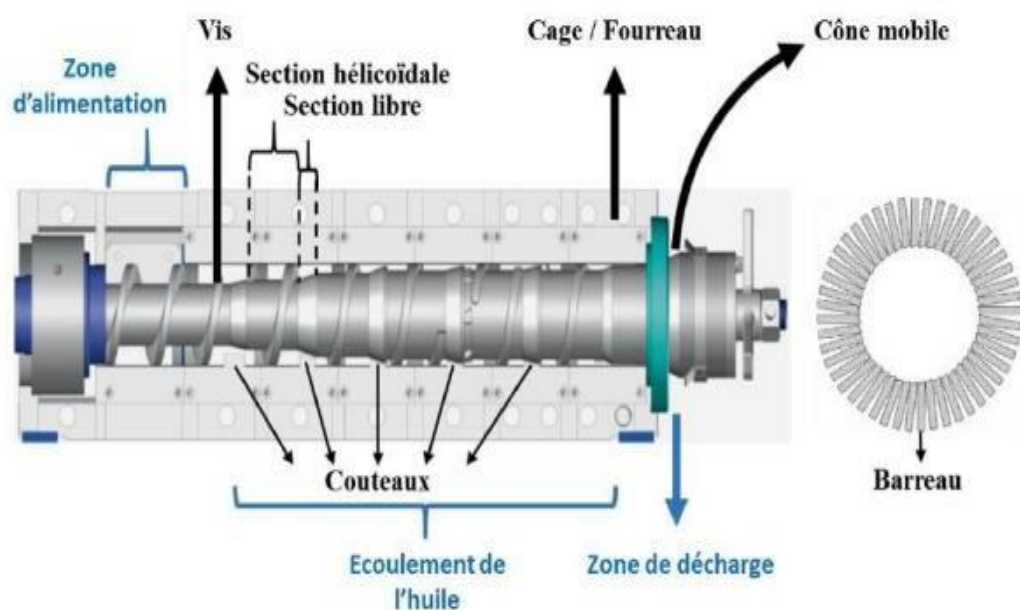


Figure 2.6 : Représentation schématique d'une presse à vis [22].

Les propriétés des graines (humidité, granulométrie, prétraitements) et les conditions opératoires (vitesse de rotation, température) influencent le rendement en huile de l'extraction mécanique. Le pressage à froid permet généralement d'extraire environ 70-80 % de l'huile présente dans les graines. Cela donne lieu à un tourteau gras qui renferme encore 20 % de matières grasses. Un excellent rendement mécanique serait défavorable à l'outillage industriel. L'utilisation de l'équipement de cette manière serait économiquement défavorable.

Comme l'extraction mécanique permet l'incorporation de particules fines dans l'huile, représentant 10 à 15 % de sa masse [23], qui sont riches en enzymes endogènes (lipases), il est essentiel de procéder à une étape de clarification afin de garantir une bonne conservation de l'huile. En général, on procède à la clarification en deux étapes, d'abord par tamis, puis par filtres ou décanteurs [20]. Ensuite, le tourteau est extrait à l'hexane afin d'extraire l'huile résiduelle.

### 2.3.2 L'extraction par soxhlet

Longtemps utilisée, l'extraction par soxhlet est une méthode classique et la principale référence pour évaluer les performances d'autres méthodes d'extraction solide-liquide. Cette méthode d'extraction a été initialement décrite par Franz von Soxhlet en 1879 afin de mesurer la teneur en lipides du lait [24 ,25,26] . L'extraction par Soxhlet est une méthode universelle et bien connue, qui se démarque des autres méthodes d'extraction conventionnelles, à l'exception de l'extraction des composés thermolabiles [27] . Un système de Soxhlet traditionnel, tel que illustré dans la Figure 2.7.

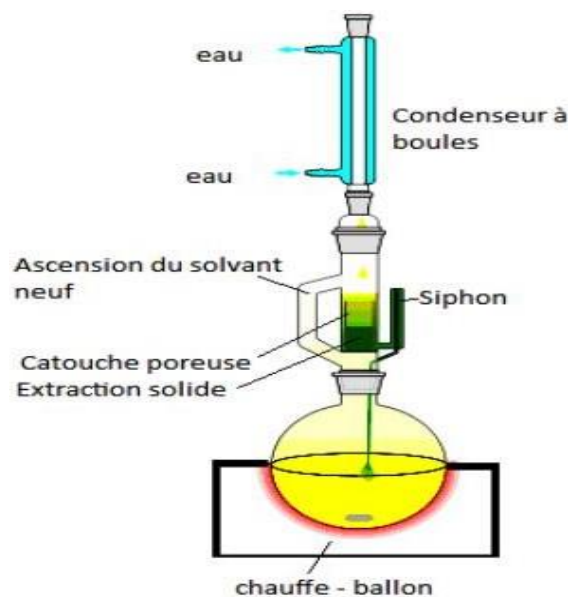


Figure 2.7 Extracteur soxhlet[27].

La diffusion interne est souvent l'étape limitante lors de l'extraction par Soxhlet, ce qui dépend grandement des caractéristiques de la matrice solide et de la dimension des particules.

Les avantages de l'extraction par Soxhlet incluent :

- L'équilibre de transfert est modifié en mettant le solvant frais en contact à plusieurs reprises avec la matrice solide.
- en maintenant une température d'extraction relativement élevée grâce à la chaleur du ballon à distiller.
- il n'y a pas besoin de filtrer après l'extraction. De plus, la technique de Soxhlet est extrêmement facile et abordable.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients :

- La durée d'extraction est longue.
- Il est indispensable d'utiliser une grande quantité de solvant.
- L'accélération du processus par agitation est impossible.
- La consommation élevée de solvant nécessite une étape d'évaporation/concentration.
- Il est essentiel de prendre en compte la possibilité de dégradation thermique des composés cible, étant donné que l'extraction se déroule généralement au point d'ébullition du solvant pendant une période assez longue.
- De plus, la quantité importante de solvant et la durée prolongée de l'opération ont entraîné de nombreuses critiques à l'égard de cette méthode.

## **2.4 L'évaporateur rotatif (ou rotavapor)**

Dans les laboratoires, l'utilisation incorrecte d'un évaporateur rotatif peut entraîner des accidents lors des manipulations. Grâce à cet appareil, il est possible de retirer rapidement un solvant volatil en évaporant. Le but de cette méthode est de permettre l'extraction d'un solvant dont la température d'ébullition est réduite en utilisant une grande pression [28].

### 2.4.1 Principe

Un évaporateur rotatif repose sur la méthode de distillation sous vide (partielle). On tourne la solution afin d'augmenter la surface d'évaporation, puis on réduit la pression en utilisant généralement une pompe à eau. L'évaporation à des températures inférieures aux températures d'évaporation des solutions à évaporer est possible grâce à la vitesse de rotation et au vide créés [28,29].

### 2.4.2 Evaporation

- Laisser l'eau circuler dans le réfrigérant.
- Lancer la pompe à eau : le robinet doit atteindre son débit maximal.
- Appliquer une légère couche d'huile de silicone sur le rodage du ballon d'évaporation.
- Le ballon contenant le solvant à extraire doit être fixé sur le conduit de vapeur en utilisant un clic approprié.
- S'assurer de bien fermer le robinet de mise sous vide afin de mettre tout l'appareil sous une pression réduite.
- Effectuer une rotation du ballon.
- Déplacer le ballon vers l'eau du bain-marie afin de le mettre en contact.
- Ajuster la vitesse de rotation en fonction de la vitesse d'évaporation.
- Clôturer la vitre de sécurité de la hotte.



**Figure 2.8** Appareil rota vapeur

Les résultats Ci-après proviennent d'une série d'extractions faites en mettant l'accent sur les diverses natures de la matière première (*Ricinus communis*).

Après l'extraction nous avons calculé le rendement d'huile extrait par la relation suivant :

$$\eta = m_h / (m_t \times 100) \quad (2-1)$$

$\eta$ : Rendement d'extraction .

$m_h$ : la masse d'huile extraire en g .

$m_t$ : la masse des grains ricin avant l'extraction en g .

## **2.5 Le biodiesel**

### **2.5.1 Définition**

#### **2.5.1.1 Définition générale**

Le biodiésel est un carburant renouvelable qui est fabriqué à partir d'huiles végétales ou de graisses animales en utilisant une réaction de transestérification des triglycérides présents dans ces matières grasses, habituellement en utilisant un alcool léger (méthanol, éthanol). Il s'agit d'un biocarburant qui peut être utilisé de manière indépendante ou combiné avec le carburant diesel classique dans les moteurs diesel sans avoir besoin de le modifier. Il se dégrade naturellement et contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et de substances toxiques [30].

#### **2.5.1.2 Définition technique**

Le biodiésel est défini par le Comité Européen de Normalisation, CEN, comme des esters méthyliques d'acides gras obtenus par transestérification d'une huile végétale ou de graisse animale avec un alcool méthylique, conformément à sa règlement technique EN14214. À l'échelle américaine, l'ASTM D6751 les définit comme des esters mono-alkyles d'acides gras à longues chaînes, issus d'huiles végétales ou de graisses animales, qui peuvent être utilisés comme substitut au carburant diesel dans les moteurs diesel à auto-inflammation. Il est disponible en version pure (B100) ou en mélange avec le pétrodiesel (B20, B5, B2, etc.) [31,32].

## 2.5.2 Préparation du biodiesel

### 2.5.2.1 matériaux utilisés

On a utilisé de l'huile de ricin issue de diverses régions d'Oued Souf (sud de l'Algérie) , En utilisant de l'alcool éthanol Laboratoire, qui est disponible sur les marchés locaux avec une pureté pouvant atteindre 99,9 % et un poids moléculaire de 32,04 g/mol, et une densité de 972 kg/m<sup>3</sup>, en plus de l'hydroxyde de potassium (KOH) en tant que catalyseur principal de la réaction. Le tableau (1) présente aussi les matériaux employés lors de la fabrication.

**Tableau 2.1. Les matériaux employés lors de la fabrication biodiesel.**

Réactif	Quantité
L'Huile	100ml
Ethanol	27ml
Hydroxyde de potassium	1g
Température de réaction	65 °c
Temps de réaction	120min

### 2.5.2.2 Méthode de production de biodiesel par estérification

Dans un premier temps, l'huile de ricin est chauffée à une température pouvant atteindre 100°C afin de retirer toute l'excès d'eau qui pourrait y être présente l'huile, Par la suite, on prélève un échantillon d'huile et on l'ajoute au bécher à col pour réguler sa température. La réaction se produit à une température de 65°C, avec une agitation continue, en utilisant des électrodes magnétiques placées dans le ballon de réaction, Ces électrodes fonctionnent à une vitesse constante pouvant atteindre 700 tours/minute, puis un échantillon d'alcool éthylique est prélevé. Cet échantillon correspond à un rapport prédéterminé, Le rapport entre l'alcool et l'huile

qui a été prélevé est de 1:6 en molaire, Le rapport (alcool : huile) est le rapport parfait entre l'alcool et l'huile pour diverses huiles. Plusieurs recherches ont identifié différents types d'huiles [33,34]. Outre une dose de catalyseur équivalente à 1% d'huile de ricin, on mélange de l'alcool éthylique avec de l'hydroxyde de potassium (KOH) jusqu'à ce que le catalyseur se dissolve complètement et qu'il forme de l'éthoxyde. Ensuite, on ajoute de l'huile de ricin. On incorpore de l'éthoxyde dans le mélange réactionnel en agitation continue, pendant une durée de réaction de deux heures et à une température de 65 °C. La réaction d'estérification avec de l'alcool et la création de biocarburant sont illustrées par l'équation n° (1). Exposer Figure numéro (2) Système de fabrication en atelier

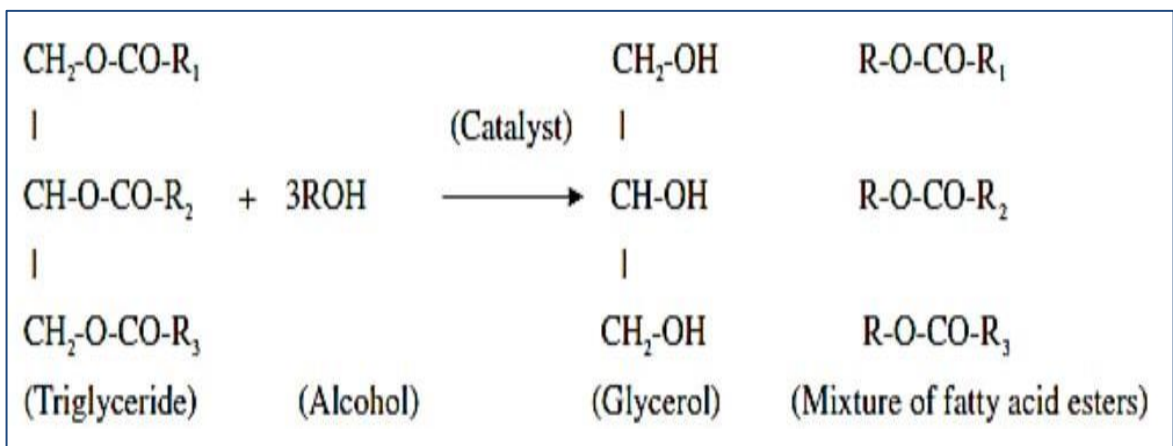


Figure 2.9 : Réaction générale de la transestérification.



Figure 2.10 : Photo de réaction de transestérification.

### 2.5.2.3 Mécanisme de la réaction

La réaction de transestérification est chimiquement équilibrée. Les étapes (1) et (2) sont rapides car les fonctions esters primaires sont transestérifiées en premier, tandis que l'étape (3) est plus lente. Le schéma présenté à la Figure 2 permet d'illustrer ce mécanisme.

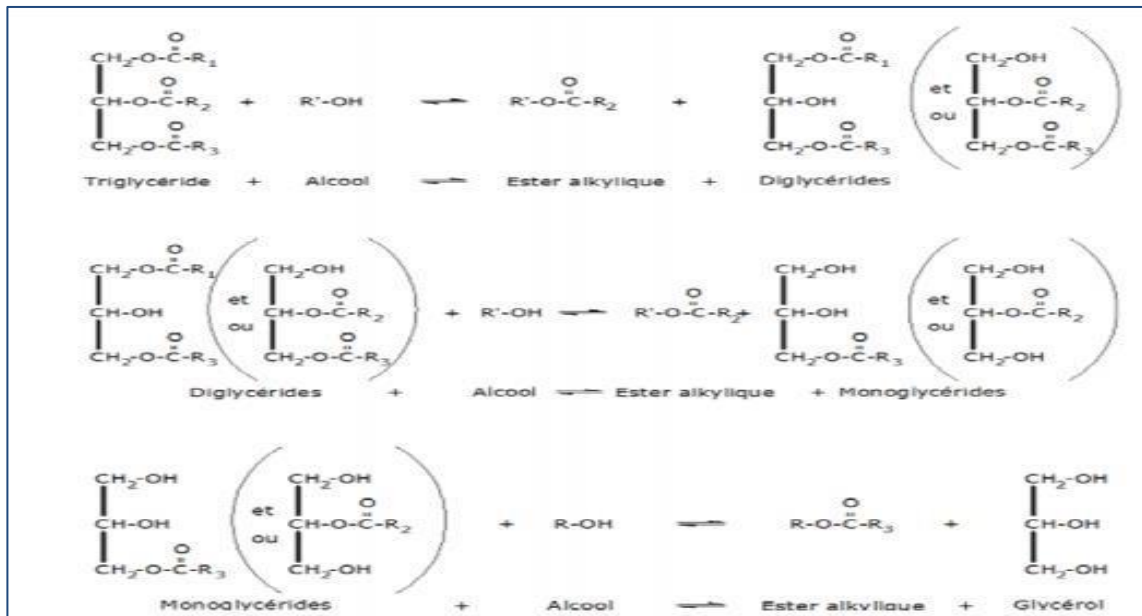


Figure 2.11 : Réactions successives de la transestérification.

Bien que la cinétique de la réaction soit très rapide, la réaction de saponification concurrente réduit l'efficacité de la production de biodiesel. L'alcool doit être sec et l'huile doit avoir le moins d'acides gras libres pour produire du biodiesel à partir de la réaction de saponification [35].

### 2.5.2.4 Installation et séparation

Une fois que le liquide a été mélangé, on le laisse refroidir. Une fois le processus de refroidissement terminé, le biocarburant se dépose sur le dessus, tandis que la glycérine plus lourde se trouve au fond. On peut facilement séparer la glycérine en lui permettant de s'écouler de la surface. Ainsi, on fabrique du Bio Diesel pur [36].

- Permettre l'accumulation de glycérine.
- Laissez le mélange reposer pendant toute la nuit.

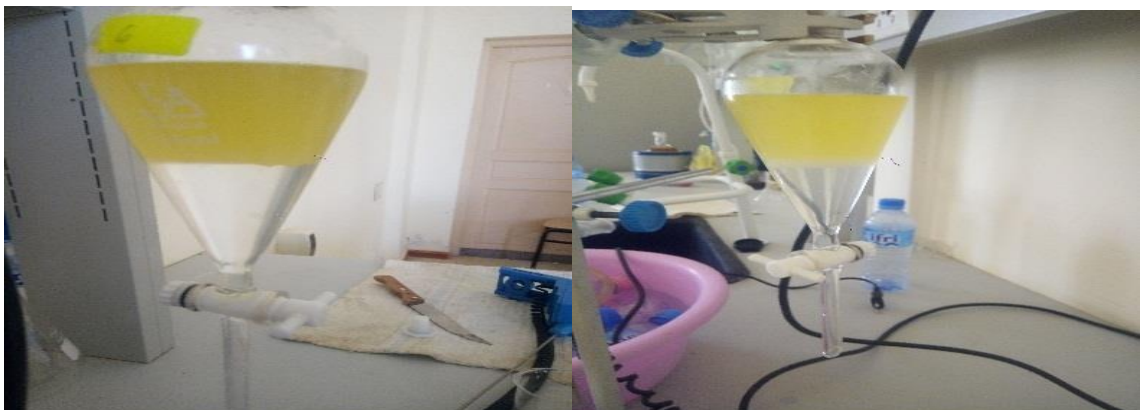
- L'huile, l'alcool et le catalyseur ont réussi à réagir chimiquement et à décomposer l'huile en plusieurs couches.
- La partie supérieure sera composée de biodiesel, également connu sous le nom d'ester chimique, la partie suivante peut contenir du savon, et la partie inférieure sera composée de glycérine.



**Figure 2.12 : installation et séparation des phases.**

### 2.5.2.5 Le lavage

La glycérine et le biodiesel seront séparés en raison de la disparité de densité. Étant donné que la glycérine et le catalyseur ne réagissent pas, ils se déversent dans le fond et peuvent être facilement vidés [37]. Après avoir séparé le biodiesel, il est nécessaire de le rincer à l'eau chaude afin de retirer l'éthanol et l'hydroxyde de potassium qui n'ont pas réagi [38 ,39].



**Figure 2.13 : lavage du biodiesel.**

**2.5.2.6 Filtration**

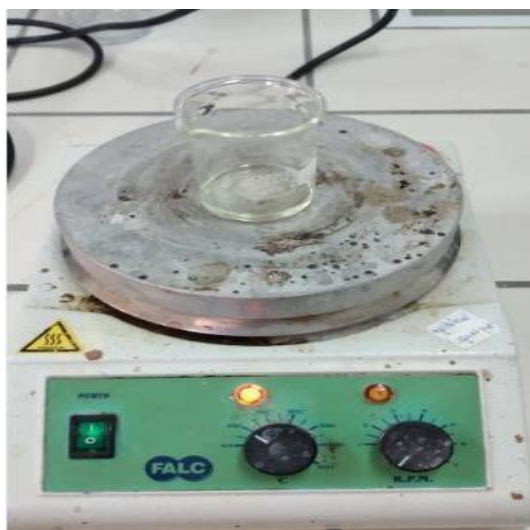
Ce processus consiste à filtrer les huiles végétales usagées afin de supprimer toutes les impuretés. En général, cette procédure implique de légèrement chauffer le liquide. Une fois que le liquide a été chauffé, il est passé à travers un chiffon en coton.



**Figure 2.14 : Filtration de biodiesel.**

**2.5.2.7 Retirer l'eau**

On élimine toute l'eau présente dans la gangue restante, ce qui accéléré la réaction. En faisant bouillir le liquide à 500°C pendant un certain temps, l'eau peut être facilement éliminée.



**Figure 2.15 : Retirer l'eau de biodiesel**

## **2.6 Conclusion**

L'extraction de l'huile de ricin constitue une étape primordiale dans le processus de production du biodiesel. Au cours de cette étude, les graines de ricin ont été convenablement préparées par nettoyage, séchage et broyage afin d'optimiser le rendement d'extraction. L'extraction réalisée, soit par solvant (n-hexane) à l'aide d'un appareil Soxhlet, soit par pressage mécanique, a permis d'obtenir une huile brute de couleur jaunâtre présentant une bonne pureté et une viscosité élevée, caractéristiques typiques de l'huile de ricin.

Ainsi, la phase de préparation et d'extraction permet d'obtenir une huile de ricin de qualité satisfaisante pouvant servir efficacement de matière première pour la production de biodiesel par transestérification.

La préparation et l'extraction de l'huile de ricin sont des opérations déterminantes pour la réussite du processus global de production de biodiesel, tant sur le plan du rendement énergétique que de la qualité du produit final.

## References

- [1] Bryant, L. (1976). The development of the diesel engine. *Technology and culture*, 17(3), 432-446.
- [2] Agarwal A K., 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 233-271.
- [3] De Vedia M., 1944. Vegetable Oil as Diesel Fuel. *Diesel Power*, Vol. 22, p 1298.
- [4] Chowdury D., 1942. Indian Vegetable Fuel Oils for Diesel Engines. *Gas and Oil Power*. Vol. 37, p 80.
- [5] Shah S., Sarma S. & Gupta M., 2004. Biodiesel preparation by lipase-catalysed transesterification of jatropha oil. *Energy Fuels*, 18, 154-159.
- [6] Akhil B., Purva L., Prabhat N. & Rajesh M., 2010. Biodiesel production through lipase catalyzed tranesterification: An overview. *J. Mol. Catal. B: Enzymatic*, 62, 9-14.
- [7] Nelson L., Foglia T. & Marmer W., 1996. Lipase-catalysed production of biodiesel. *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 73, 1191-1195.
- [8] Ramprasad, R., & Bandopadhyay, R. (2010). Future of *Ricinus communis* after completion of the draft genome sequence. *Curr Sci India*, 99, 1316-1318.
- [9] González, G. (1999). Pollinosis to *Ricinus communis* (castor bean): an aerobiological, clinical and immunochemical study. *Clinical & Experimental Allergy*, 29(9).
- [10] Anosike, E. O., & Egwuatu, C. K. (1980). Biochemical changes during the fermentation of castor oil (*Ricinus communis*) seeds for use as a seasoning agent. *Plant Foods for Human Nutrition*, 30, 181-185.
- [11] Alloune, R., Liazid, A., & Tazerout, M. (2012). Etudes comparatives de deux plantes oléagineuses locales pour la production du biodiesel en Algérie. *Revue des Energies Renouvelables SIENR*, 12, 19-22.

- [12] Ogunleye, O. O., Oyawale, F. A., & Suru, E. (2008). Effects of castor oil on the physical properties of polyether based Flexible Polyurethane foam.
- [13] Drapcho, C. M., Nhuan, N. P., & Walker, T. H. (2008). Biofuels engineering process technology (pp. 160-180). New York: McGraw-Hill.
- [14] Li, W., Li, Z. J., Zhai, Y. J., & Wang, C. L. (2015). A highly efficient castor regeneration system identified through WUSCHEL expression. *Chemical Engineering Transactions*, 46, 1393-1398.
- [15] Polvèche, V. (1996). La culture du ricin en Europe. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, (6), p-49.
- [16] Little, E. L., Woodbury, R. O., & Wadsworth, F. H. (1974). Trees of Puerto Rico and the Virgin islands (No. 449). US Department of Agriculture, Forest Service.
- [17] Rammal, H., & Dicko, A. (2015). Etude phytochimique de Euphorbiacées: Ricinus comm Evaluation de leur propriété leur action i l'acetylcholine.
- [18] Wettasinghe, R. (2012). Development of castor (*Ricinus communis*) var. brigham with ultra low ricin content by analyzing soluble seed proteins.
- [19] Van, C. N. V. N. (2010). Maîtrise de l'aptitude technologique des oléagineux par modification structurelle: applications aux opérations d'extraction et de transestérification in-situ (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).
- [20] Pagès-Xatart-Parès, X. (2008). Technologies des corps gras (huiles et graisses végétales). *Techniques de l'Ingénieur*, f6070.
- [21] Debruyne, I. (2001). Soja: transformation et aspects industriels. *Techniques de l'Ingénieur. Agroalimentaire (France)*, (6030).
- [22] Bogaert, L. (2017). Étude et modélisation du pressage continu des graines oléagineuses (Doctoral dissertation, Compiègne).
- [23] Head, S. W., Swetman, A. A., Hammonds, T. W., Gordon, A., Southwell, K. H., & Harris, R. V. (1995). Small scale vegetable oil extraction.

- [24] De Castro, M. L., & Priego-Capote, F. (2010). Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of chromatography A*, 1217(16), 2383-2389.
- [25] Soxhlet, F. V. (1879). Die gewichtsanalytische bestimmung des milchfettes. *Polytechnisches Journal*, 232(5), 461-465.
- [26] Viot, M., Tomao, V., Ginies, C., Visinoni, F., & Chemat, F. (2008). Microwave-integrated extraction of total fats and oils. *Journal of Chromatography A*, 1196, 57-64.
- [27] De Castro, M. L., & Garcia-Ayuso, L. E. (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica chimica acta*, 369(1-2), 1-10.
- [28] Manuels d'instruction de Rotavapor Buchi R220 SE, 2016, 108p
- [29] Craig, L. C., Gregory, J. D., & Hausmann, W. (1950). Versatile laboratory concentration device. *Analytical Chemistry*, 22(11), 1462-1462.
- [30] Meher L., Vidia D. & Naik S., 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review. *Renewable and Soustainable Energy Reviews*, 10, 248-268
- [31] Silitonga A., Atabani A.,Mahlia T., Masjiki., H., Badrudddin I. & Mekhlef S., 2011. A review on prospect of jatropha curcas for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Soustainable Energy Reviews*, 15, 3733-3756
- [32] Knothe G., 2010. Biodiesel and renewable diesel: comparison. *Progress in Energy and combustion Science*, 36, 364-373.
- [33] Ahmed, A. H., Sheet, W. M., & Najim, Y. H. (2021). Study of Reaction Conditions on a Conversion ratio of Castor Oil Fuel Production. *NTU Journal of Renewable Energy*, 1(1), 1-6.
- [34] Mata, T., Cardoso, N., Ornelas, M., Neves, S., & Caetano, N. (2010). Sustainable production of biodiesel from tallow, lard and poultry fat and its quality evaluation. *Chemical Engineering*, 19(3).
- [35] Van, C. N. V. N. (2010). Maîtrise de l'aptitude technologique des oléagineux par modification structurelle: applications aux opérations d'extraction et de transestérification in-situ (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).

[36] Sudhir, C. V., Sharma, N. Y., & Mohanan, P. (2007). Potential of waste cooking oils as biodiesel feedstock. *Emirates journal for engineering research*, 12(3), 69-75.

[37] Mathiyazhagan, M., Ganapathi, A., Jaganath, B., Renganayaki, N., & Sasireka, N. (2011). Production of biodiesel from non-edible plant oils having high FFA content. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 2(2).

[38] Fröhlich, A., & Rice, B. (1995, November). The preparation and properties of biodiesel grade methyl ester from waste cooking oil. In *Minutes of the activity meeting of the IEA, Vienna (Vol. 18)*.

[39] Vaitilingom, G., & Ribier, V. (1995). *Crude Copra Oil, a biofuel for diesel engines*. CIRAD/SPC, New Caledonia.

# Chapitre 3

Caractérisation d'Huile et  
Biodiesel de Ricin

---

### 3.1 Introduction

On peut citer parmi les caractéristiques les plus captivantes du biodiésel la viscosité, l'indice de cétane l'indice d'acidité et l'indice d'iode [1,2].

Ce chapitre met en lumière une recherche expérimentale destinée à décrire l'huile et le biodiesel dérivés des amandes de ricin du désert algérien, plus précisément de la région d'El Oued. Cette recherche détaille le processus d'extraction de l'huile et du biodiesel à partir des noix de ricin collectées dans la zone d'El Oued. On procède ensuite à la caractérisation des deux produits, huile et biodiesel, en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques normalisées pour les mettre en parallèle avec les résultats d'études précédentes réalisées sur des amandes de ricin provenant d'autres parties du monde. Ces paramètres spécifiques respectent les standards de l'ASTM. En outre, l'obtention d'une conformité optimale avec les spécifications et les limites des normes ASTM est possible grâce à l'analyse du spectre FTIR de l'huile de ricin et du biodiesel, ainsi qu'à l'examen de leur composition en acides gras.

### 3.2 Analyses physico-chimiques de l'huile et du biodiesel

#### 3.2.1 La densité

La masse volumique d'une substance est divisée par la masse volumique du corps de référence à la même température pour obtenir sa densité. Pour les liquides et les solides, on se base sur l'eau, tandis que pour les gaz, on mesure par rapport à l'air.

On calcule avec la relation suivant :

$$d = \frac{\rho_{\text{huile}}}{\rho_{\text{eau}}} \quad (3-1)$$

d : densité d'huile ;

$\rho_{\text{huile}}$  : La masse volumique d'huile g/cm<sup>3</sup> ;

$\rho_{\text{eau}}$  : La masse volumique d'eau est égal 1 g/cm<sup>3</sup>.

On dit :  $\rho = \frac{m}{v}$

$\rho$  : La masse volumique d'huile  $\text{g/cm}^3$  .

$m$  : la masse d'huile g .

$v$  : volume d'huile  $\text{cm}^3$ .

### 3.2.2 Le pH

Il s'agit d'une mesure qui évalue la concentration des ions hydrogènes dans un liquide. Il s'agit d'un indicateur de l'acidité ou de la basicité d'un liquide. Le pH de l'huile a été évalué en utilisant un papier pH.



**Figure 3.1.** Mesure par papier pH.

### 3.2.3 Viscosité à 40 °C

La viscosité représente la capacité d'un liquide à s'écouler (le temps nécessaire pour une partie du liquide de traverser la section d'un tube). On peut la mesurer à l'aide d'un dispositif rhéomètre ou viscosimètre. Les chaînes d'acides gras qui constituent l'huile sont de plus en plus longues et saturées, ce qui entraîne une viscosité accrue. La viscosité élevée rend la combustion du combustible dans le moteur plus compliquée. Cette caractéristique change selon la température. Il est donc nécessaire de déterminer la température à laquelle la mesure est réalisée. Les deux comités de normalisation ont choisi une température de 40 °C. D'après EN 14214, sa vitesse oscille entre 3,5 et 5  $\text{mm}^2/\text{s}$ . Selon les normes de l'ASTM, elle varie de 1,9 à 6  $\text{mm}^2/\text{s}$  [3, 4].



Figure 3.2. Appareil de mesure de viscosité.

### 3.2.4 Point d'éclair

On a calculé le point d'éclair en utilisant la méthode de coupe ouverte telle que décrite par ASTM D6751, [5]. Le bec Bunsen a été utilisé pour chauffer la tasse en ajoutant un échantillon de l'ester éthylique jusqu'au trait (75 ml) en maintenant une petite flamme nue provenant d'un approvisionnement externe en gaz naturel. Il arrivait parfois que la flamme traverse la surface de l'ester éthylique. Après avoir atteint la température du flash, la surface de l'ester éthylique a été enflammée. On a enregistré la température (au moment) en tant que point d'éclair température.



Figure 3.3. Mesure le point d'éclair

### 3.2.5 Indice de réfraction

La méthode d'Alamu et al. [6] a été utilisée pour déterminer cela en utilisant un réfractomètre (banc de réfractomètre Abbe). Après avoir allumé l'interrupteur, la lampe éclairante s'est allumée et l'écran a indiqué 0000. On a appliqué une goutte de De l'ester éthylique sur la surface de travail du prisme réfringent inférieur. On a modifié la position du bras rotatif et du cône de lentille collectrice des unités d'éclairage collectrices de lumière afin de garantir une éclairage uniforme de la surface d'entrée de lumière du prisme d'entrée de lumière supérieur. On a observé le champ de vision à travers l'oculaire et on a ajusté le volant réglable pour faire tomber la ligne qui sépare les zones sombres et claires dans la ligne transversale. Le dispositif de correction de dispersion a été ajusté de façon à créer un contraste élevé entre la zone claire et sombre, tout en réduisant la dispersion. On a pressé le bouton de lecture et l'écran a affiché l'indice de réfraction.

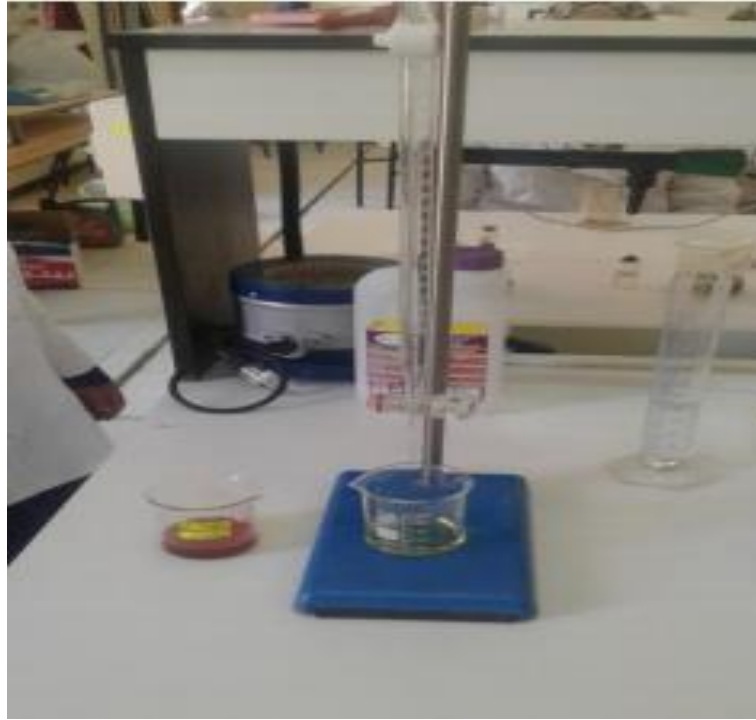


Figure 3.4. Appareil d'indice de réfraction

### 3.2.6 Indice d'acidité

L'échantillon d'huile et l'échantillon à blanc nécessitent des volumes de KOH 0,1 N pour être titrés en ml. Tandis que le poids équivalent de KOH est de 56,1 et  $m$  est la masse de l'échantillon d'huile est de g. Cela fonctionne car le KOH est une solution basique qui interagit

avec une solution acide jusqu'à ce que tout l'acide soit épuisé et que la solution soit neutre. Une fois que l'échantillon est neutre, tout KOH ajouté entraîne une transformation de la solution en basique et une modification de sa couleur[7].



**Figure 3.5. Protocole de mesure de l'indice d'acidité**

Calculer l'indice d'acide à partir de l'équation ci-dessous :

$$\text{valeur d'Acid} = (V \times N \times 56.1)/m \quad (3-2)$$

Où V = Volume de solution 0,1N de KOH éthanolique en millilitre (ml)

m = Poids de l'échantillon en gramme

N = Normalité du KOH éthanolique

### 3.2.7 Indice d'iode

L'indice d'iode ( $I_I$ ) correspond à la quantité d'iode absorbée par 100 g d'échantillon lors d'une réaction d'addition. L'indice d'iode est utilisé pour évaluer le niveau d'instauration d'un carburant. Les dépôts et les problèmes de stabilité du carburant (biodiésel ou huile végétale) entreposés peuvent être causés par l'instauration. D'après EN 14214, il est interdit que cet indice dépasse 120 [3, 4,8].



**Figure 3.6. Protocole de mesuré Indice d'iode**

Calculer l'indice d'acide à partir de l'équation ci-dessous :

$$\text{valeur de } d'iodo = \frac{(V_0 - V) \times M \times 12.69}{m} \quad (3-3)$$

Où

$V_0$  = Valeur du titre à blanc en ml.

$V$  = volume ajoute au témoin en ml.

$M$  = Molarité du thiosulfate de sodium

### 3.2.8 Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde a été calculé en utilisant la méthode de l'AOAC [9]. 2,206 g d'ester méthylique ont été dissous dans 30 ml de mélange d'acide acétique glacial et de chloroforme (3:2, v/v), puis 20 % d'iodure de potassium (0,5 ml) ont été ajoutés. La solution s'est déversée dans l'obscurité pendant une minute, puis 75 ml d'eau distillée ont été adjoints. On a ajouté 0,1 M de thiosulfate de sodium au mélange en agitation vigoureuse jusqu'à ce que la couleur jaune de l'iode disparaisse. Ensuite, un indicateur d'amidon de 0,5 ml a été ajouté afin d'obtenir une teinte bleue, et le titrage a été continué jusqu'à ce que toute la teinte bleue ait disparu [10].



**Figure 3.7. Protocole de mesuré Indice de peroxyde**

On a calculé l'indice de peroxyde en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Valeur de peroxyd} = \frac{(V-V_0) \times M \times 1000}{m} \quad (3-4)$$

Où V= Valeur du titre de l'échantillon en ml.

V = Valeur du titre à blanc en ml.

M = Molarité du thiosulfate de sodium.

### 3.2.9 Indice de saponification

D'après la méthode AOAC [9], l'indice de saponification de l'ester éthylique a été calculé. Dans un ballon, on a ajouté l'ester éthylique (2,054 g) à 25 ml d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium 0,5 N, en utilisant un réfrigérant à reflux. Dès que l'éthanol a bouilli, on a chauffé le mélange et on a secoué le ballon de temps en temps avec un agitateur magnétique jusqu'à ce que l'ester éthylique soit complètement dissous. Ensuite, la solution a été bouillie pendant une demi-heure. Après que l'ester éthylique a été complètement dissous, on a ajouté 5 gouttes d'un indicateur de phénolphtaléine et on a titré lentement la solution de savon chaude obtenue avec de l'acide chlorhydrique 0,5 N. Le volume a été enregistré.

Par la suite, on a réalisé une détermination à blanc sur la même quantité de solution d'hydroxyde de potassium en même temps et dans les mêmes conditions, et on a enregistré le volume. Le calcul du résultat final a été effectué en utilisant la formule.



**Figure 3.8. Protocole de mesuré Indice de saponification**

On a calculé l'indice de saponification en utilisant l'équation suivante :

$$\text{valeur de saponification} = \frac{56.1 \times N \times (V_0 - V)}{m} \quad (3-5)$$

Où  $m$  = Poids d'huile pris en grammes.

$V_0$  = Valeur du titre de l'échantillon en ml.

$V$  = Valeur du titre à blanc en ml.

$N$  = Normalité de l'acide chlorhydrique.

### 3.2.10 Indice de cétane

On a calculé l'indice de cétane de l'ester éthylique en utilisant la méthode ASTM D 613. Selon la méthode empirique proposée par Mohibbe et al. [11], l'indice de cétane de l'ester éthylique a été calculé en se basant sur la valeur de saponification ( $I_s$ ) et l'indice d'iode ( $I_{iode}$ ) de l'ester éthylique.

$$\text{valeur de cetane} = 46.3 + \left( \frac{5458}{I_s} \right) - (0.225 \times I_{iode}) \quad (3-6)$$

### 3.3 Caractérisation des propriétés physiques et chimiques de l'huile de ricin et du biodiesel

Les méthodes normalisées adéquates ont été utilisées pour caractériser les propriétés physico-chimiques de l'huile extraite et du biodiesel, dans des conditions standards. Ceci inclut la détermination de la densité, de la viscosité cinématique, du point d'éclair, de l'indice d'iode, de l'indice d'acidité et de l'indice de réfraction. On a ensuite mis en parallèle ces caractéristiques avec celles obtenues lors d'études précédentes sur des graines de ricin provenant de diverses régions africaines (voir tableaux 1 et 2).

#### 3.3.1 Caractérisation de l'huile

Plus de 70 % des espèces végétales sont signalées par de nombreuses recherches comme étant capables de produire une huile ayant une concentration dépassant les 30 %. Habituellement, les huiles destinées à la consommation ne sont pas employées pour la fabrication de biodiesel, car elles affectent la demande du marché alimentaire et contribuent à sa hausse des prix. Depuis une dizaine d'années, l'huile de ricin, qui n'est pas considérée comme comestible, est vue comme une possible source de biodiesel. En outre, le ricin offre un rendement en huile supérieur à d'autres sources végétales d'huiles non destinées à la consommation, tout en étant cultivable dans des régions dégradées [12, 13, 14]. Le tableau 1 présente un résumé des caractéristiques majeures de l'huile de ricin obtenue à partir du ricin du désert algérien. On procédera ensuite à une comparaison de ces caractéristiques avec celles des huiles de ricin provenant d'autres zones d'Afrique, comme l'Égypte et le Nigéria [15, 16, 13, 17]. Dans cette recherche, notre première étape consiste à examiner la couleur des huiles produites, ce qui souligne les variations qui existent entre elles (tableau 3-1). Il a été observé que l'huile de ricin algérienne contient approximativement 50 % d'iode par rapport au poids des graines sèches, ce qui est plus élevé que la quantité d'iode présente dans l'huile de ricin égyptienne (38 %) [16]. Pour toutes les huiles de ricin examinées, l'indice de réflectance est pratiquement identique. En outre, on note de petites variations dans les indices de saponification des trois huiles extraites. L'indice d'iode de l'huile de ricin égyptienne est faible (82,7 g/100 g), par rapport à celui des huiles algérienne et nigériane qui sont respectivement de 105,54 et 107,1 g/100 g [16,13]. De plus, la viscosité de l'huile obtenue est similaire à celle de l'huile de ricin du Nigéria (25,6 et 21,76 mm·s<sup>-2</sup> respectivement). Pour conclure, le pH de l'huile tirée des graines de ricin algériennes se situe à 6,22 et son indice

d'ester est de 186,53 mg(KOH)/g, ce qui ne peut être comparé aux autres huiles examinées. Ces chiffres sont en accord avec ceux mentionnés dans les publications [18,19].

**Tableau 3.1. Propriétés physico-chimiques de l'huile de ricin extraite**

Propriétés d'huile	Algérie	Nigeria [13]	Egypte [16]
Apparence	Jaune	Maron	/
Indice de Saponification, mg/KOH	189.33	200.48	198.6
Indice de Peroxyde, Meq/Kg	8	1.96	/
Indice d'acide, mg KOH/g	2.8	6.74	3.3
Densité 25C <sup>0</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	0.90±0.001	0.9560	/
Indice de réfraction à 25C <sup>0</sup>	1.477	1.487	1.48
Indice d'iode, g/100g	105.54	107.1	82.7
Indice d'ester mg(KOH)/g	186.53	/	/
Viscosité cinématique à 40°C, mm/s <sup>2</sup>	25.6±0.52	21.76	/
PH	6.22	/	/
Rendement %	50±2	/	38

### 3.3.2 Caractérisation du biodiesel

Le tableau (3-2) met en évidence les caractéristiques de notre biodiesel obtenu dans des conditions idéales, confirmées par des recherches précédentes réalisées dans d'autres zones d'Afrique (comme l'Égypte et le Nigéria). Effectivement, les caractéristiques physico-chimiques déterminées pour le biodiesel issu de l'huile de ricin algérienne sont comparables à celles des biodiesels analysés. La température à laquelle le carburant s'enflamme lorsqu'il est exposé à une flamme est appelée la température flash. Cette montée en température est due à la création d'un mélange uniforme de vapeurs de carburant et d'air au-dessus de la surface du carburant [13, 17]. Le biodiesel algérien présente un point d'éclair plus élevé que celui mentionné dans les deux études de référence, qui fixent ce dernier à 158 °C [16, 17]. Il semblerait donc que notre biodiesel respecte les normes ASTM [15, 16, 13, 17]. Le biodiesel produit peut être influencé par l'indice d'acide, car il peut provoquer des réactions indésirables telles que la saponification et avoir un impact sur l'efficacité du KOH (catalyseur). L'huile de ricin présente un indice d'acidité plus élevé (2,8 mg KOH/g) que le biodiesel qui en est dérivé (0,5 mg KOH/g). D'après diverses recherches, le niveau d'acidité que nous avons déterminé pour notre produit respecte les limites spécifiées par ASTM [20, 17]. En général, l'indice d'acidité diminue avec l'augmentation du temps et de la température de réaction. Dans ce contexte, on a noté une tendance quelque peu différente lorsque la température a augmenté de 55 à 60 °C pour des temps de réaction de 2 et 5 heures. Ainsi, cela peut être dû au fait que la réaction globale n'était pas complète à ces températures et durées. Par conséquent, le produit obtenu présente une pureté inférieure [20]. Cet aspect pourrait suggérer une concentration plus importante en acides gras libres, dont l'élimination lors du nettoyage est complexe, provoquant ainsi une hausse de l'indice d'acide. Notre produit présente une viscosité cinématique de  $7 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  lorsqu'elle est mesurée à 40 °C. Il semble que la transestérification abaisse la viscosité de l'huile de ricin, citée précédemment, à  $25,6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Il convient de souligner que la viscosité mesurée du biodiesel dépasse les seuils limites des standards ASTM mentionnés dans les documents concernant le biodiesel à base d'huile de ricin [12-14]. C'est pourquoi un grand nombre de recherches se sont concentrées sur la normalisation des valeurs de viscosité en accord avec la norme ASTM. Pour résumer, deux techniques ont été mises en œuvre afin de diminuer les valeurs de viscosité élevées. La première étude se concentre sur l'impact de la température de réaction sur la viscosité du biodiesel : celle-ci subit une diminution significative lorsque la température atteint 65 °C. La seconde méthode implique de combiner le biodiesel avec du gazole ou un biodiesel présentant une viscosité considérablement plus basse [21-22,23]. La normalisation de la viscosité est recommandée afin

d'améliorer la fluidité du carburant lors de la combustion. Par ailleurs, une viscosité importante du carburant provoque un mélange réactionnel défectueux et une hausse des émissions de fumée provenant de l'échappement. Ainsi, la densité, paramètre évalué et associé à la viscosité, a un impact sur la composition du carburant, l'exécution de la réaction de combustion et l'efficacité économique. L'influence de la proportionnalité entre la densité et la masse injectée sur la combustion du biodiesel optimise l'efficacité du moteur. La densité de 0,8602 révélée dans cette recherche concorde avec les résultats d'autres recherches exposées dans le tableau (3-2). De plus, la densité déterminée dans ce contexte respecte les standards ASTM et est comparable à celle des produits provenant d'Afrique [15, 16, 13, 17]. L'huile de ricin utilisée comme matière première avait une densité de 0,9024, alors que celle du biodiesel obtenu était de 0,862, ce qui représente une diminution de 4,67 %. L'indice de cétane (IC) est associé directement au retard d'allumage et fournit une indication sur la capacité du biodiesel à être employé dans les moteurs à combustion par compression (moteurs diesel) [21, 17]. Il fixe l'intervalle de temps entre le commencement de l'injection et la réaction inflammatoire du carburant. Conformément aux normes ASTM, l'indice de couverture peut excéder 47 [13, 17]. Le tableau 2 indique l'indice de carbone (IC) du biodiesel à base de ricin algérien, qui s'élève à 51,38, une valeur comparable à celle des biodiesels égyptien et nigérian (55). Ainsi, un indice d'octane supérieur diminue le temps de démarrage, étant donné que le biodiesel est essentiellement constitué d'hydrocarbures à longue chaîne [21]. Pour résumer, le biodiesel a un indice de cétane (IC) légèrement plus bas que celui du diesel classique, qui varie entre 45 et 55. C'est pour cette raison qu'on le privilégie plutôt que les mélanges de biodiesel et de gazole pour produire un combustible à indice de cétane modéré qui alimente le moteur [21,16]. Dans l'étude actuelle, le biodiesel que nous avons examiné présente un indice d'iode de 96,74 g/100 g. Cela correspond à une diminution notable comparée à l'huile de ricin employée comme matière première (105,54 g/100 g). On peut établir une comparaison entre ces résultats et ceux obtenus avec des biodiesels fabriqués à partir d'huiles de ricin provenant d'Égypte et du Nigeria. En outre, la composition du biodiesel obtenu respecte les limites imposées par la norme ASTM. L'indice d'iode est crucial puisqu'il détermine le niveau d'instauration du biodiesel et a un impact sur sa tendance à l'oxydation. Un indice d'iode bas facilite l'obtention du biocarburant, alors qu'un indice haut pourrait endommager le moteur à long terme. Par ailleurs, un niveau élevé d'iode nuit à la réaction d'oxydation du carburant, qui a lieu principalement à haute température lors de la combustion, diminuant donc l'efficacité du moteur [16-24, 25]. Il est observé que le biodiesel à base d'huile de ricin algérienne a une teinte

jaune, contrairement au biodiesel nigérian [13]. Cependant, le biodiesel que nous produisons a la même teinte que celui à base d'huile de ricin malaisienne cité dans l'étude de Salimon et al. [26].

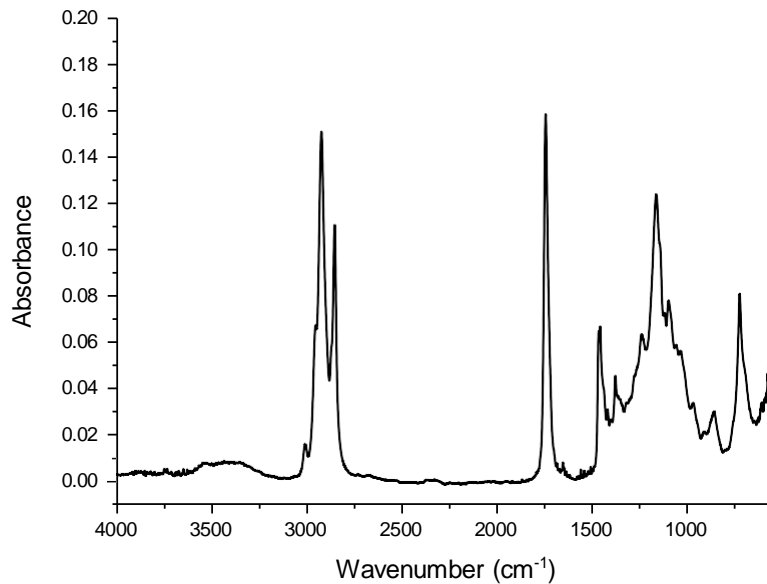
**Tableau 3.2. Propriétés physico-chimiques du biodiesel d'huile de ricin**

Propriétés du biodiesel	Biodiesel ( Algérie)	Nigeria [13]	Egypt [16]	ASTM
Apparence	Jaune	/	/	Jaune
Point d'éclair °C	158	154	151	>130
Indice d'acide, mg KOH/g	0.70125	0.29	/	0.50
Densité 25C <sup>0</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	0.860±0.001	0.862	0.878	0.860-0.900
Indice de réfraction à 25C <sup>0</sup>	1.4611	/	/	1.45-1.48
Indice d'iode, g/100g	96.74	26.22	82.7	/
Indice de cétane	51.38	55.2	55.82	47
Viscosité cinématique à 40°C, mm <sup>2</sup> /s	7±0.05	6.56	4.65	1.9-6.0
PH	6.9	/	/	/
Rendement %	64±3	96	/	/

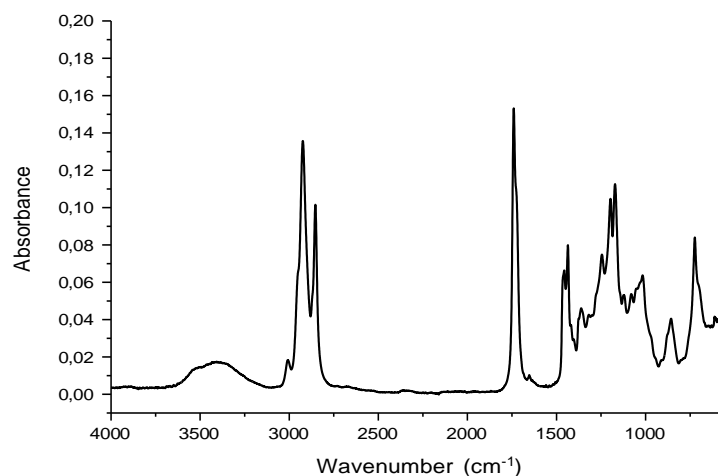
### 3.4 Analyse de la composition en acides gras

Dans cette partie, nous avons effectué deux formes d'analyses dans le but de déterminer les composés majeurs présents dans notre produit. Tout d'abord, nous avons employé l'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) pour le biodiesel et l'huile récupérés. Cette étude spectrale a pour objectif d'établir et de valider les liaisons chimiques présentes dans l'huile et son ester, en particulier la zone des empreintes digitales, la liaison carboxyle et la

liaison hydroxyle. Par la suite, le tableau 3 illustre le pourcentage des composants chimiques majeurs présents dans les acides gras de notre huile de ricin extraite.



**Figure 3.9.** Spectre IR de l'huile de ricin



**Figure 3.10.** Spectre IR du biodiesel d'huile de ricin

Les figures (3-9) et (3-10) illustrent les spectres FTIR de l'huile de ricin extraite et du biodiesel. Le spectre FTIR de l'huile de ricin (figure 3-9) atteste la présence de la région spectrale majeure, nommée « empreinte digitale », qui permet de différencier chimiquement

l'huile brute du biodiesel produit, entre 1450 et 600  $\text{cm}^{-1}$ . Le sommet à 1470  $\text{cm}^{-1}$  est associé à une vibration d'étirement asymétrique de la liaison  $-\text{CH}_3$ , alors que le sommet à 1195,91  $\text{cm}^{-1}$  est lié à l'étirement de la liaison  $\text{O}-\text{CH}_3$ . Dans l'huile de ricin et le biodiesel, les pics à 1400 et 1572  $\text{cm}^{-1}$  ainsi qu'à 1403 et 1575  $\text{cm}^{-1}$  montrent la présence de vibrations d'étirement C-C. Dans l'huile de ricin et le biodiesel, la bande qui se trouve à peu près à 1250  $\text{cm}^{-1}$  correspond à la liaison  $\text{C}(=\text{O})-\text{O}$ . De plus, la figure (3-10) présente le spectre du biodiesel ainsi que la région spectrale principale qui définit les liaisons chimiques. Les sommets observés pour les nombres d'onde de 1450 à 600  $\text{cm}^{-1}$  représentent la « zone des empreintes digitales » dans les spectres complexes, mettant en évidence de multiples bandes de vibration couplées ainsi que des schémas notables dans les spectres FTIR de l'huile brute. Cette zone de pics pourrait aussi être liée aux impuretés contenues dans l'huile brute et par conséquent au biodiesel. Cette technique n'est pas en mesure d'identifier la présence d'huile brute en raison d'une transformation partielle lors de la réaction de transestérification. Le maximum relevé à 1750  $\text{cm}^{-1}$  est associé aux vibrations d'extension axiales antisymétriques des liaisons  $\text{C}=\text{O}$  de l'ester (biodiesel) et aux vibrations d'allongement axiales des groupements carbonyle, ce qui permet de différencier l'huile de ricin de son ester. Les pics aux alentours de 1200  $\text{cm}^{-1}$  révèlent les vibrations d'élongation axiales asymétriques des liaisons  $\text{O}-\text{C}-\text{C}$  et de l'ester (ester  $\text{C}-\text{O}$ ) présentes dans le biodiesel, signalant que la transestérification de l'huile de ricin s'est produite après l'introduction du méthanol. Une autre caractéristique notable que l'on peut observer dans la figure (3-10) est que le spectre du biodiesel dérivé de l'huile de ricin montre plus de variations dans la zone approximative de 3400  $\text{cm}^{-1}$ . On peut associer cette région spectrale aux vibrations d'étirement axiales du lien  $\text{O}-\text{H}$  de l'hydroxyle de l'acide ricinoléique (consulter le tableau 3-3).

La présence de biodiesel a été confirmée par l'observation d'une bande à 1450  $\text{cm}^{-1}$  associée au groupe méthyle et à 1150  $\text{cm}^{-1}$  pour le groupe ester (figure 3-10). Dans ce secteur, plusieurs recherches ont constaté un sommet comparable pour les produits à base de ricin évoés dans cette étude (voir [23, 27, 13]).

Tableau 3.3. Composition en acides gras de l'huile de ricin

Compositions	Structure	Formule	Percentage %
Palmitic	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$	1,76
Stearic	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$	2,11
Oleic	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$	3,55
Linoleic	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$	4,73
Linolenic	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$	0,78
Ricinileic	18:1-OH	$C_{18}H_{34}O_3$	81,31
Eicosenoic	20:1	$C_{20}H_{38}O_2$	1,14
Others	–	–	4,62

Dans le cadre de cette recherche, la composition en acides gras de l'huile de ricin algérienne est illustrée dans (le tableau 3-3). Cette étude indique que l'acide ricinoléique constitue approximativement 81,31 % de la composition globale en acides gras. Parmi les autres éléments, on retrouve les acides gras suivants : linoléique (4,73 %), oléique (3,55 %), palmitique (1,76 %), stéarique (2,11 %) et linoléique (0,78 %). Pour résumer, comme le montre (le tableau 3-3), environ 95,38 % de la composition totale des acides gras est constituée d'acides gras insaturés. Selon les standards ASTM, le pourcentage d'acide ricinoléique, qui se situe entre 80 et 90 %, peut fluctuer en fonction des conditions météorologiques propres à chaque zone de culture du ricin [23, 20]. En effet, l'huile de ricin est essentiellement constituée d'acide 12-hydroxy-9-octadécénoïque (acide ricinoléique), comme le démontrent les recherches effectuées dans ce secteur [27, 17, 26]. En outre, la présence de groupes hydroxyle et de doubles liaisons confère à l'huile de ricin des caractéristiques appropriées pour les usages industriels, grâce aux différentes réactions chimiques qui interviennent lors de la combustion. Par conséquent, le groupe hydroxyle de l'acide ricinoléique affecte certaines propriétés physico-chimiques comme un indice d'iode faible, une densité et une viscosité importantes, une hygroscopicité élevée et une grande solubilité dans les alcools. Ce dernier facteur est crucial pour la fabrication de biodiesel à partir de cette huile, car il stimule la réaction de transestérification même à des températures basses.

### 3.5 Conclusion

Cette recherche propose une analyse expérimentale comparative des principales caractéristiques physico-chimiques de l'huile de ricin et de son biodiesel dérivé, en les confrontant aux normes actuelles égyptiennes. Selon nos constatations, les paramètres examinés (viscosité, indice de cétane et indice d'acide) atteignent ou excèdent les niveaux optimaux indiqués pour le biodiesel dérivé de l'huile de ricin. En outre, les résultats attestent de sa pertinence en tant qu'énergie alternative, considérant son respect des critères de performance essentiels. Plusieurs recherches démontrent que l'association de gazole et de biodiesel peut optimiser la performance des moteurs tout en diminuant les rejets polluants. Pour cette raison, nous allons étudier divers rapports de mélange entre le biodiesel de ricin et le diesel afin de déterminer les compositions idéales et d'établir les seuils de fonctionnement sécurisés pour les moteurs à combustion. Cette étude met en évidence la faisabilité du biodiesel de ricin en tant que source d'énergie alternative durable, proposant une approche pragmatique pour son application à travers un mélange astucieux.

## Référence

- [1] Balat M., 2006. Fuel characteristics and the use of biodiesel as a transportation fuel. *Energy Sour.*, 16, 443-50.
- [2] Demirbas, A. (2008). Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. *Fuel*, 87(8-9), 1743-1748.
- [3] Robles-Medina, A., González-Moreno, P. A., Esteban-Cerdán, L., & Molina-Grima, E. (2009). Biocatalysis: towards ever greener biodiesel production. *Biotechnology advances*, 27(4), 398-408.
- [4] Knothe, G. (2006). Analyzing biodiesel: standards and other methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(10), 823-833.
- [5] Ahmad, K. Production of Biodiesel from Soybean Seeds.
- [6] Alamu, O. J., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O. (2008). Effect of ethanol–palm kernel oil ratio on alkali-catalyzed biodiesel yield. *Fuel*, 87(8-9), 1529-1533.
- [7] Mohamed, M., Sherif, N., Aboelazayem, O., Elazab, H. A., Gadalla, M., & Saha, B. (2022, August). Waste cooking oil management in Egypt: Production of biodiesel-development of rapid test method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2305, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.
- [8] Knothe G., 2002. Structure Indices in FA Chemistry. How Relevant IS the Iodine Value? *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 79, 847-854.
- [9] Micheal, G. Lipid Extraction and Fatty Acid Methyl Ester (Fames) Production from Coconut.
- [10] Horwitz, W., & Latimer, G. W. (1975). *Official methods of analysis* (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

- [11] Azam, M. M., Waris, A., & Nahar, N. M. (2005). Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. *Biomass and bioenergy*, 29(4), 293-302.
- [12] A.S. Silitonga, H.H. Masjukia, Hwai Chyuan Ong, Talal Yusaf, F. Kusumo, T.M.I. Mahlia. Synthesis and optimization of *Hevea brasiliensis* and *Ricinus communis* feedstock for biodiesel production: A comparative study. *Industrial Crops and Products* 2016; 85:274-286.
- [13] Usman M.A, Owolabi R.U, Onoh E.N. Ricinoleic acid methyl ester (RAME): synthesis, characterization and determination of optimum process parameters. *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering* 2017; 18: 262 – 274.
- [14] Cavalcante K.S.B. Penha, Karlene M. N.C, Mendonça K.M, Louzeiro H.C, Vasconcelos A.C.S, Maciel A, P, De Souza A, G, Silva F. C. Optimization of transesterification of castor oil with ethanol using a central composite rotatable design (CCRD). *Fuel* 2010; 89: 1172-1176.
- [15] Aboelazayem O, El-Gendy N, Abdel-Rehim A.A, Fand A. Sadek M. A. Biodiesel production from castor oil in Egypt: process optimisation, kinetic study, diesel engine performance and exhaust emissions analysis. *Energy* 2018;157: 843-853.
- [16] Nabel A. Negm, Magdy A. Shaalan, El Barouty G. S , Mohamed M.Y. Preparation and evaluation of biodiesel from Egyptian castor oil from semi-treated industrial wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2016; 63:151-156.
- [17] Omohu O. J, Omale A.C. Physicochemical Properties and Fatty Acid Composition of Castor Bean *Ricinus communis* L. Seed Oil. *European Journal of Biophysics*. 2017; 5: 62-65.
- [18] Sander A, Koscak M.A, Kosir D, Milosavljevic N, Vukovic J. P, Magic L. The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. *Renewable Energy* 2018; 118: 752-760.
- [19] Seffati K, Esmaeili H, Honarvar B, Esfandiari N. AC/CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@CaO as a novel nanocatalyst to produce biodiesel from chicken fat. *Renewable Energy* 2020; 147: 25-34.
- [20] Dias J.M, Araújo J.M, Costa J.F, Alvim-Ferraz M.C.M, Almeida M.F. Biodiesel production from raw castor oil. *Energy* 53 (2018) 58-66.

- [21] Hasana M.M, Rahman M.M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 74: 938-948
- [22] Das M, Sarkar M, Datta A, Santra A.K. An experimental study on the combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel-castor oil biodiesel blends. *Renewable Energy* 2018; 119: 174-184
- [23] Soares I,P, Rezende T,F, Silva R. C, Castro E.V.R, and Fortes I.C. P. Multivariate Calibration by Variable Selection for Blends of Raw Soybean Oil/Biodiesel from Different Sources Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Spectra Data. *Energy & Fuels* 2008; 22: 2079–2083.
- [24] Zareh P, Zare A.A, Ghobadian B. Comparative assessment of performance and emission characteristics of castor, coconut and waste cooking based biodiesel as fuel in a diesel engine. *Energy* 2017; 139: 883-894.
- [25] Upendra Rajak, Tikendra Nath Verma. Influence of combustion and emission characteristics on a compression ignition engine from a different generation of biodiesel. *Engineering Science and Technology,an International Journal*. 2020; 23:10-20.
- [26] Salimon J, Mohd Noor D. A, Nazrizawati A.T, Mohd Firdaus M.Y, Noraishah A. Fatty Acid Composition and Physicochemical Properties of Malaysian Castor Bean *Ricinus communis* L. Seed Oil. *Sains Malaysiana* 2010; 39:761–76
- [27] Sánchez N, Sánchez R, José M. Encinar J.M, González J.F, Martínez G. Complete analysis of castor oil methanolysis to obtain biodiesel. *Fuel* 2015; 147: 95-99

# Chapitre 4

Valorisation du Biodiesel :  
Effet sur l'Environnement et  
Performance du Moteur

---

## **4.1 Introduction**

Dans cette partie, nous examinons la fiabilité du biodiesel par l'alimentation d'un moteur diesel à combustion interne en considérant l'aspect environnemental et la performance énergétique du moteur. Par conséquent, les paramètres caractéristiques mesurés peuvent jugés la performance de notre biodiesel fabriqué à base de Ricin comme source d'énergie alternative. La procédure mis en évidence plusieurs compositions du carburant d'alimentation basé sur la combinaison du pétrodiesel et notre biodiesel durant la phase des tests du moteur. Nous avons alimenté le générateur électrique (Figure 4.1) utilisant cinq compositions différentes de carburants basée sur pétrodiesel et biodiesel de ricin en différentes proportions, comme le démontre le tableau (4.2). En outre, nous avons analysé et mesuré différentes variables et paramètres caractérise les aspects mentionnés au-dessus :

- Environnementaux tels que les émissions nocives (NO<sub>x</sub>, CO et CO<sub>2</sub>).
- Paramètres du moteur pendant la combustion pour chaque cas de carburant comme FC, BSFC et BTE.

## **4.2 Caractéristiques techniques principales du moteur d'essai**

La figure (4.1) montre le générateur électrique utilisé dans l'expérience mentionnée avec le modèle commercial indiqué moteur diesel BS6500DE. Le générateur équipé d'un moteur se concentre sur le système de combustion à injection directe, où il peut produire une puissance électrique nominale pouvant atteindre 4,6 kW avec une vitesse de rotation fixe estimée à 3000 tr/min. Le système de refroidissement du moteur utilise la technique de refroidissement par air ou par air forcé. En outre, le moteur contient un seul cylindre dont la dimension alésage × course est respectivement égale à 86 x 70 mm. Cela génère un volume de cylindre du moteur diesel d'une capacité de 418 cm<sup>3</sup>, caractérisé par un taux de compression égal à 19:1.



Figure 4.1 Caractéristiques technologiques du générateur électrique.

Tableau 4.1. Spécifications du moteur d'essai

Fabricante	
puissance nominale/max	4.6KW/5KW
vitesse de rotation nominale (tr/min)	3000
système de refroidissement du moteur	refroidi par air forcé
modèle de moteur	Moteur diesel BS186FAE
alésage *course (mm)	86×70
déplacement (L)	0.406
nombre de cylindres	monocylindre
système de combustion	injection directe

### 4.3 Configuration expérimentale

La figure (4.2.b) représente le diagramme schématique de la configuration expérimentale (figure (4.2.a)), où les objectifs de ce benchmark sont utilisés pour évaluer les paramètres environnementaux et énergétiques associés, comme mentionné précédemment. Les tests ont donc été réalisés sous différentes charges électriques allant de 0 à 4 kW. Pour chaque test, des mesures ont été prises plusieurs fois pour confirmer la convergence des paramètres mesurés et

garantir qu'ils correspondent également à ce qui est montré par l'examineur technique. L'expérience se concentre sur le mélange de diesel dans quatre compositions de mélange différentes (5 %, 15 %, 25 % et 50 %), le pétrodiesel servant de cas de carburant de référence, comme indiqué dans le tableau (4.2). Le mélange est préparé en combinant le diesel et le biodiesel provenant de deux réservoirs distincts dans un réservoir commun contenant la composition requise pour le scénario de test avant de la fournir au moteur (Figure 4.1). Nous utilisons également ce réservoir commun pour calculer la consommation de carburant (FC). De plus, l'optimisation de la consommation de carburant nécessite d'évaluer la consommation spécifique de carburant des freins (BSFC) et l'efficacité thermique des freins (BTE), ces paramètres nécessitent d'introduire la puissance électrique comme indiqué dans les équations (4-1) et (4-2). Pour cette raison, le générateur électrique est connecté à une charge électrique pour émuler un système réel qui consomme de l'énergie ou de la puissance à différents niveaux pour toutes les compositions de carburant considérées. Lors de la combustion du carburant, le générateur est connecté à des outils de mesure tels qu'un voltmètre et un ampèremètre pour évaluer la puissance de freinage à l'aide de l'équation (4-3) pertinente. De plus, un analyseur de gaz est placé à l'échappement du générateur électrique pour contrôler et mesurer les émissions de gaz brûlés et évaluer les concentrations d'espèces nocives (Figure 4.2.a). Les paramètres mentionnés utilisés dans cette enquête tels que BSFC (g/kWh), BTE (%) et puissance de freinage (kW) ont été calculés selon les équations spécifiques.



**Figure 4.2 (a) Banc d'essai de la valorisation du biodiesel**

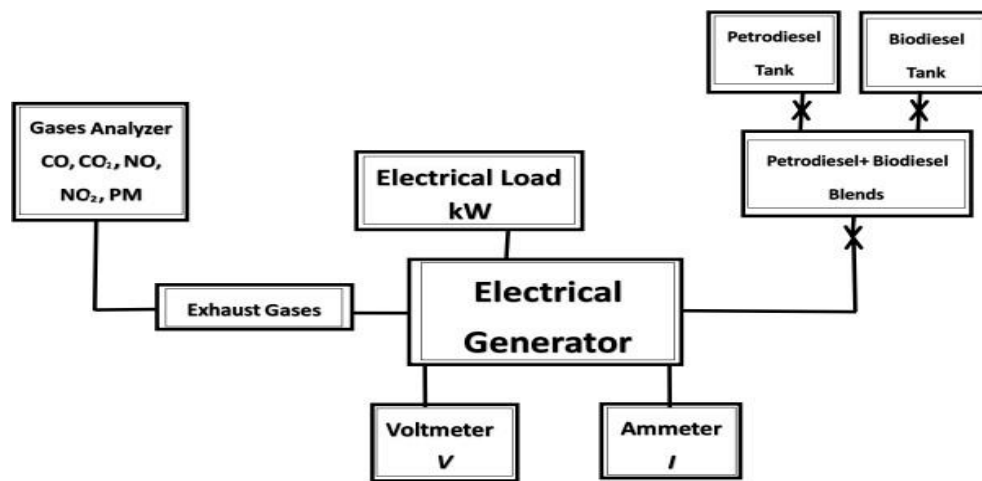


Figure 4.2 (b) Schéma du montage de la configuration expérimentale.

Nous avons employé le moteur du générateur afin d'expérimenter l'impact du mélange diesel-biodiesel. On a effectué les tests en utilisant un moteur diesel monocylindre quatre temps à injection directe d'une cylindrée de 624 cm<sup>3</sup>. Le moteur opérait à une vitesse fixe de 3 000 tours par minute et les essais ont été réalisés sous cinq niveaux de charge distincts : 0, 1 000, 2 000, 3 000 et 4 000 kW. En outre, chaque niveau de remplissage a été évalué en utilisant cinq types de carburants distincts : du petrodiesel pur (B0) ainsi que 4 combinaisons de petrodiesel avec 5 % de biodiesel (B05), 15 % de biodiesel (B15), 25 % de biodiesel (B25) et 50 % de biodiesel (B50). Durant les essais, on a surveillé les performances du générateur en mesurant et en calculant les caractéristiques clés des paramètres du moteur. Le taux de consommation de carburant FC (g/h) a été calculé en divisant la quantité totale de carburant utilisée lors de chaque essai par la durée correspondante (s). L'équation (4-2) a été utilisée pour consigner la puissance de freinage en kW pour chaque type de carburant. L'équation (4-1) a été utilisée pour évaluer la consommation spécifique de carburant, exprimée en termes de BSFC (g/kWh). L'équation (4-3) a été utilisée pour calculer le rendement thermique au frein BTE (%).

$$\text{BSFC} = 3600 \times \frac{\text{FC}}{\text{BP}} \quad [\text{g/kWh}] \quad [27] \quad (4-1)$$

Et,

FC : Consommation de carburant [g/hr],

BP : Puissance de freinage [kW].

$$BTE = \frac{BP \times 3600000}{FC \times LHV} \quad [\%] \quad [27] (4-2)$$

Et,

$$\text{Brake Power} = \frac{U \times I}{1000} \quad [\text{kW}] \quad [27] (4-3)$$

U : Tension mesurée en expérience correspondant à chaque composition de carburant et cas de charge [Volt],

I : Courant mesuré dans l'expérience correspondant à chaque composition de carburant et cas de charge [Ampère].

LHV<sub>fuel</sub> : Faible pouvoir calorifique du carburant qui contient le mélange (Biodiesel et Pétrrodiesel), et il est calculé à l'aide de :

$$LHV_{Fuel} = \frac{m_{Biodiesel}}{m_{Biodiesel} + m_{Petrodiesel}} LHV_{Biodiesel} + \frac{m_{Petrodiesel}}{m_{Biodiesel} + m_{Petrodiesel}} LHV_{Petrodiesel} \quad [\text{kJ/g}] \quad [5] (4-4)$$

Avec :

*m* : masse de carburant utilisé (Biodiesel et Pétrrodiesel) dans le mélange [g]

LHV<sub>Biodiesel</sub> : Le faible pouvoir calorifique du biodiesel est donné par 37 MJ/kg [3, 5, 22]

LHV<sub>Petrodiesel</sub> : Faible pouvoir calorifique du Petrodiesel est égal à 43 MJ/kg [3, 5]

**Tableau 4.2. Compositions du carburant utilisé dans l'expérience**

Cas		B0	B05	B15	B25	B50
Composition %	Biodiesel	0	05	15	25	50
	Petrodiesel	100	95	85	75	50

## **4.4 Résultat et discussion**

Cette section se concentre sur deux parties principales. La première est dédiée au contrôle de l'effet du mélange de pétrodiesel avec notre biodiesel d'huile de ricin préparé sur les émissions polluantes à l'échappement du générateur électrique (Fig.4.1). La deuxième partie se concentre sur l'analyse des performances du moteur de tous les mélanges de carburant et de la charge. Conditions considérées dans la première partie, visant à améliorer le rendement du moteur comme l'illustrent les paramètres liés à l'énergie.

### **4.4.1 La conformité du biodiesel aux normes ASTM et EN**

L'acceptation du biodiesel selon les normes ASTM (American Society for Testing and Materials) repose principalement sur le respect d'un ensemble de spécifications techniques visant à assurer la qualité, l'efficacité et la compatibilité du carburant avec les moteurs diesel en service. Ces critères établissent les standards physico-chimiques que le biodiesel doit respecter, qu'il soit utilisé pur ou en combinaison avec du diesel conventionnel.

La conformité aux normes ASTM est indispensable pour la commercialisation et la distribution du biodiesel sur le marché américain et international. Elle inspire également d'autres normes, telles que la norme européenne EN, qui présente des critères similaires mais adaptés au contexte réglementaire européen. Les producteurs de biodiesel doivent effectuer des tests de contrôle qualité rigoureux avant toute mise en marché afin d'obtenir la certification ASTM, gage de performance et de fiabilité.

En somme, les normes ASTM jouent un rôle central dans l'acceptation du biodiesel comme carburant alternatif durable. Elles garantissent non seulement la sécurité et la compatibilité du produit, mais aussi la confiance des utilisateurs, des fabricants de moteurs et des régulateurs dans la filière des biocarburants. Le tableau (4.3) illustre les valeurs du biodiesel et les met en parallèle avec les standards ASTM et EN.

Tableau 4.3. Comparaison du biodiesel avec les normes ASTM et EN

Propriétés du biodiesel	biodiesel d'huile de ricin	ASTM	EN
Apparence	Jaune	Jaune	/
PH	6.9	/	/
Point d'éclair °C	158	>130	>110
Indice d'acide, mg KOH/g	0.70125	0.50	0.50
Densité 25C <sup>0</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	0.859	0.860–0.900	0.820–0.900
Indice de réfraction à 25C <sup>0</sup>	1.4611	1.45-1.48	/
Indice d'iode, g/100g	96.74	/	120
Indice de cétane	51.38	47	51
Viscosité cinématique à 40°C, mm/s <sup>2</sup>	6.9	1.9-6	3.5-5
Rendement %	64	/	/

#### 4.4.2 Effet du mélange de diesel sur les émissions de polluants

Cette section se concentre sur la mesure des espèces chimiques polluantes, en tenant compte des NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, CO et CO<sub>2</sub>.

Dans un premier temps, nous avons alimenté le générateur avec du pétrodiesel pur (B0) comme carburant de référence, et nous avons mesuré les émissions de NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> et NO. On observe que ces dernières augmentent proportionnellement à l'augmentation des charges de moteur. En effet, une consommation de carburant plus élevée nécessite plus d'air pour la combustion afin de conserver la même valeur du rapport d'équivalence imposé par le constructeur, l'introduction de plus d'air augmente la quantité de N<sub>2</sub> dans le mélange, ce qui produit plus de composés à base d'azote. Par ailleurs, les émissions de monoxyde de carbone présentent le même niveau où leurs concentrations varient entre 1% et 2% pour toutes les charges considérées. Les émissions de CO<sub>2</sub> augmentent proportionnellement à la charge du moteur pour atteindre une valeur élevée de 2,2 % à 4 000 W. Ensuite, nous avons alimenté le moteur avec un mélange de carburant contenant 5 % de biodiesel issu d'huile de ricin et 95 % de pétrodiesel (B05). Les résultats montrent un comportement similaire pour

les oxydes d'azote, avec une réduction de plus de 20 % par rapport au cas initial du combustible. De plus, les émissions de CO ont été réduites de 50 % par rapport au scénario de référence (B0). En revanche, les concentrations de CO<sub>2</sub> ont augmenté par rapport au diesel pur. Nous avons observé que l'effet de l'ajout de biodiesel est perceptible même avec de faibles quantités. Pour le troisième cas de carburant, les concentrations des espèces considérées sont au même niveau que celles du mélange carburé précédent (05). Tandis que les émissions de trois oxydes d'azote continuent de diminuer avec l'augmentation du biodiesel dans le mélange de carburants qui alimente le générateur. De plus, le B15 émettait du CO et du CO<sub>2</sub> pour toutes les charges du moteur avec des quantités presque identiques au B05. Comme on peut le constater, les deux derniers cas de carburant (B25 et B50) illustrent le même niveau d'émissions d'oxydes d'azote à toutes les valeurs de charge du moteur, et ils conservent également une relation proportionnelle entre eux. De plus, les oxydes de carbone présentent une augmentation notable pour le carburant indiqué B50 par rapport à tous les cas de carburant considérés. En effet, l'ajout de biodiesel de ricin au diesel réduit généralement les émissions d'oxydes d'azote (NOx) en raison de plusieurs facteurs. Sa teneur plus élevée en oxygène conduit à une combustion plus complète et à des températures de combustion plus basses, ce qui contribue à réduire la formation de NOx. La proportion plus élevée d'acides gras saturés dans le biodiesel à base d'huile de ricin modifie également la combustion, produisant généralement moins d'émissions de NOx. De plus, la teneur plus faible en aromatiques du biodiesel et son indice de cétane plus élevé favorisent une combustion plus efficace, réduisant ainsi davantage les NOx. Cependant, les émissions de NOx peuvent varier en fonction des conditions du moteur, du rapport du mélange de biodiesel et de la matière première utilisée. Finalement, les émissions de monoxyde de carbone (CO) peuvent augmenter lorsque du biodiesel de ricin est ajouté au diesel en raison de facteurs tels que sa viscosité plus élevée et sa volatilité plus faible, ce qui peut conduire à une atomisation plus faible et à une combustion incomplète. La teneur plus élevée en oxygène du biodiesel de ricin, bien que généralement bénéfique pour la combustion, peut provoquer un mélange riche en carburant dans certaines phases, contribuant à une combustion incomplète et à une production accrue de CO. De plus, les propriétés uniques du biodiesel de ricin, notamment sa viscosité plus élevée et sa faible volatilité, rendent plus difficile l'obtention d'une combustion complète, en particulier dans des conditions plus froides. Les moteurs diesel, généralement optimisés pour le diesel pétrolier, peuvent ne pas s'adapter parfaitement au biodiesel, ce qui entraîne une combustion moins efficace et des émissions de CO plus élevées. Ainsi, bien que le biodiesel soit souvent une alternative plus propre, le biodiesel à base d

ricin peut parfois augmenter les émissions de CO, en particulier lorsqu'il est utilisé dans des mélanges plus élevés ou dans des moteurs non spécifiquement calibrés pour cela.

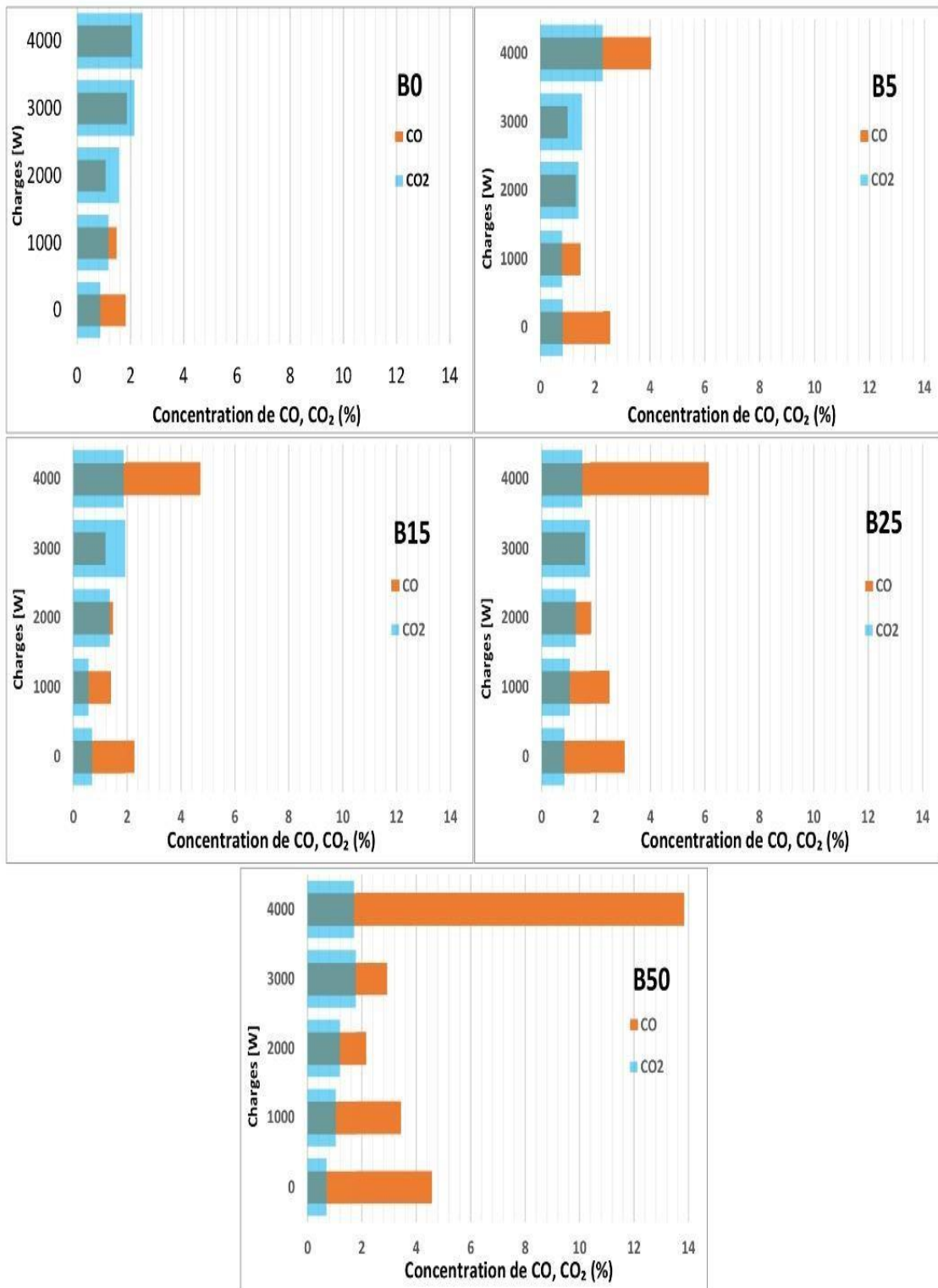


Figure 4.3. Effet de la charge sur les émission des oxydes de carbone

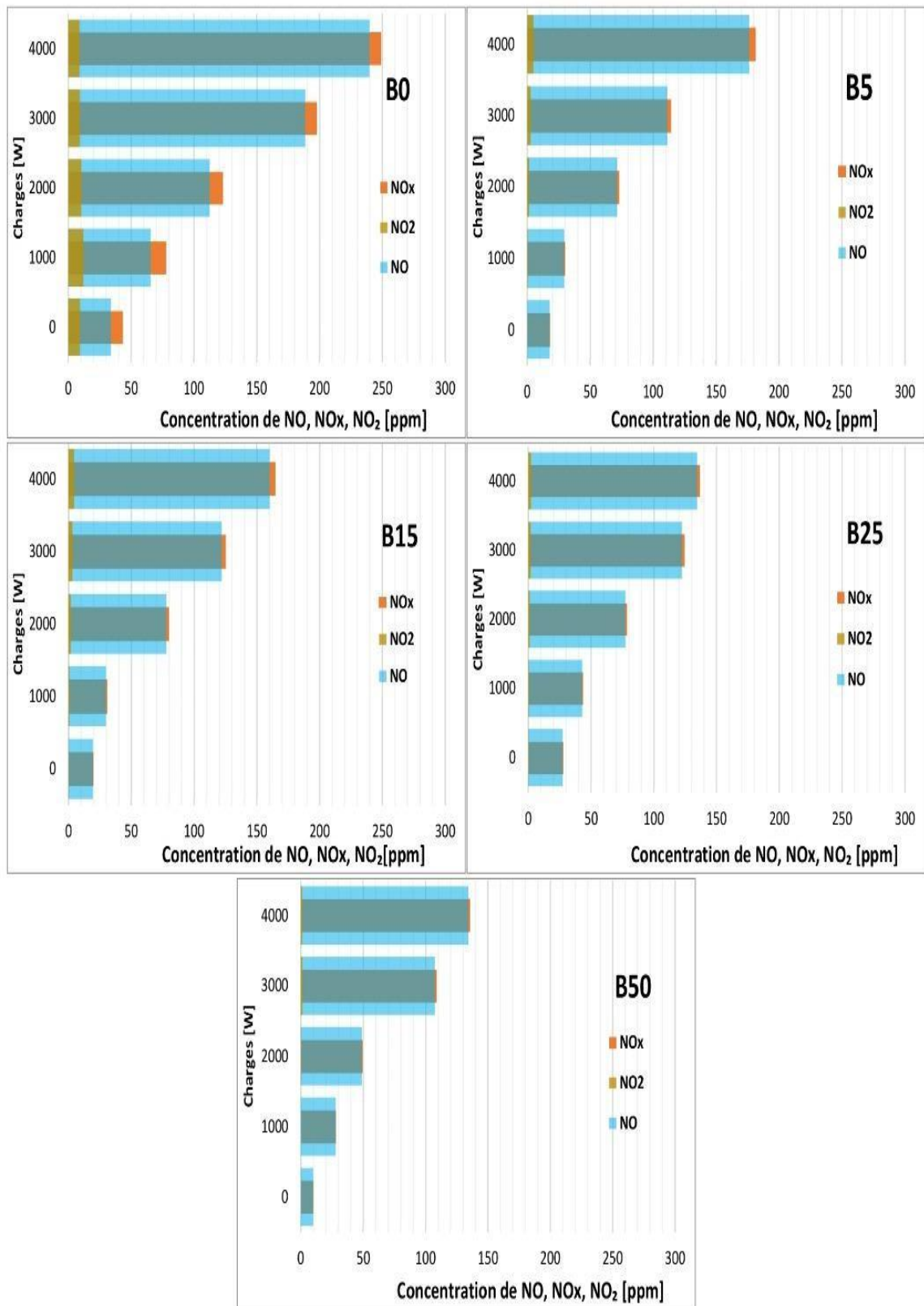


Figure 4.4 Effet de la charge sur les émissions des oxydes d'azote.

### 4.4.3 Analyse des performances du moteur du biodiesel à l'huile de ricin

Nous procédons à quelques tests pour évaluer les performances du biodiesel produit, où nous considérons l'aveuglement du biodiesel avec le pétrodiesel avec différentes compositions comme indiqué dans le tableau (4.4) L'analyse prend en compte les paramètres qui illustrent l'état réel du moteur comme la puissance, la charge, le carburant. Consommation, efficacité thermique des freins et consommation de carburant spécifique aux freins. Le test utilise cinq cas de carburant basés sur le mélange du pétrodiesel avec notre biodiesel de ricin : le carburant diesel commercial ou pétrodiesel (B0), mélange de pétrodiesel avec 5 % de biodiesel d'huile de ricin produit (B05), mélange de carburant diesel avec 15 % de biodiesel d'huile de ricin (B15), mélange de diesel avec 25 % de biodiesel produit (B25) et mélange de carburant diesel avec 50 % de biodiesel (B50). Les résultats illustrent la variation des paramètres caractéristiques listés dans le tableau (4.4) avec la charge et/ou la composition du carburant. En fait, les performances du générateur à pleine charge n'ont pas été améliorées en mélangeant du pétrodiesel avec du biodiesel[27]. En effet, le cas du biodiesel du carburant B15, dans lequel la consommation spécifique de carburant des freins a été réduite de 557 g/kWh par rapport aux autres cas de carburant, s'attend au cas du pétrodiesel, où les deux carburants (B15 et diesel) montrent la même tendance en ce qui concerne les performances du moteur pendant le fonctionnement électrique. Production par le générateur. En effet, toutes les valeurs suivent la même tendance pour tous les niveaux de charge du moteur, à l'exception du B50, pour lequel ce cas de carburant présente un léger écart par rapport aux autres carburants répertoriés dans le tableau 5, en particulier aux valeurs à pleine charge. Le BTE évalué a également été augmenté de 7 % à 15 % en raison du mélange de diesel à 5, 15 et 25 %. Cependant, le dernier cas de carburant 50 % biodiesel présente des valeurs d'estimation faibles pour tous les niveaux de charge. En outre, BSFC atteint ses valeurs élevées pour le boîtier de carburant B50, ce qui montre sa consommation de carburant élevée par rapport aux autres boîtiers de carburant. De plus, le mélange de pétrodiesel avec 50 % de biodiesel de ricin diminue le rendement du moteur à 13 % par rapport à d'autres compositions de carburant qui atteignent environ 15 %. En fin de compte, il en résulte que l'effet du mélange du pétrodiesel avec le biodiesel à base d'huile de ricin a un effet inverse lorsque le mélange dépasse 25%, ces compositions optimales étant dans la même ligne que celles trouvées par des études antérieures[27].

**Tableau 4.4. Résultats des tests de moteur pour les mélanges de pétrodiesel et de biodiesel d'huile de ricin.**

Fuel	Load [kW]	Brake Power [kW]	Load [N.m]	FC [g/hr]	BSFC [g/kWh]	BTE [%]
<b>B0</b> (Pétrodiesel)	0	0	0	529.8	/	0
	1	0.64995	0.21665	730	1124	7.45
	2	1.29938	0.433127	870	669	12.5
	3	1.94955	0.64985	1130	579	14.44
	4	2.58696	0.86232	1440	556	15.04
<b>B05</b>	0	0	0	540	/	0
	1	0.633822	0.211274	735	1159.632	7.219612
	2	1.276439	0.42548	990	775.5951	10.79441
	3	1.92587	0.641957	1155	599.7288	13.9598
	4	2.553733	0.851244	1500	587.3754	14.25339
<b>B15</b>	0	0	0	495	/	0
	1	0.634169	0.21139	750	1182.649	7.0791
	2	1.276789	0.425596	930	728.3897	11.49398
	3	1.925774	0.641925	1110	576.3915	14.52501
	4	2.554408	0.851469	1425	557.8592	15.00754
<b>B25</b>	0	0	0	480	/	0
	1	0.633937	0.211312	645	1017.451	8.228496
	2	1.276207	0.425402	930	728.7218	11.48874
	3	1.92347	0.641157	1155	600.4771	13.9424
	4	2.544572	0.848191	1500	589.49	14.20226
<b>B50</b>	0	0	0	480	/	0
	1	0.634285	0.211428	795	1253.38	6.67961
	2	1.27628	0.425427	990	775.6917	10.79307
	3	1.915824	0.638608	1215	634.1919	13.2012
	4	2.55704	0.852347	1620	633.545	13.21468

## 4.5 Conclusion

La recherche actuelle démontre l'extraction expérimentale, la caractérisation et l'exploitation du biodiesel issu de l'huile de ricin. Le biodiesel obtenu a été mis en parallèle avec d'autres biodiesels à base d'huile de ricin issu de diverses régions du globe, l'accent étant mis sur les critères physico-chimiques comme étape principale de validation. Effectivement, les attributs de nos produits ont été établis en utilisant des méthodes normalisées, puis ils ont été mis en comparaison avec les données issues de la littérature. Elles ont prouvé leur conformité aux standards ASTM, attestant ainsi de leur qualité. Les caractéristiques du biodiesel provenant de l'huile de ricin extraite sont conformes à celles du biodiesel issu de l'huile de ricin fabriqué en dehors de l'Algérie. Ainsi, le biodiesel produit peut être vu comme une option viable pour un carburant de substitution. Dans cette perspective, nous avons évalué la valeur du biodiesel produit en l'employant en mélange avec du gazole pour faire fonctionner le moteur d'un générateur électrique. Par la suite, nous avons évalué deux catégories de paramètres : ceux en rapport avec l'impact environnemental et ceux relatifs à l'efficacité énergétique. Voici un résumé des résultats clés obtenus dans le cadre de cette étude expérimentale :

- ✓ Grâce à sa concentration plus élevée en oxygène, le biodiesel favorise une meilleure combustion. Ceci optimise le processus de combustion au sein des moteurs.
- ✓ - La formulation chimique du biodiesel à base d'huile de ricin optimise le mélange réactif, contribuant ainsi à la diminution des émissions.
- ✓ Le biodiesel est considéré comme un carburant écologique en raison de ses émissions inférieures à celles du diesel classique.
- ✓ Le biodiesel de ricin, ayant un point d'éclair supérieur, assure une manipulation et un stockage en toute sécurité.
- ✓ - L'association de biodiesel au gazole pur améliore les performances du moteur par rapport à l'utilisation de celui-ci seul. Les données issues de l'utilisation de ce mélange indiquent une nette amélioration, grâce à une diminution de la consommation spécifique de carburant (BSFC) et une hausse de l'efficacité thermique (BTE) comparativement au diesel traditionnel.
- ✓ Étant donné ses effets bénéfiques sur l'environnement et l'énergie, Le biodiesel de ricin se prête idéalement à la combinaison avec le diesel traditionnel.

- ✓ Pour conclure, en se basant sur les résultats de cette étude et leur confrontation avec les standards internationaux de carburants (ASTM) ainsi que des études précédentes, on peut considérer les graines de ricin algériennes comme un matériau d'avenir pour la production d'huile et de biodiesel.

**Références**

- [1] Aboelazayem O, El-Gendy N, Abdel-Rehim A.A, Fand A. Sadek M. A. Biodiesel production from castor oil in Egypt: process optimisation, kinetic study, diesel engine performance and exhaust emissions analysis. *Energy* 2018;157: 843-853.
- [2] Souza Valente O. S, Jose da Silva M, Duarte Pasa V. M, Pereira Belchior C. R, Sodre J.R. Fuel consumption and emissions from a diesel power generator fuelled with castor oil and soybean biodiesel. *Fuel* 2010; 89: 3637-3642
- [3] Hasana M.M, Rahman M.M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 74: 938-948
- [4] Nabel A. Negm, Magdy A. Shaalan, El Barouty G. S , Mohamed M.Y. Preparation and evaluation of biodiesel from Egyptian castor oil from semi-treated industrial wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2016; 63:151-156
- [5] Das M, Sarkar M, Datta A, Santra A.K. An experimental study on the combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel-castor oil biodiesel blends. *Renewable Energy* 2018; 119: 174-184
- [6] Zareh P, Zare A.A, Ghobadian B. Comparative assessment of performance and emission characteristics of castor, coconut and waste cooking based biodiesel as fuel in a diesel engine. *Energy* 2017; 139: 883-894
- [7] Soares I,P, Rezende T,F, Silva R. C, Castro E.V.R, and Fortes I.C. P. Multivariate Calibration by Variable Selection for Blends of Raw Soybean Oil/Biodiesel from Different Sources Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Spectra Data. *Energy & Fuels* 2008; 22: 2079–2083.
- [8] Ghoreishi S.M, Moein P. Biodiesel synthesis from waste vegetable oil via transesterification reaction in supercritical methanol. *The Journal of Supercritical Fluids* 2013; 76: 24-31

- [9] Ching-Velasquez J, Fernandez-Lafuente R, Rodrigues R.C, Plata V, Rosales-Quintero A, Torrestiana-Sanchez B, Tacias-Pascacio V.G. Production and characterization of biodiesel from oil of fish waste by enzymatic catalysis. *Renewable Energy* 2020; 153: 1346-1354
- [10] Wang L, Yu H. Biodiesel from Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) seed kernel oil. *Bioresource Technology*. 2012; 112: 355-358
- [11]. Bhuiya M.M.K, Rasul M.G, Khan M.M.K, Ashwath N, Azad A.K . Prospects of 2<sup>nd</sup> generation biodiesel as a sustainable fuel—Part: 1selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 55: 1109-1128
- [12] Anand Kumar S.A, Sakthinathan G, Vignesh R, Rajesh Banu J, Al-Muhtaseb A. H. Optimized transesterification reaction for efficient biodiesel production using Indian oil sardine fish as feedstock. *Fuel* 2019; 253: 921-929.
- [13] Ndiaye M, Arhaliass A, Legrand J, Roelens G, Kerihuel A. Reuse of waste animal fat in biodiesel: Biorefining heavily-degraded contaminant-rich waste animal fat and formulation as diesel fuel additive. *Renewable Energy* 2020; 145:1073-1079.
- [14] Sander A, Koscak M.A, Kosir D, Milosavljevic N, Vukovic J. P, Magic L. The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. *Renewable Energy* 2018; 118: 752-760.
- [15] Seffati K, Esmaeili H, Honarvar B, Esfandiari N. AC/CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>@CaO as a novel nanocatalyst to produce biodiesel from chicken fat. *Renewable Energy* 2020; 147: 25-34.
- [16] Upendra Rajak, Tikendra Nath Verma. Influence of combustion and emission characteristics on a compression ignition engine from a different generation of biodiesel. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2020; 23:10-20.
- [17] Algerian Office of National Statistics, <https://www.ons.dz/>
- [18] A.S. Silitonga, H.H. Masjukia, Hwai Chyuan Ong, Talal Yusaf, F. Kusumo, T.M.I. Mahlia. Synthesis and optimization of *Hevea brasiliensis* and *Ricinus communis* feedstock for biodiesel production: A comparative study. *Industrial Crops and Products* 2016; 85:274-286

- [19] Sánchez N, Sánchez R, José M. Encinar J.M, González J.F, Martínez G. Complete analysis of castor oil methanolysis to obtain biodiesel. *Fuel* 2015; 147: 95-99
- [20] Dias J.M, Araújo J.M, Costa J.F, Alvim-Ferraz M.C.M, Almeida M.F. Biodiesel production from raw castor oil. *Energy* 53 (2018) 58-66
- [21] Conceicao M.M, Candeia R.A, Silva F.C, Bezerra A.F, Fernandes Jr F.G, Souza A.G. Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007; 11: 964–975
- [22] Usman M.A, Owolabi R.U, Onoh E.N. Ricinoleic acid methyl ester (RAME): synthesis, characterization and determination of optimum process parameters. *Anadolu University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering* 2017; 18: 262 – 274
- [23] Omohu O. J, Omale A.C. Physicochemical Properties and Fatty Acid Composition of Castor Bean *Ricinus communis* L. Seed Oil. *European Journal of Biophysics*. 2017; 5: 62-65
- [24] Cavalcante K.S.B. Penha, Karlene M. N.C, Mendonça K.M, Louzeiro H.C, Vasconcelos A.C.S, Maciel A, P, De Souza A, G, Silva F. C. Optimization of transesterification of castor oil with ethanol using a central composite rotatable design (CCRD). *Fuel* 2010; 89: 1172-1176.
- [25] Kılıç M, Uzun B.B, Pütün E, Pütün A.E. Optimization of biodiesel production from castor oil using factorial design. *Fuel Processing Technology*. 2013; 111: 105-110
- [26] Salimon J, Mohd Noor D. A, Nazrizawati A.T, Mohd Firdaus M.Y, Noraishah A. Fatty Acid Composition and Physicochemical Properties of Malaysian Castor Bean *Ricinus communis* L. Seed Oil. *Sains Malaysiana* 2010; 39:761–76
- [27] Dogga, A., Bouras, F., Khaldi, F., & Gheraissa, N. (2025). Engine Performance Analysis of Castor Oil Biodiesel Injection. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 98(6), 326-336.

# Conclusion Générale

---

L'épuisement progressif des ressources fossiles, conjugué à l'augmentation des besoins énergétiques mondiaux et aux contraintes environnementales, a conduit la communauté scientifique à s'intéresser davantage aux sources d'énergie renouvelables et durables. Parmi les alternatives les plus prometteuses, les biocarburants occupent une place stratégique, notamment dans le secteur du transport et de la production d'énergie. Les moteurs diesel, reconnus pour leur rendement élevé, constituent une cible prioritaire pour l'intégration de ces carburants renouvelables, capables de réduire les émissions polluantes tout en assurant des performances énergétiques comparables à celles du gazole fossile. C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail de thèse, qui a porté sur l'extraction, la caractérisation et la valorisation du biodiesel issu du ricin (*Ricinus communis*), une plante oléagineuse à haut rendement énergétique et à caractère non alimentaire. Cette étude s'insère également dans une démarche de valorisation des ressources locales de la région d'El Oued, située dans le sud-est algérien, une zone saharienne où les conditions climatiques arides limitent la culture de nombreuses plantes, mais où le ricin s'adapte remarquablement grâce à sa résistance à la sécheresse, à la salinité et aux températures élevées.

Cette étude démontre la faisabilité technico-économique et environnementale de la production de biodiesel à partir du ricin cultivé à El Oued. Elle met en évidence un modèle énergétique intégré, combinant ressources locales, technologie propre et valorisation régionale, tout en participant activement à la lutte contre la pollution et à la diversification du mix énergétique national. Le biodiesel de ricin se positionne ainsi comme une solution d'avenir pour un développement durable dans les régions arides de l'Algérie et au-delà. La région d'El Oued offre un potentiel agricole unique pour le développement de cultures énergétiques. Son sol sablonneux et son climat chaud favorisent la croissance de plantes résistantes comme le ricin, qui nécessite peu d'entretien et une faible quantité d'eau par rapport aux cultures alimentaires. De plus, la plante de ricin présente l'avantage de ne pas entrer en concurrence avec la production alimentaire, tout en produisant une graine riche en huile (jusqu'à 50–55 % du poids sec). Ce profil agro-écologique en fait un candidat idéal pour la production locale de biodiesel durable dans des zones semi-arides. En exploitant cette ressource naturelle disponible dans la région d'El Oued, le travail entrepris contribue non seulement à la diversification énergétique nationale, mais aussi à la valorisation économique et environnementale des zones sahariennes, souvent sous-exploitées sur le plan industriel.

L'étude s'est déroulée en plusieurs étapes expérimentales et analytiques complémentaires. Tout d'abord, l'huile de ricin a été extraite mécaniquement à partir des graines récoltées localement, puis raffinée pour éliminer les impuretés. Le rendement d'extraction obtenu s'est avéré conforme à la littérature et témoigne de la richesse oléagineuse du ricin cultivé à El Oued. L'huile obtenue a ensuite été soumise à une réaction de transestérification en présence d'un catalyseur alcalin, conduisant à la formation du biodiesel, sous forme d'esters méthyliques d'acides gras (FAME). Les deux produits (huile et biodiesel) ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique rigoureuse. Les paramètres tels que la densité, la viscosité, le point d'éclair, l'indice de cétane, la teneur en eau et le pouvoir calorifique ont été déterminés selon les normes ASTM et EN. Ces valeurs ont ensuite été comparées avec les standards internationaux et avec les données disponibles dans d'autres régions productrices de biodiesel (Égypte et Nigeria). Les résultats obtenus ont confirmé que l'huile et le biodiesel de ricin d'El Oued respectent les normes mondiales et peuvent donc être intégrés sans modification majeure dans les moteurs diesel. L'analyse HPLC (High Performance Liquid Chromatography) et FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) a permis de valider la présence des principaux composés caractéristiques du biodiesel, notamment les esters méthyliques d'acide ricinoléique, d'acide linoléique et d'acide oléique. Ces résultats témoignent d'une conversion chimique complète et d'une qualité du biodiesel conforme aux exigences internationales.

L'étape suivante du travail a consisté à tester le biodiesel de ricin dans un moteur diesel pour évaluer ses effets sur la performance et les émissions. Plusieurs mélanges de biodiesel et de gazole ont été étudiés : B0 (100 % diesel), B10, B15, B25, et B50. Les essais ont porté sur la consommation spécifique de carburant (BSFC), le couple moteur, la puissance développée, et le rendement thermique (BTE). Parallèlement, les émissions polluantes (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO...) ont été mesurées.

Les résultats obtenus ont permis d'établir les constats suivants :

- Le biodiesel et l'huile de ricin d'El Oued satisfont les standards ASTM et EN, confirmant leur compatibilité avec les moteurs diesel.
- Le mélange B25 (25 % biodiesel – 75 % pétrodiesel) a présenté les meilleures performances globales, combinant une efficacité énergétique élevée et une réduction significative des émissions.

- L'ajout de biodiesel dans le gazole améliore la combustion, réduit les émissions de CO, HC et fumées noires, et favorise une combustion plus complète.
- L'utilisation du biodiesel contribue à améliorer le rendement thermique du moteur, notamment à charge moyenne, grâce à la meilleure oxygénation du mélange.
- Enfin, la présence d'oxygène intrinsèque dans le biodiesel facilite une combustion plus propre, diminuant ainsi la production de particules fines.

Ces résultats démontrent que le biodiesel de ricin produit à partir de graines locales constitue une alternative énergétique viable, capable d'allier performance, durabilité et respect de l'environnement.

### Perspectives et recommandations

À partir de ces résultats prometteurs, plusieurs perspectives de recherche et d'applications industrielles peuvent être envisagées :

1. Optimisation du procédé d'extraction et de transestérification : améliorer les rendements de conversion et réduire les coûts de production en étudiant l'influence des paramètres physico-chimiques (température, type de catalyseur, temps de réaction, purification).
2. Valorisation locale du ricin à El Oued : promouvoir la culture du ricin comme filière énergétique régionale, créant des emplois locaux et soutenant l'économie saharienne, tout en développant des unités de micro-production de biodiesel décentralisées.
3. Étude du comportement à long terme du moteur : évaluer l'effet de l'utilisation prolongée du biodiesel de ricin sur l'usure des pièces, les dépôts internes et la lubrification du moteur.
4. Amélioration des propriétés à basse température : étudier des additifs naturels pour réduire le point d'écoulement et garantir une meilleure fluidité du biodiesel en conditions froides.
5. Analyse du cycle de vie (ACV) : évaluer les impacts environnementaux globaux (émissions, consommation d'eau, empreinte carbone) afin de positionner le biodiesel de ricin dans une perspective de développement durable.

6. Valorisation des sous-produits : explorer l'utilisation du glycérol résiduel et des tourteaux de ricin dans des applications industrielles, énergétiques ou agricoles.
7. Extension géographique du modèle : tester la reproductibilité de la filière dans d'autres régions sahariennes d'Algérie pour établir une stratégie énergétique nationale basée sur les biocarburants locaux.

# ABSTRACT

**Abstract:** In this thesis, we investigate biodiesel derived from castor oil as a sustainable alternative to conventional fossil fuels. The motivation for exploring the castor plant stems from two main factors. First, castor trees are widely available in southern Algeria, particularly in the El Oued desert region. Second, castor seeds contain a high oil content, with kernels comprising approximately 50% oil by weight. Biodiesel was produced from castor oil through methanol-catalyzed transesterification, achieving a conversion yield of around 64%. The physicochemical properties of the obtained biodiesel were then compared with those of castor oil biodiesels from Egypt and Nigeria, as reported in the scientific literature. Subsequently, the produced biodiesel was blended with conventional petrodiesel and tested as fuel for an electric power generator. This experimental phase focused on evaluating both environmental and energy performance parameters under various engine loads and fuel blend ratios. The results demonstrated that using biodiesel blends led to lower emissions and improved engine efficiency, highlighting the environmental benefits and practical feasibility of castor-based biodiesel as a green fuel alternative. Overall, the findings suggest that castor seeds cultivated in Algeria represent a promising feedstock for biodiesel production, offering a renewable and locally available resource capable of contributing to the country's sustainable energy strategy.

**Keywords:** Biodiesel; Castor oil; Transesterification; Alternative fuel; Engine performance; Emission reduction.

**Résumé :** Dans cette thèse, nous étudions le biodiesel dérivé de l'huile de ricin en tant qu'alternative durable aux combustibles fossiles conventionnels. L'exploration de la plante de ricin repose sur deux principales motivations. Premièrement, les riciniers sont largement répandus dans le sud de l'Algérie, en particulier dans la région désertique d'El Oued. Deuxièmement, les graines de ricin présentent une teneur élevée en huile, leur noyau contenant environ 50 % d'huile en poids. Le biodiesel a été produit à partir d'huile de ricin par un procédé de transestérification catalysée au méthanol, permettant d'obtenir un rendement de conversion d'environ 64 %. Les propriétés physico-chimiques du biodiesel obtenu ont ensuite été comparées à celles des biodiesels de ricin produits en Égypte et au Nigeria, tels que rapportés dans la littérature scientifique. Par la suite, le biodiesel produit a été mélangé à du gazole conventionnel et testé comme carburant pour un générateur électrique. Cette phase expérimentale a consisté à évaluer les performances environnementales et énergétiques sous différentes charges du moteur et divers rapports de mélange. Les résultats ont montré que l'utilisation de mélanges à base de biodiesel entraînait une réduction des émissions polluantes et une amélioration de l'efficacité du moteur, mettant en évidence les avantages environnementaux et la faisabilité pratique du biodiesel de ricin en tant que carburant vert alternatif. Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que les graines de ricin cultivées en Algérie constituent une matière première prometteuse pour la production de biodiesel, offrant une ressource renouvelable et locale capable de contribuer à la stratégie énergétique durable du pays.

**Mots clés :** Biodiesel ; Huile de ricin ; Transestérification ; Carburant alternatif ; Performance du moteur ; Réduction des émissions.

**ملخص:** تتناول هذه الأطروحة دراسة الديزل الحيوي المستخلص من زيت الخروع بوصفه بديلاً مستداماً للوقود الأحفوري التقليدي. وقد استندت فكرة البحث في نبات الخروع إلى سببين رئيسيين: أولاً، الانتشار الواسع لأشجار الخروع في جنوب الجزائر، ولا سيما في منطقة وادي سوف الصحراوية؛ وثانياً، الاحتواء العالي لبذور الخروع على الزيت، إذ تبلغ نسبة الزيت في نواة البذرة حوالي 50% من وزنها. تم إنتاج الديزل الحيوي من زيت الخروع من خلال عملية التحويل بالاسترة المتبادلة باستخدام الميثانول كمحفز، حيث تم تحقيق ناتج تحويل يقارب 64%. بعد ذلك تمت مقارنة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للديزل الحيوي الناتج مع خصائص أنواع أخرى من ديزل الخروع المنتجة في مصر ونيجيريا كما ورد في الأدبيات العلمية. في المرحلة التجريبية اللاحقة، تم مزج الديزل الحيوي مع الديزل البترولي التقليدي واستخدامه كوقود لتشغيل مولد كهربائي. وركزت هذه المرحلة على تقييم الأداء البيئي والطاقي تحت أحمال مختلفة للمحرك ونسب مزج متعددة. وقد أظهرت النتائج أن استخدام خليط الديزل الحيوي يؤدي إلى خفض الانبعاثات وتحسين كفاءة المحرك، مما يؤكد الفوائد البيئية والإمكانية العملية لاستخدام ديزل الخروع كوقود صديق للبيئة. وتشير النتائج العامة إلى أن بذور الخروع المزروعة في الجزائر تمثل مصدراً واعداً لإنتاج الزيت والديزل الحيوي، مما يوفر مورداً متجدداً ومحلياً يمكن أن يساهم في تعزيز الاستراتيجية الوطنية للطاقة المستدامة.

**الكلمات المفتاحية:** الديزل الحيوي؛ زيت الخروع؛ الأسترة المتبادلة؛ الوقود البديل؛ أداء المحرك؛ تقليل الانبعاثات.

Ces travaux ont été réalisés au Laboratoire d'exploitation et de valorisation des ressources énergétique sahariennes LEVRES