

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

Safir Soumaia

Derradji Rabia

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Chimique

THÈME

**Valorisation Des Déchets Plastiques Algériens Par Pyrolyse Catalytique Pour
La Production D'un Carburant Durable**

Soutenue le 28/06/2026

Devant le jury composé de:

M.BOUCELKHA A. MCB, Univ. Bouira Président du jury

Mme.HADIOUCHE D. MCA, Univ. Bouira Examineur

M. MERZOUK A. MCA, Univ. Bouira Encadreur

Année universitaire : 2025 / 2026



Faculté SNV Université Bouira



CERTIFICAT D'ANALYSE

NOM DU DOCUMENT

SAFIR Sourmia DERRADJI Rabia.docx

SOUMIS PAR

Département Génie des Procédés FSSA Enseignant

TYPE D'ANALYSE

Usage universitaire

DATE DE SOUMISSION

2026-06-21

ETUDIANT CONCERNÉ

SAFIR Sourmia DERRADJI Rabia

14.0 %

TAUX GLOBAL DE SIMILARITÉ

• Similarité Texte (14.0%) • Texte Original (86.0%)

SOURCES IDENTIFIÉES

140

Internet

129

Base Detectia

12

Dépôt Institutionnel

0

CITATIONS & RÉFÉRENCES

0.09%

Juridique (Lois)

0.0%

Religieux (Textes sacrés)

0%

Autres

0.1%

AVIS LÉgal

Ce document est un rapport technique généré automatiquement par le système Detectia. Il ne constitue pas à lui seul une preuve de plagiat. L'interprétation des résultats incombe aux instances académiques compétentes conformément à l'article M1082 du 27 Octobre 2020 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat.

Signature Numérique



1026106881246507





نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة)..... *Safin Soumaia* الصفة: طالب (ة)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية:..... *40524381* والصادرة بتاريخ: *2023.03.20*

المسجل(ة) // بكلية العلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائق

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها:..... *Valorisation des déchets plastiques algériens*

..... *par pyrolyse catalytique pour production de carburant durable.*

..... *Mourouk Ahmed* تحت إشراف الأستاذ(ة):

أصرح بشرفي اني ألتم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في
انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ:..... *2023.06.06*

توقيع المعني(ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

14%

النسبة:

الامضاء:





نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة)..... *Derradji Rabia* الصفة: طالب (ة)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية:..... *415161941* والصادرة بتاريخ: *28-05-2015*

المسجل(ة)/ بكلية العلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائق

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها:..... *Valorisation des déchets plastiques algériens*

..... *par pyrolyse catalytique pour la production de carburant Durable*

..... *Merzouks, ci* تحت إشراف الأستاذ(ة):

أصح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في
انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: *23-06-2016*

[Signature]

توقيع المعني(ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

النسبة:

14%



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener ce mémoire à son aboutissement.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur, **M. A.**

MERZOUK, pour la confiance qu'il nous a accordée, la qualité de son encadrement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce travail. Ses orientations scientifiques et ses remarques pertinentes ont contribué de manière significative à l'aboutissement de cette étude.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce mémoire. Nous les remercions pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail ainsi que pour leurs remarques et suggestions constructives.

Enfin, nous adressons notre profonde gratitude à nos familles pour leur soutien indéfectible, leur patience, leurs encouragements constants et les sacrifices consentis tout au long de ce parcours. Nous exprimons également notre sincère reconnaissance à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont accompagnés, soutenus et encouragés durant cette aventure académique.

Dédicace

Je dédie ce travail aux êtres les plus chers au monde : ma mère et mon père Abderrahmane, pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien

Inconditionnel.

À mes sœurs et mes frères, pour leur encouragement et leur présence.

À ma grand-mère Bakhta, source de tendresse et de bénédiction.

À tous mes amis, pour leur aide et leur solidarité.

Merci à tous ceux qui m'ont soutenu durant ce parcours.

Rabia

Dédicace

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour leur amour, leur soutien et leurs sacrifices tout au long de mes études.

À mes chers frères, Faïez et Bilal, pour leurs encouragements et leur présence à mes côtés.

À toute ma famille, pour leur soutien et leurs prières.

À mes amis, pour leur aide et les moments partagés durant ce parcours.

À tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin.

Soumaia

Résumé

L'accumulation des déchets plastiques constitue un important problème environnemental, notamment en Algérie où environ **2,2 millions de tonnes** sont produites chaque année. Cette étude porte sur la valorisation des déchets plastiques de la wilaya de Bouira par pyrolyse avec et sans catalyseur (CaO). Vingt-cinq échantillons ont été soumis à des essais de pyrolyse afin d'évaluer l'effet du catalyseur sur le rendement et la qualité des produits obtenus. Les résultats montrent que le type de plastique influence les performances du procédé et que l'ajout du CaO améliore, dans plusieurs cas, le rendement et la qualité de l'huile produite. La pyrolyse apparaît ainsi comme une solution prometteuse pour la valorisation des déchets plastiques.

Abstract

Plastic waste has become a major environmental issue, particularly in Algeria, where about **2.2 million tons** are generated each year. This study investigates the valorization of plastic waste from Bouira using pyrolysis with and without a calcium oxide (CaO) catalyst. Twenty-five plastic waste samples were tested to evaluate the effect of the catalyst on process yield and product quality. The results showed that plastic type significantly affects the process, while CaO improved the yield and oil quality in several cases. These findings confirm that pyrolysis is a promising method for plastic waste recovery.

الملخص

مليون طن سنوياً. تهدف هذه الدراسة إلى **2.2** تمثل النفايات البلاستيكية تحدياً بيئياً كبيراً، خاصة في الجزائر التي تنتج حوالي (CaO). تثمين النفايات البلاستيكية بولاية البويرة باستعمال تقنية الانحلال الحراري بوجود وغياب محفز أكسيد الكالسيوم **عينة** من النفايات البلاستيكية لدراسة تأثير المحفز على مردود العملية وجودة المنتجات. أظهرت **25** أجريت التجارب على النتائج أن نوع البلاستيك يؤثر في مردود الانحلال الحراري، وأن استخدام أكسيد الكالسيوم ساهم في تحسين المردود وجودة الزيت في عدة حالات. وتؤكد الدراسة أن الانحلال الحراري يُعد تقنية واعدة لتثمين النفايات البلاستيكية والحد من آثارها البيئية.

la liste des sigles et abréviations:

AND : Agence Nationale des Déchets

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

UNEP : United Nations Environment Programme (Programme des Nations Unies pour l'environnement)

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

OMS : Organisation mondiale de la santé

IFPEN : IFP Énergies nouvelles

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

HSE : Hygiène, Sécurité et Environnement

PE : Polyéthylène

PP : Polypropylène

PS : Polystyrène

PVC : Polychlorure de vinyle (ou Chlorure de polyvinyle)

PET : Polyéthylène téréphtalate

PEHD (ou HDPE) : Polyéthylène Haute Densité

PEBD (ou LDPE) : Polyéthylène Basse Densité

PC : Polycarbonate

CaO : Oxyde de calcium

DCO : Demande Chimique en Oxygène

Abs : Absorbance

NIR : Proche infrarouge (spectroscopie)

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

DZD : Dinar algérien (monnaie)

Liste des matières:

Introduction générale	2
Chapitre I: Synthèse bibliographique sur les déchets plastiques et leur valorisation.....	4
1. Généralités sur les plastiques	5
1.1. Définition et historique des polymères	5
L'histoire du plastique.....	5
1.2. Structure du polymère.....	7
1.2.1. Polymères linéaires	7
1.2.2. Polymères ramifiés.....	7
1.2.3. Polymères réticulés	8
1.2.4. Polymère amorphes et polymères cristallisés	8
1.3. Classification des plastiques (polymères).....	9
1.3.1. Les polymères thermoplastiques.....	9
1.3.2. Les polymères thermodurcissables.....	9
1.3.3. Les élastomères	9
1.4. Les principaux types des plastiques et leurs applications	9
1.4.1. Polyéthylène (PE)	10
1.4.2. Polypropylène (PP)	11
1.4.3. Polystyrène (PS)	11
1.4.4. Chlorure de polyvinyle (PVC)	12
PET (polyéthylène téréphtalate)	13
HDPE ou PEHD (polyéthylène haute densité)	13
PVC (chlorure de polyvinyle)	13
2. Les déchets plastiques: état des lieux et enjeux	15
2.1. Production et composition des déchets plastiques.....	15
2.2. Les sources des déchets plastiques.....	16
2.2.1. Les déchets industriels	16
2.2.2. Déchets de post consommation	16
2.3. Impact des déchets plastique.....	18
2.3.1. Impact sur l'environnement	18
2.3.2. Impact sur santé humaine	19
2.3.3. Impact sur l'économie	20

2.4. Gestion et traitement des déchets plastiques	21
2.4.1. Les techniques des traitements des déchets	22
3. Valorisation des déchets plastiques	23
3.1. Recyclage (valorisation de matière).....	23
3.1.1. Recyclage mécanique	23
3.1.2. Recyclage chimique.....	24
3.2. La valorisation énergétique par pyrolyse	25
4. La pyrolyse des plastiques.....	26
4.1 Définition de la pyrolyse	26
4.2 Conditions opératoires de la pyrolyse	27
4.2.1. Température	27
4.2.2. Pression	27
4.2.3. Catalyseur	27
4.2.4. Temps de séjour	27
4.3. Produits issus de la pyrolyse	27
4.3.1. La fraction liquide	27
4.3.2. La fraction gazeuse	28
4.3.3. Le résidu solide (char)	28
4.4. Types de pyrolyse	28
4.5.1. Réduction de la pollution plastique	29
4.5.2. Réduction des émissions	29
4.5.3. Production local d'énergie propre	29
4.5.4. Réduction de la facture d'importation et autosuffisance	29
5. La pyrolyse catalytique.....	30
5.1. Définition de la pyrolyse catalytique	30
5.2. Rôle des catalyseurs dans la pyrolyse des plastiques	30
5.3. La différence entre la pyrolyse thermique et pyrolyse catalytique	31
Chapitre II: Matériel et Méthodes	32
1. Matière première et préparation	33
1.1. Collecte des déchets plastiques.....	33
1.2. Tri des déchets.....	35
1.3. Prétraitement des déchets	35
2. Catalyseur utilisé.....	36

2.1. L'oxyde de calcium(CaO).....	36
3. Matérielles expérimentales.....	36
4. Dispositif experimental de pyrolyse.....	37
4.1. Description du montage expérimentale.....	37
4.2. Procédure expérimentale.....	38
4.3. Plan d'expériences.....	40
5. Méthodes d'analyse des produit	41
5.1. Analyse physico-chimique	41
5.1.1. Le PH	41
5.1.2. DCO (Demande chimique en oxygène)	42
•Solution de digestion (0,04167 M de $K_2Cr_2O_7$).....	42
($HgSO_4$).Compléter à 1 litre avec de l'eau distillée.	42
5.2.Sécurité et précautions expérimentales (HSE)	44
5.3. Analyse physique et test d'inflammabilité du fuel	44
5.3.1. Analyse physique du fuel	44
5.3.2. Test d'inflammabilité	44
5.3.3. Comparaison avec le carburant commercial.....	45
6. Méthodes de calcul des rendements et des densités	46
6.1. Calcul des Rendements massique $\eta(R\%)$	46
6.2. Calcul des densité.....	46
haptre III: Résultats et discussion	47
1. Résultats expérimentaux de la pyrolyse.....	48
1.1. Analyses quantitative des fraction.....	48
1.2. Rendement massique des produits de pyrolyse.....	51
1.2.1. Influence le type de plastique et le catalyseur sur le rendement d'huile	54
Polyéthylène (PE)	54
Polypropylène (PP)	55
Mélange PE + PP.....	55
1.3.Caractérisation de la phase aqueuse:	56
1.3.1.Analyse et interprétation de l'évolution de PH:	57
1.3.2.Analyse et interprétation de l'évolution de l'absorbance:.....	58
1.4.Étude comparative et aptitude à la combustion de l'huile de pyrolyse:	61
Diesel	61

1.4.1. Analyse des propriétés physiques et sensoriel:	65
1.4.2. Test de combustion et comparaison avec Diesel:	66
1.4.3. Fumée, suie et résidus après combustion :	66
1.4.4. Comparaison entre les huiles produites et le diesel commercial :	66
2. Valorisation énergétique et valeur ajoutée du procédé de pyrolyse:.....	66
2.1. Bilan massique de la pyrolyse:.....	67
2.1.1. Consommation énergétique du procédé:	67
2.1.2. Valorisation économique et estimation de la valeur ajoutée:.....	67
Conclusion Générale.....	68
Bibliography	71
B. Production et Typologie des Déchets Plastiques.....	76
C. Pratiques Actuelles de Gestion des Déchets.....	76
D. Disposition à Participer et Préférences Logistiques.....	77
E. Motivation et Perspectives d'Amélioration	77
B. Production et Typologie des Déchets Plastiques.....	78
C. Pratiques Actuelles de Gestion des Déchets.....	78
D. Disposition à Participer et Préférences Logistiques.....	79
E. Motivation et Perspectives d'Amélioration	79

Liste des tableaux:

Tableau I-1 : principales dates de l'histoire des plastiques (adapté de (Carrega, 2002)).	6
Tableau I-2 : Types de plastiques :	13
Tableau I-3 : les types de pyrolyse.	28
Tableau II-1 : quantité des déchets plastiques collectées auprès des ménages durant un mois.	34
Tableau II-2 : plan d'expériences détaillé pour la pyrolyse des déchets plastiques de Bouira	40
Tableau II-3: les scores selon les critères de chaque expériences.	45
Tableau III-1 : les résultats expérimentaux.	49
Tableau III-2 : le rendement et densité de chaque produit.	51
Tableau III-3 : valeurs de pH et d'absorption pour tous de plastiques	56
Tableau III-4 : caractéristiques physiques, sensorielles et performances du diesel commercial.	60
Tableau III-5 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse thermique du PE à 380°C sans catalyseur.	61
Tableau III-6 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PE à 350°C	61
Tableau III-7 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse thermique du PP à 346°C sans catalyseur.	62
Tableau III-8 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PP à 340°C avec catalyseur.	62
Tableau III-9 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PP+PE à 350°C sans catalyseur	63
Tableau III-10: caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PP+PE à 334°C avec catalyseur.	63

Liste des figures :

Figure I-1: polymères linéaires (WEISS, 2010).	7
Figure I- 2 : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b).	7
Figure I- 3: polymère réticulé avec ponts di-sulfure reliant deux chaînes.	8
Figure I-4 : Représentation schématique d'un polymère semi-cristallisé	8
Figure I- 5: représentation du polyéthylène haute densité (PEHD).	10
Figure I- 6: représentation du polyéthylène à basse densité (PEBD).	11
Figure I- 7: représentation du polypropylène (PP).	11
Figure I-8: représentation du polystyrène (PS).	12
Figure I- 9: représentation du polychlorure de vinyle (PVC).	13
Figure I-10: Évolution de l'utilisation mondiale de plastique, en millions de tonnes (1951-2021).	15
Figure I-11 : Composition des déchets plastiques en Algérie (par sous-catégories).	16

Figure I- 12:Une tortue marine enchevêtrée	20
I-13: Pollution plastique sur un rivage.....	20
Figure I- 14: La quantité de macroplastiques et de microplastiques rejetés dans l'environnement dans le monde est estimée à 22 Mt.....	21
Figure I-15: Schéma représentant les différentes voies de recyclage mécanique et les boucles de recyclage chimique des déchets plastiques.....	25
Figure I- 16: Schéma de pyrolyse du plastique	26
FigureI- 17: la comparaison entre pyrolyse thermique et pyrolyse catalytique.....	31
Figure II-1: Plastique de type PP broyé.....	35
Figure II-2:Plastique de type PE broyé.....	35
Figure II-3: le catalyseur utilisé (CaO).	36
Figure II-4: Montage expérimental de pyrolyse en laboratoire.....	38
Figure II-5: PH-mètre.....	41
Figure II-6: Spectrophotomètre DCO.....	44
Figure II-7: DCO mètre.....	44
FigureIII-1:Planche photographique des produits de pyrolyse: fraction liquides(huiles) et résidus solides(char).....	48
Figure III-2: Diagrammes circulaires du rendement massique de la pyrolyse du (PE) : (a) sans catalyseur, (b) avec catalyseur (CaO).	51
Figure III-3: Diagrammes circulaires du rendement massique de la pyrolyse du (PP) : (a) sans catalyseur, (b) avec catalyseur (CaO).	52
FigureIII-4: Diagrammes circulaires du rendement massique de la pyrolyse du mélange (PE+PP) : (a) sans catalyseur, (b) avec catalyseur (CaO).	53
Figure III-5: Histogramme comparatif du rendement en fraction liquide (huile) pour les différents essais de pyrolyse thermique et catalytique.....	54
Figure III-6: Évolution du pH avant et après pyrolyse des différents type de plastiques avec et sans catalyseur.....	57
Figure III-7: Évolution du absorbance avant et après pyrolyse des différents type de plastiques avec et sans catalyseur.....	58

Introduction générale

Introduction générale

Le plastique est un matériau dérivé de l'industrie pétrochimique, et constitue aujourd'hui le principal composant des objets fabriqués qui peuplent et forment notre milieu environnemental. Présent dans la vie quotidienne des ménages à l'échelle mondiale, le plastique se caractérise par son prix réduit, sa grande polyvalence, sa légèreté et sa résistance, ce qui explique l'augmentation significative de sa consommation. Selon les estimations, la production mondiale annuelle des déchets plastiques est évaluée à près de 2,01 milliards de tonnes (**BANQUE MONDIALE, 2018**). Cependant, selon **ONU (2015)**, 9 % des déchets plastiques sont recyclés, tandis que le reste se retrouve dans les écosystèmes terrestres et marins, provoquant des conséquences préoccupantes. (**AND, 2020**).

La valorisation représente une piste très prometteuse et d'une remarquable efficacité pour la gestion des déchets plastiques, et intervenant directement après la prévention de leur production et la réduction à la source. L'intérêt pour la valorisation des déchets plastiques découle de la raréfaction des ressources naturelles nécessaires à leur production, essentiellement les ressources pétrolières. Par ailleurs, la valorisation des déchets plastiques offre des perspectives économiques et sociales telles que la création d'emplois, de richesses, d'intégration sociale, etc. Cependant, cette nécessité n'est pas identique d'un pays à un autre. (**DORBANE, GENDOUI, & MZRIG, 2021**).

L'Algérie fait face à un défi critique de gestion des déchets plastiques, avec une production annuelle dépassant 2 millions de tonnes et un taux de recyclage inférieur à 10%. Comment transformer un déchet polluant en ressource utile, et ainsi inscrire la gestion des déchets plastiques dans une logique d'économie circulaire adaptée au contexte algérien?

Parmi ces différentes méthodes disponibles, la pyrolyse suscite un intérêt particulier. Cette technologie constitue une voie prometteuse pour éliminer ces déchets toxiques pour l'environnement, en offrant la possibilité de produire simultanément des substances valorisables, telles que des carburants (diesel, essence) et substances chimiques (monomères) à destination de l'industrie pétrochimique.

Par ailleurs, les carburants obtenus à partir de déchets plastiques peuvent être propres, sans soufre et posséder des caractéristiques similaires à celles des normes de combustibles fossiles.

Introduction Générale

Le choix du plastique utilisé ainsi que l'optimisation rigoureuse des paramètres de conversion, incluant la conception du réacteur, la température de pyrolyse, la pression, le gaz de fluidisation et durée de séjour, jouent un rôle déterminant dans la production efficace de l'essence, de carburant diesel qualité et divers autres produits (DAHOU, KADDOUR, & MIMOUN, 2018).

L'objectif de notre travail est valorisation des déchets plastique de wilayat de Bouira (Algérie) par pyrolyse catalytique pour la production de carburant durable. Cette étude vise à évaluer l'influence de la nature des polymères (polyéthylène et polypropylène) et de la présence d'un catalyseur (oxyde de calcium, CaO) sur les rendements et les propriétés physico-chimiques des fractions liquides produites.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

Chapitre I – Synthèse bibliographique sur les déchets plastiques et leur valorisation.

Chapitre II – Matériel et méthodes : présentation du dispositif expérimental et des protocoles d'analyse.

Chapitre III – Résultats et discussion : présentation les résultats expérimentaux.

Chapitre I: Synthèse bibliographique sur les déchets plastiques et leur valorisation

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

Le développement considérable des matériaux polymères au cours des sept dernières décennies a profondément reconfiguré les modes de consommation et de production à l'échelle mondiale. Si le plastique a indéniablement contribué aux avancées technologiques et à l'amélioration des conditions de vie, il constitue aujourd'hui l'un des défis environnementaux les plus complexes de notre époque. Ce chapitre propose une synthèse bibliographique structurée portant sur la nature, la classification et les propriétés des matières plastiques, l'état des lieux de la production et de la gestion des déchets plastiques, ainsi que les principales voies de valorisation disponibles.

1. Généralités sur les plastiques:

1.1. Définition et historique des polymères:

Le plastique est une substance synthétique constituée de polymères, caractérisée par sa capacité d'être moulée ou modelée facilement après chauffage et qui peut être souple ou rigide **(BRAHIMAN, 2018)**. Polymère est un mot qui vient du grec *pollus* : plusieurs, et *meros* : partie. Il désigne donc un matériau formé de plusieurs parties appelées (monomères), reliées par des liaisons covalentes pour créer une structure polymérique **(Deterre R, 1997)**. Le monomère est une molécule simple qui peut s'associer avec d'autres molécules pour former un polymère ou macromolécule par une réaction chimique appelée polymérisation. Les polymères caractérisent généralement par une masse moléculaire plus faible. Le terme macromolécule est généralement utilisé à la place de polymère. Les noyaux des monomères sont généralement basés sur un atome de carbone pour les molécules organiques ou un atome de silicium dans le cas des polymères silicones. On distingue deux types de polymères : Un homopolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques. Un copolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères de deux ou plus sortes différentes **(WEISS, 2010)**.

L'histoire du plastique:

L'histoire des matériaux polymères prend ses racines autour de 1830, mais ce n'est qu'au début du XXe siècle que les matières plastiques industrielles font leur véritable apparition. Le tableau 1 récapitule les principales étapes de cette évolution.

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

Tableau I-1: principales dates de l'histoire des plastiques (adapté de (Carrega, 2002)).

Année	Événement clé
1833:	Nitration de la cellulose, premiers films de nitrocellulose pour la photographie.
1839:	Vulcanisation du caoutchouc par Goodyear.
1865:	Le traitement par l'anhydride acétique.
1880 :	Préparation du méthacrylate de méthyle.
1884:	Chardonnet filer la première soie artificielle.
1897:	Apparaît de la Galalit (formol et caséine) en Angleterre.
1900:	Apparition initiale des matières plastiques industrielles.
1909:	Baekeland prépare les premières matières polymères de synthèse (phénol et formol).
1914:	Début de l'industrialisation de la Galalit et des phénoliques.
1920:	Staudinger décrit les macromolécules.
1939- 1945: Développement accéléré des plastiques (PVC, polystyrène, polyéthylène) pendant la Seconde Guerre mondiale.	
1950 :	Expansion de la pétrochimie et des plastiques classiques (PE, PP, ABS, etc.).
1960:	Apparaît de polymères de haute performance : poly sulfones, polyéther cétones, polymères cristaux liquides thermo tropes et lyotropes.
1973-1980:	Crise pétrolière : prise de conscience de la nécessité d'économiser les

ressources et de recycler.

1.2. Structure du polymère:

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être Linéaires, ramifiés ou réticulés. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être, au moins partiellement, cristallisés (weiss, 2010).

1.2.1. Polymères linéaires:

Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide.

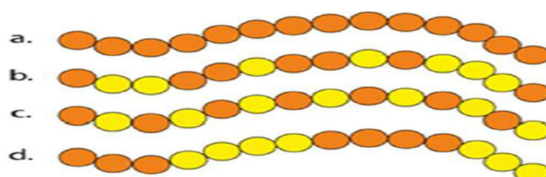
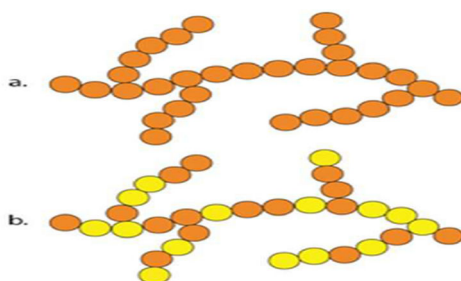


Figure I-1: polymères linéaires (WEISS, 2010).

1.2.2. Polymères ramifiés:

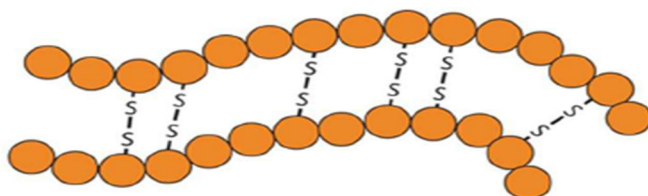
Des chaînes homopolymériques ou Co polymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au-dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires.



FigureI- 2 : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b) (WEISS, 2010).

1.2.3. Polymères réticulés:

La réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes Directions de l'espace au cours d'une polymérisation, d'une polycondensation ou d'une Polyaddition, et qui conduit à la formation d'un réseau.



FigureI- 3: polymère réticulé avec ponts di-sulfure reliant deux chaînes (WEISS, 2010).

1.2.4. Polymère amorphes et polymères cristallisés:

Les chaînes macromoléculaires peuvent être organisées de façon de aléatoire dans l'espace et constituer ainsi une phase amorphe. La phase amorphe est, en théorie équivalente à un liquide « figé », sans ordre moléculaire à grande distance. Il existe néanmoins desorientations macromoléculaires préférentielles. Elles peuvent être rangées régulièrement avec la constitution d'un ordre responsable d'une propriété caractéristique de l'état cristallin : l'aptitude du matériau à diffracter les rayons X selon des angles définis. Ces structures peuvent aussi être objectivables en lumière polarisée. Dans un polymère, les deux états ordonnés et désordonnés peuvent exister dans un même matériau qui est alors de nature semi-cristalline.

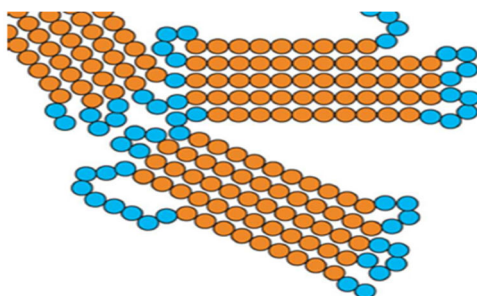


Figure I-4 : Représentation schématique d'un polymère semi-cristallisé (WEISS, 2010).

1.3. Classification des plastiques (polymères):

Il existe plusieurs modes de classification des polymères. Ils sont classés selon divers critères:

- Les polymères thermoplastiques
- Les polymères thermodurcissables
- Les élastomères

1.3.1. Les polymères thermoplastiques:

Les polymères thermoplastiques sont des polymères linéaires ou ramifiés qui ramollissent sous l'effet de la chaleur et se solidifient au refroidissement. Ils sont recyclables, faciles à mettre en forme, peuvent être réchauffés plusieurs fois sans réaction chimique et présentent de bonnes propriétés mécaniques et une longue durée de stockage (ELSOUFI, 2009).

1.3.2.Les polymères thermodurcissables:

Sont des polymères qui se transforment en produits essentiellement infusibles et insolubles après un traitement thermique ou physico-chimique. Ces résines donc ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. (ELSOUFI, 2009).

1.3.3. Les élastomères :

C'est une famille particulière de polymères qui se distingue des plastiques par des comportements différents du point de vue, en particulier, de leur rigidité, de leur déformabilité et de leur résilience. Ils ont une grande capacité à la déformation élastique réversible. Ils ont une structure tridimensionnelle pontée, mais les mailles du réseau sont beaucoup plus lâches que celles des thermodurcissables. Ce sont des polymères amorphes, existant au-dessus de leur température de transition vitreuse (qui est inférieure à la température ambiante (Leprince,2010)).

1.4. Les principaux types de plastiques et leurs applications:

Il existe différents types de plastiques, chacun ayant des propriétés chimique et physiques spécifiques:

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

1.4.1. Polyéthylène (PE):

Le polyéthylène (PE) est l'un des plastiques les plus utilisés dans le monde. Ce polymère thermoplastique est synthétisé à partir de l'éthylène (C_2H_4). Grâce à sa structure chimique simple, il peut être recyclé efficacement. On distingue principalement deux types de polyéthylène :

1.4.1.1. Polyéthylène à haute densité (PEHD)

Le polyéthylène à haute densité (PEHD) est un matériau rigide largement utilisé dans la fabrication des sacs plastiques épais, des bouteilles d'eau de Javel, des bidons ainsi que de nombreux autres emballages et contenants.



FigureI- 5: représentation du polyéthylène haute densité (PEHD).

Source : Otivic. Is HDPE Plastic Safe? <https://otivic.com/is-hdpe-plastic-safe>.

1.4.1.2. Polyéthylène à basse densité (PEBD):

Le polyéthylène à basse densité (PEBD) est un matériau souple principalement utilisé dans la fabrication des films d'emballage, des sacs plastiques, des gaines et d'autres emballages flexibles.



FigureI- 6:représentation du polyéthylène à basse densité (PEBD).

Source : Eco Recycling Today –Polyéthylène basse densité (PEBD) et ses avantages.

1.4.2. Polypropylène (PP):

Le polypropylène (PP) est l'un des plastiques les plus utilisés dans le monde. Ce polymère thermoplastique est synthétisé à partir du **propylène (C_3H_6)**. Grâce à l'équilibre de ses propriétés physico-chimiques, le polypropylène est considéré comme un matériau polyvalent. Il peut être utilisé aussi bien sous forme de pièces plastiques que de fibres. Il présente une bonne résistance à la chaleur, ce qui le rend particulièrement adapté à la fabrication d'objets nécessitant de bonnes propriétés thermiques et mécaniques



FigureI- 7: représentation du polypropylène (PP).

Source : Admin Blog. (2007). PE y PP, viejos conocidos con nuevas posibilidades. Tecnología del Plástico. Consulté le 29 juin 2026, disponible sur : <https://www.plastico.com/es/noticias/PE-y-PP-viejos-conocidos-con-nuevas-posibilidades>

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

1.4.3. Polystyrène (PS):

Le polystyrène est un thermoplastique appartenant à la famille des polymères styréniques, obtenu par polymérisation du styrène. Ce plastique est dur et cassant, et des lignes blanches apparaissent aux endroits soumis à la pression avant la rupture. Lorsqu'il brûle, il dégage de la fumée noire. Le polystyrène est utilisé sous différentes formes : la forme expansée sert pour l'isolation, les plateaux d'aliments prêts à emporter et les boîtes d'œufs ; la forme cristalline transparente est utilisée pour les gobelets, les bols, les couverts en plastique et les boîtiers de CD ; la forme résistante aux chocs sert pour les produits rigides, légers et moulés.



Figure I-8: représentation du polystyrène (PS).

Source: ChemicalSafetyFacts.org(2022). Polystyrene. <https://www.chemicalsafetyfacts.org/chemicals/polystyrene>

1.4.4. Chlorure de polyvinyle (PVC):

Le polychlorure de vinyle (PVC) est l'un des plastiques les plus utilisés dans le monde. Il occupe la troisième place, après le polyéthylène et le polypropylène. Ce polymère thermoplastique est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle (C_2H_3Cl). Le PVC peut se présenter sous une forme rigide ou souple, selon les additifs utilisés. Il est largement employé dans les secteurs du bâtiment, de l'ameublement, ainsi que dans la fabrication de tuyaux, de profilés, de revêtements de sol et de câbles électriques.

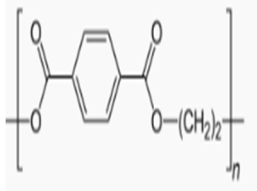
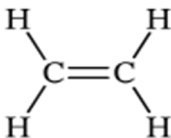
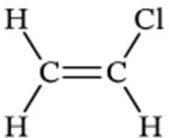
Chapiter I:Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation



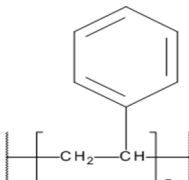
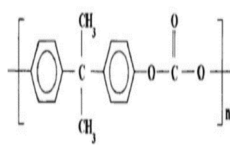
FigureI- 9:représentation du polychlorure de vinyle(PVC).

Source : Frank. (2023). The Remarkable World of Polyvinyl Chloride (PVC). Plastic Molding Solutions. <https://plasticmoldingsolutions.com/otq/polyvinyl-chloride-pvc>.

Tableau I- 2: Types de plastiques :

N°de recyclage (symbole)	Nom du polymère	Monomère	Utilisation
 PET	PET (polyéthylène téréphtalate)		Bouteilles d'eau, bouteilles de vinaigrette, contenant de médicament.
 PEHD	HDPE ou PEHD (polyéthylène haute densité)		film transparent pour emballage, bouchon bouteilles de shampooing, bouteilles d'eau javel.
 PVC	PVC (chlorure de polyvinyle)		Tuyaux, rideau de douche, bouteilles de huile de cuisson.

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

	LDPE ou PEBD(polyéthylène basse densité)	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	Sacs poubelle, film rétractable, et sac à pain, bouteilles souples.
	PP (polypropylène)	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{CH}_3 \end{array}$	Pots de crème glacée, chips, boîtes à lunch, ruban d'emballage de jardin.
	PS (polystyrène)		Gobelets en plastique, barquettes pour plats à emporter, isolation en mousse.
	PC (polycarbonate)		Plaques de toiture, des phares automobiles, lunettes de protection.

2. Les déchets plastiques: état des lieux et enjeux

2.1. Production et composition des déchets plastiques:

Depuis les années 1950, la production mondiale de matières plastiques a connu une croissance exponentielle, générant un total cumulé de 8,3 milliards de tonnes métriques, dont 6,3 milliards sont devenus des déchets. Sur ces déchets, seulement 9 % ont été recyclés, tandis que 79 % ont été enfouis ou abandonnés dans l'environnement naturel. Si les tendances actuelles se maintiennent, ce sont 12 milliards de tonnes qui s'accumuleront dans les décharges et l'environnement à l'horizon 2050 (Parker, 2017).

À l'échelle nationale, la situation algérienne est préoccupante. L'Agence Nationale des Déchets 2020 rapporte que la consommation de matières plastiques a progressé de 11 % par an au cours de la dernière décennie, passant de 10 kg par habitant en 2007 à 23 kg en 2017. Les déchets plastiques représentent aujourd'hui environ 2,1 millions de tonnes par an, soit 15,31 % des Déchets Ménagers et Assimilés (DMA), avec une composition dominée par le polyéthylène, le polypropylène et le PET.

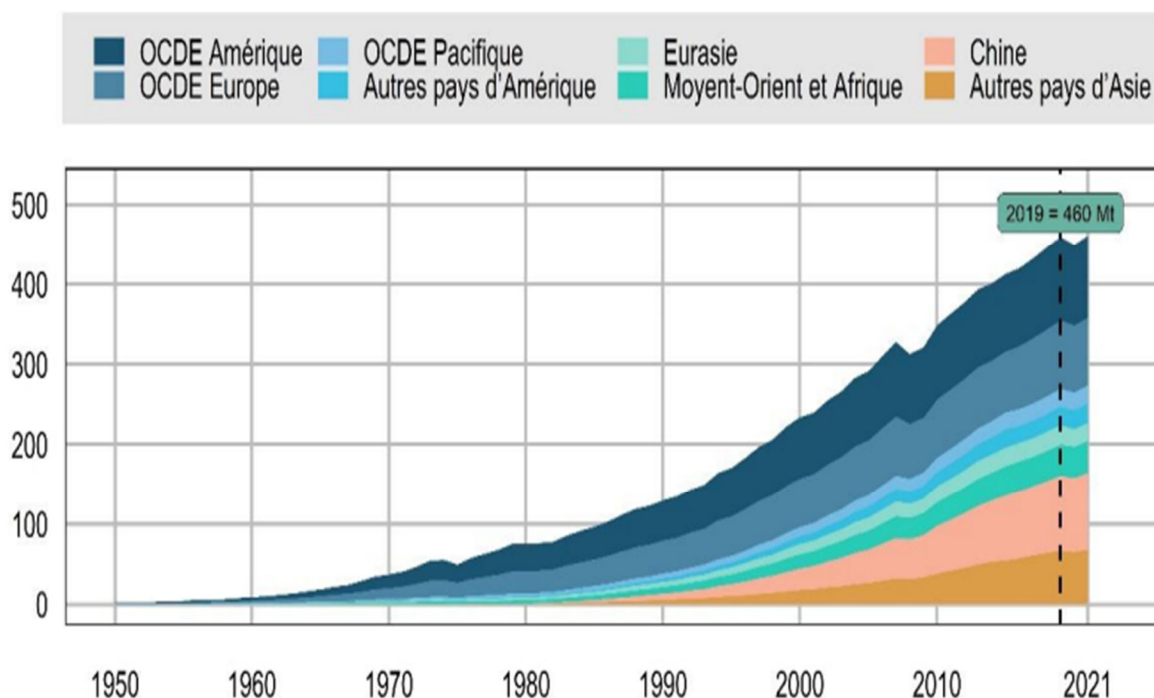


Figure I-10: Évolution de l'utilisation mondiale de plastique, en millions de tonnes (1951-2021).

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

Source : Base de données des Perspectives mondiales des plastiques de l'OCDE,
<https://doi.org/10.1787/34b0a3b7-fr>.

Dans la continuité de cette tendance mondiale, l'Algérie connaît une hausse notable de la production et de la consommation des matières plastiques. Selon l'Agence Nationale des Déchets (AND), la consommation de plastique a enregistré une augmentation de 11 % par an au cours des dix dernières années, passant de 10 kg par habitant en 2007 à 23 kg en 2017. Les déchets plastiques représentent environ 2,1 millions de tonnes par an, soit 15,31 % des Déchets Ménagers et Assimilés (DMA). (AND, 2020)



Figure I-11 : Composition des déchets plastiques en Algérie (par sous-catégories).

Source: (AND, 2020).

2.2. Les sources des déchets plastiques:

2.2.1. Les déchets industriels:

La plus grande masse de déchets provient du secteur industriel et comprend:

- **Déchets de production:** tels que le PE, PP, PS, PET, et PVC provenant de lots de matières correspondants à des arrêts de réacteurs de polymérisation, des purges de réacteurs ou des lots déclassés.
- **Déchets de transformation:** tels que des carottes, bordures de thermoformage, pièces avec défaut, ou chutes de démarrage et d'arrêts de machines. (Bellahcene, 2009)

2.2.2. Déchets de post consommation:

Chapiter I:Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

Les autres sources de plastiques après consommation incluent:

2.2.2.1. Les déchets ménagers: Les déchets plastiques de ménages désignent l'ensemble des déchets constitués partiellement ou totalement de matières plastiques, générés par les activités quotidiennes des foyers, tels que les bouteilles, et les objets en plastique mono matériaux et multi matériaux comme les stylos, les jouets, les peignes, les brosses à dents, les biens durables et les seaux.

2.2.2.2. Les déchets agricoles: Les déchets plastiques agricoles proviennent principalement des plastiques utilisés dans les activités agricoles. Ces plastiques sont destinés à la culture des plantes et à l'élevage dans les exploitations agricoles, en amont des chaînes de valeur alimentaires .Ils comprennent, de manière non exhaustive :

- Les plastiques contribuant à la conservation des fourrages:** tels que les films étirables pour l'enrubannage, les bâches pour couvrir l'ensilage, les ficelles et filets pour maintenir les balles de foin.

- Les plastiques contribuant à la protection des cultures:** tels que les serres, les petits tunnels, les bâches de culture sans arceaux, les films de paillage, les tuyaux et gaines pour l'irrigation; les plastiques d'enrobage des semences, des engrais et des produits phytopharmaceutiques pour une libération contrôlée des molécules d'intérêt. (Debeaufort, 2025)

2.2.2.3. Les déchets de distribution: Les déchets plastiques de distribution proviennent principalement des emballages utilisé pour protéger et transporter et stocker les marchandises. Ces emballages se répandent essentiellement entre le producteur et le consommateur final, comme les sacs plastiques de courses, le film étirable qui enveloppe les marchandises sur les palettes, les barquettes en plastique les bouteilles de boissons en PET et les plaquettes d'emballage fines. Ils sont fabriqués à partir de plastiques courants comme le polypropylène (PP), le polyéthylène (PE) et le polyéthylène téréphtalate (PET).

2.3. Impact des déchets plastiques:

Les produits plastiques sont des matériaux conçus pour durer et être imputrescibles. Évidemment, une fois dans l'environnement, cet atout devient un inconvénient majeur. En effet, selon la nature des différentes sortes de plastique, leur durée de dégradation peut prendre de quelques années à plusieurs siècles. (Oscar, 2022)

Elle porte largement atteinte aux écosystèmes et à la santé humaine, et elle a aussi des conséquences pour le climat puisque la plupart des plastiques sont produits à partir de combustibles fossiles. (OCDE, 2023)

2.3.1. Impact sur l'environnement :

●**Lair:** Les substances chimiques dangereuses et les gaz à effet de serre provenant des installations d'enfouissement sont considérées comme des polluants atmosphériques, entraînant des risques pour la santé humaine tels que des pathologies respiratoires et de cancers, et contribuent au changement climatique. (Megan Deeney, et al., 2024)

●**Le sol:**

La pollution plastique, notamment sous forme de microplastiques, a des effets néfastes considérables sur la santé des sols. Il altère les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol, diminue sa fertilité et peut entraîner une baisse de la productivité agricole. Ces particules perturbent le microbiome du sol, qui joue un rôle essentiel dans le cycle des nutriments, la séquestration du carbone et l'intégrité structurale du sol, compromettant ainsi sa résilience. En outre, ils nuisent à la faune du sol, y compris les vers de terre, et sont susceptibles de contaminer les parties comestibles des plantes, constituant ainsi une menace pour la chaîne alimentaire. (M-F. Dignac, 2025)

●**Milieu marine:**

Les conséquences de la pollution plastique dans les environnements marins peuvent être classées en deux types principaux : les conséquences mondiales englobant des écosystèmes entiers principalement associées à la dispersion des espèces, et les effets localisés concernant des organismes et des populations individuels.

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

Au niveau des écosystèmes, les plastiques constituent un nouvel habitat dans les environnements marins pour un large éventail d'espèces, en particulier pour les macro-organismes benthiques tels que les arthropodes, les mollusques, les hydroïdes, les bryozoaires, ainsi que pour de nombreux micro-organismes, notamment des bactéries, des virus, des champignons et des microalgues de divers genres. Ces organismes colonisent efficacement les débris plastiques présents dans l'environnement marin, s'établissent et prolifèrent potentiellement dans ces substrats, formant ainsi ce que l'on appelle la plastisphère.

Au niveau de populations individuelles, les impacts générés par les déchets plastiques en mer, sont particulièrement visibles sur les grands animaux marins, notamment les oiseaux marins, mammifères ou tortues piégés dans des gros déchets plastiques comme les filets fantômes. Mais ce n'est que la partie visible de l'iceberg. En effet, comparés aux macros plastiques, les micro plastiques sont bien plus nombreux et touchent plus largement l'ensemble de la chaîne alimentaire marine. (François Galgani, 2020)

2.3.2. Impact sur santé humaine: qui comprend les éléments suivants :

- **Fragmentation en microplastiques:** Une fois dans l'environnement, la pollution plastique peut se fragmenter en petits morceaux de plastique. Les particules de plastique dont la taille est inférieure à cinq millimètres (mm) dans une dimension sont appelées « microplastiques ». Des microplastiques ont été trouvés dans des foies, des reins et des placentas humains. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre l'impact des microplastiques sur la santé humaine (UNEP 2021 ; Potter 2021).

- **Exposition à des additifs chimiques:** Les produits chimiques cancérigènes contenus dans les plastiques s'infiltrant dans l'eau du robinet, ce qui peut entraîner des troubles du développement, de la reproduction, neurologiques et immunitaires (UICN 2021a).

- **Propagation de maladies infectieuses:** La pollution plastique, telle que les sacs en plastique à usage unique, peut obstruer les égouts, fournissant un terrain de reproduction pour les moustiques et les parasites, et augmentant le risque de paludisme (UNEP non daté). Le paludisme a un impact disproportionné sur la région africaine de l'Organisation mondiale de la

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

Santé (OMS), où se produisent plus de 95 % des cas de paludisme et des décès (OMS 2022). (l'environnement, 2023)

2.3.3. Impact sur l'économie:

Les impacts de la pollution plastique imposent des charges financières importantes à l'économie mondiale. Selon une estimation, le préjudice annuel attribué à la pollution plastique dépasse 2,2 billions de dollars (par exemple, les dommages aux systèmes d'infrastructure), soit 1,5 billion de dollars de dommages aux écosystèmes marins, 695 milliards de dollars de coûts liés aux émissions de gaz à effet de serre et environ 25 milliards de dollars liés aux polluants provenant de sources terrestres (l'environnement, 2023) .



Figure I- 12: Une tortue marine enchevêtrée dans un sac en plastique.



Figure I-13: Pollution plastique sur un rivage.

Source: (United Nations Environment Programme (2021), GRID-Arendal and Strategic Agenda <https://www.unep.org/>).

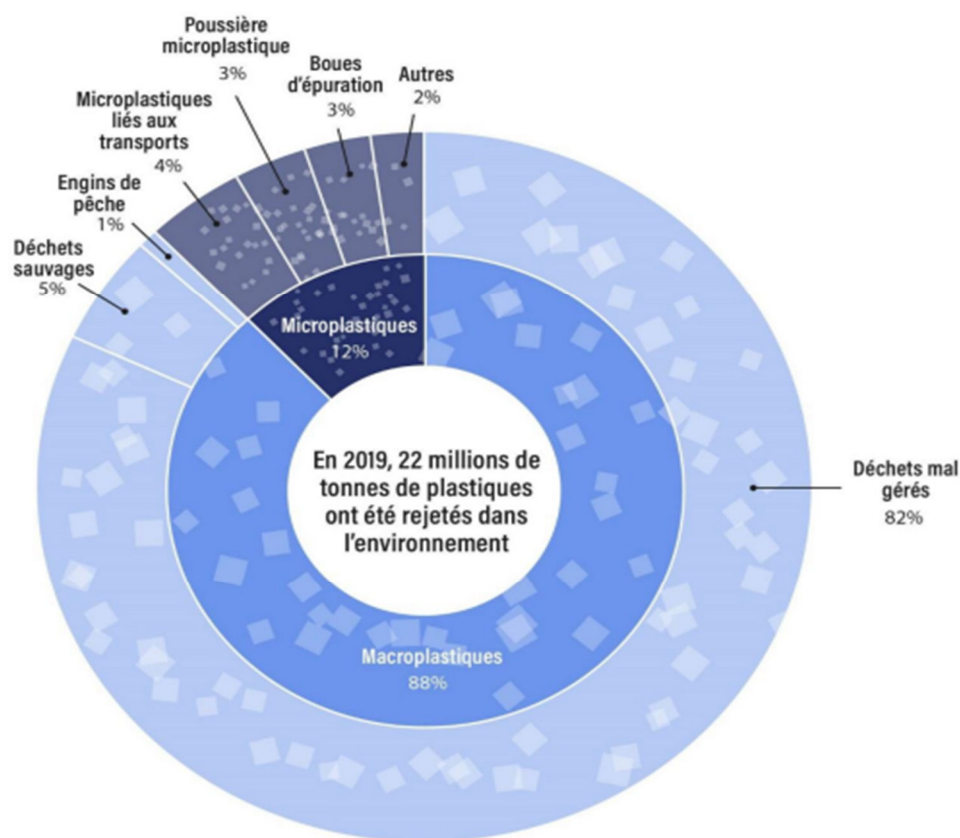


Figure I- 14: La quantité de macroplastiques et de microplastiques rejetés dans l'environnement dans le monde est estimée à 22 Mt.

Source : Base de données des Perspectives mondiales des plastiques de l'OCDE,
<https://doi.org/10.1787/34b0a3b7-fr>.

2.4. Gestion et traitement des déchets plastiques:

des déchets plastiques en Algérie fonctionne selon un cadre complet qui intègre à la fois des aspects juridiques et organisationnels afin d'atténuer leurs impacts environnementaux et sanitaires et d'améliorer l'efficacité de leur prise en charge.

Ce domaine est principalement réglementé par la loi 01-19, qui concerne la gestion des déchets et la loi 03-10, qui se centre sur la conservation de l'environnement, qui consacrent toutes deux des principes fondamentaux tels que la prévention, de valorisation et du « pollueur-payeur » (AND, 2020). Au côté direct, les communes assurent la collecte et l'acheminement des déchets

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

vers les centres d'enfouissement, tout en recourant, notamment dans les grandes villes, à des contrats avec des entreprises privées afin d'améliorer l'efficacité des services et d'alléger la pression sur leurs ressources.

2.4.1. Les techniques des traitements des déchets :

2.4.1.1. Collecte des déchets plastiques:

La collecte est une étape importante dans le processus de valorisation des déchets plastiques. Grâce à elles les matières recyclables sont détournées des dépotoirs et acheminées vers des établissements de transformation (**B. Kouini, & K. Louhab1, 2022**). Il existe plusieurs modes de collecter, notamment:

- **Collecte en mélange:** La collecte en mélange c'est une méthode classique pour collecté des déchets ménagers ou différents types de déchets, sont collectés sans tri préalable entre les produit recyclables et autre déchets (plastique, organique.. etc.). Ces déchets placés dans des sac poubelle et déposés devant la maison, puis transportes par les sociétés spécialisés vers les site d'enfouissement. Cette méthode se distingue par son coût réduit et simple, mais cela complique le processus de recyclage.

- **Collecte séparative:** La collecte séparative vise à collecter les plastiques valorisables dans un ou plusieurs bacs ou conteneurs. Les collectes séparatives peuvent être en " porte à porte " avec un ou plusieurs conteneurs individuels, ou en apport volontaire, dans des " bennes " ou " colonnes " situés à des emplacements étudiés en centre-ville ou en périphérie afin d'assurer un service efficace pour la population tout en minimisant les désagréments. Les collectes séparatives peuvent être à un, deux, trois, quatre voire cinq flux pour chaque type de plastique. (**OPECST, 1999**)

2.4.1.2. Tri :

2.4.1.2.1. Les technologies de tri:

Les technologies de tri des déchets plastiques sont des méthodes utilisées à l'échelle mondiale pour séparer les différents types de plastiques collectés pour améliorer l'efficacité de recyclage. Parmi les méthodes très utilisés sont:

Chapiter I:Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

●**Tri manuel:** C'est une méthode traditionnelle plus répandue, utilisé pour séparer les polymères (déchets plastiques) reposent sur un travail manuel effectué par des ouvriers. Cette méthode notamment répandue dans les pays pauvres.

●**Tri optique (proche infrarouge-NIR) :** La spectroscopie infrarouge proche (NIR) une technologies utilisées par les industriels pour séparer les différent types de plastiques (PP, PE, PET, PVC).Lorsque le rayonnement infrarouge frappe un polymère, les liaisons chimiques absorbent certaine fréquence de résonnance . Chaque type de plastique possède ainsi une signature spectrale spécifique, ce d'identifier le type de polymère qui permet d'identifier le type de polymère, puis les plastiques sont séparés automatiquement.

2.4.1.2..Prétraitement : Comprend:

- le lavage** (élimination des impuretés).
- **Le séchage** (élimination d'humidité).
- **Le broyage** (réduction en paillettes de 2-10 mm).

3. Valorisation des déchets plastiques:

3.1. Recyclage (valorisation de matière):

Depuis longtemps, la gestion des déchets plastiques a connu un développement important des techniques de recyclage, grâce au traitement des polymères ces déchets peuvent être transformés en matériaux réutilisables. Parmi les techniques plus utilisées:

3.1.1. Recyclage mécanique:

Le recyclage mécanique consiste actuellement une des méthodes les plus utilisées pour la valorisation des déchets plastiques. Cette méthode repose d'abord sur la collecte et tri des déchets plastiques selon le type de polymère. Ils sont ensuite broyés, extrudés et transformés en granulés ou paillettes pour servir de matière première recyclée. Il est important de noter que ce procédé ne modifie pas la structure chimique des polymères. Bien que ce processus de recyclage soit largement répandu et très efficace pour la gestion générale des déchets plastiques, il comporte des limites. Le principal est que son utilisation nécessite des déchets plastiques bien

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

triés, ce qui n'est pas toujours possible dans la pratique. De plus, il ne permet pas d'éliminer complètement les additifs et les colorants présents dans les plastiques et ne garantit pas toujours une décontamination complète, limitant la réutilisation des matériaux plastiques recyclés dans certaines applications sensibles. (**BARRÈRE-TRICCA, FAVRE, LE RAVALEC, & DUBLOC, 2024**). En pratique, la situation est beaucoup plus complexe. En effet, ce processus, qui affecte la longueur des chaînes, dégrade les propriétés de la matière qui ne pourra dès lors plus être utilisée pour la même application. Ainsi, dans le cas emblématique des bouteilles transparentes en PET, le polymère recyclé est trop fluide pour être de nouveau mis en forme par des méthodes habituelles et perd également ses propriétés de résistance (**Académie des sciences, 2021**).

3.1.2. Recyclage chimique:

Le recyclage chimique suscite un d'intérêt croissant en raison des limites du recyclage mécanique. Il est apparu dans les années 1990, cette technique permet un recycler en boucle fermée pour revenir à un polymère d'une qualité équivalente à la matière vierge bien que son soit des limites du recyclage mécaniques. Contrairement au recyclage mécanique, il modifie la composition du polymère traité et permet d'en éliminer les additifs. Permet les technologies utilisées: la déformation, la dépolymérisation la conversion. La déformulation constitue à purifie les chaînes des polymères des additifs sans modifier leur configuration chimique, en utilisant des technologies de dissolution ou d'extraction. la déformation est considérée comme le principale processus de recyclage chimique. La dépolymérisation casse les chaînes polymériques de façon contrôlée pour obtenir les monomères. Enfin, la conversion utilise la pyrolyse ou la gazéification pour récupérer des fractions d'hydrocarbures qui peuvent ensuite être convertis en monomères. Les procédés de déformulation et la dépolymérisation correspondent à des boucles relativement courtes et permettent de produit des matières premières recyclées de grande valeur, comme les polymères et monomères. A l'invers, la conversion implique des boucles plus longues, puis les fractions d'hydrocarbures obtenues nécessitent par plusieurs étapes supplémentaire avant d'être transformées en monomères puis repolymérisées. Cependant, cette méthode permet de traiter des déchets plastiques plus hétérogènes. (**BARRÈRE-TRICCA, FAVRE, LE RAVALEC, & DUBLOC, 2024**)

3.2. La valorisation énergétique par pyrolyse

La pyrolyse est un procédé de décomposition thermochimique des matières organiques réalisé en atmosphère inerte (en l'absence d'oxygène), à des températures généralement comprises entre 300 °C et 700 °C. Appliquée aux déchets plastiques, elle génère trois fractions : une fraction liquide (huile pyrolytique ou fuel), une fraction gazeuse (gaz de synthèse combustible) et une fraction solide résiduelle (char). Les huiles obtenues présentent des caractéristiques physico-chimiques proches de celles du diesel ou de l'essence conventionnels, et peuvent être valorisées dans des moteurs à combustion interne ou comme intrants pétrochimiques.

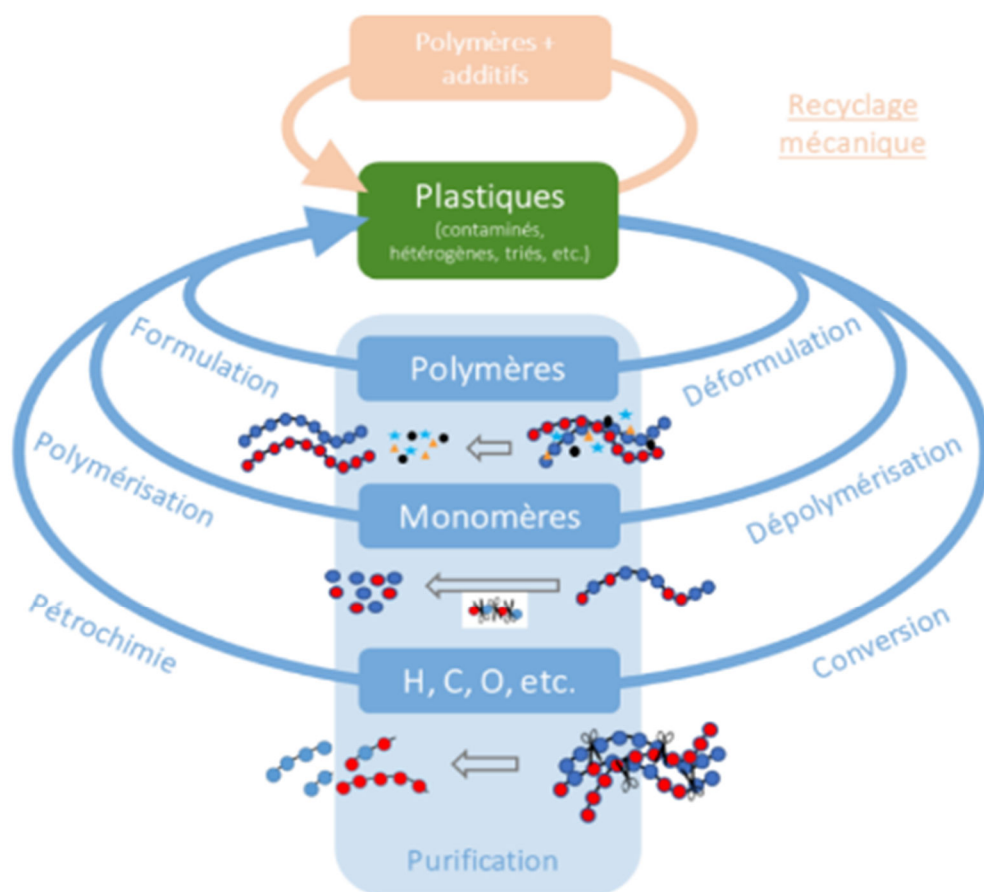


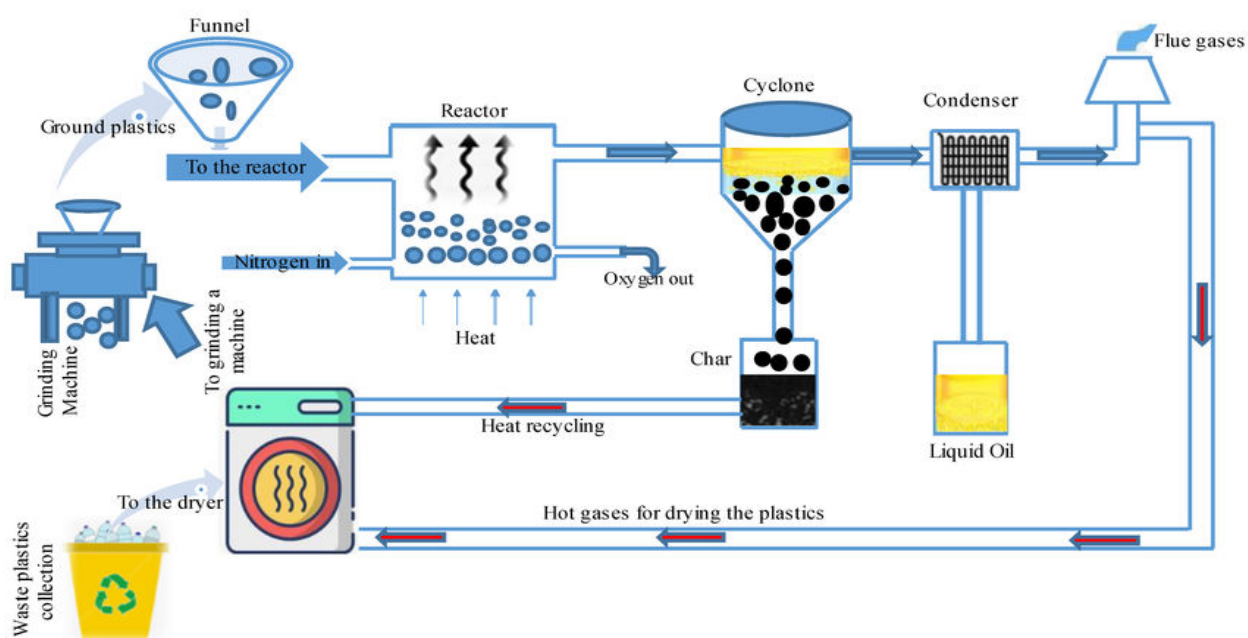
Figure I-15: Schéma représentant les différentes voies de recyclage mécanique et les boucles de recyclage chimique des déchets plastiques.

(Source : IFPEN).

4. La pyrolyse des plastiques:

4.1 Définition de la pyrolyse :

La pyrolyse consiste en la décomposition thermochimique de la matière organique en l'absence d'oxygène. Tiré du grec <<pyro>> (feu) et <<lysis>> (dissolution), le terme souligne la désintégration de la matière sous l'effet de la chaleur pour générer divers produits valorisables. Ce procédé constitue soit une opération autonome, soit une étape intermédiaire de la gazéification et de la transformation. Socle de la transformation de la biomasse en énergie, il est également désigné sous le nom de thermolyse ou de craquage thermique. Il permet de briser les liens chimiques qui retiennent ensemble les molécules ; il s'amorce généralement dès 300°C et se poursuit jusqu'à 600-700°C (Efthymios, 2014). Les trois principaux produits fabriqués lors de la pyrolyse sont : une phase liquide, l'huile de pyrolyse, utilisée comme carburant ou matière première secondaire, un gaz combustible souvent réinjecté pour alimenter le processus, et des résidus solides (char) principalement composés de carbone et de composants minéraux (Efthymios & Weihong, 2013). La pyrolyse ne remplace pas le recyclage traditionnel, mais elle peut compléter le système de gestion des déchets dans les cas où le recyclage mécanique est



inapplicable.

Figure I- 16: Schéma de pyrolyse du plastique

Source:(Milon , Sathish, Titus, & Kirubanidhi, 2025).

4.2 Conditions opératoires de la pyrolyse :

4.2.1. Température : est la variable la plus importante dans le procédé de pyrolyse, car elle régit directement la cinétique et les réactions de craquage des chaînes polymères (sobko, 2014).En général, de faibles températures aboutissent à la formation de phase liquide et de longues chaînes d'hydrocarbures. En augmentant la température, la réaction de craquage est favorisée et la quantité de liquide produite diminue en faveur de la quantité de gaz.

4.2.2. Pression : la pression exerce une influence déterminante sur le déroulement du processus et la composition des produits. L'élévation de la pression augmente les points d'ébullition des composés, forçant ainsi les hydrocarbures lourds à subir une pyrolyse plus profonde au lieu de se vaporiser à la température de fonctionnement définie (Miranda, 2001)

4.2.3. Catalyseur : dans certains cas, des catalyseurs peuvent être utilisés pour augmenter l'efficacité de la pyrolyse et modifier les produits finaux. Les catalyseurs peuvent influencer la sélectivité des réactions chimiques, favorisant ainsi la production de certains produits spécifiques.

4.2.4. Temps de séjour : le temps de séjour est défini comme étant la durée entre le début du chauffage de la matière première et la récupération des produits à la fin de la réaction. Généralement, un temps de séjour long favorise la conversion des produits primaires en produits secondaires, d'où la formation de produits thermiquement stables tels que les hydrocarbures à bas poids moléculaire.

4.3. Produits issus de la pyrolyse :

La pyrolyse permet de séparer les différents composants en fonction de leur point d'ébullition, les différents produits qui pouvant être obtenue par la pyrolyse :

4.3.1. La fraction liquide : contient l'huile de pyrolyse (essence, diesel et fioul), utilisée comme carburant pour les voitures, les bateaux et les centrales électriques.

Chapiter I: Synthèse bibliographiques sur les déchets plastiques et leur valorisation

4.3.2. La fraction gazeuse : cette fraction contient un mélange de gaz légers (méthane, propane et éthane), qui ont des points d'ébullition très bas. Elle est utilisée comme combustible pour chauffer le réacteur de pyrolyse et comme source d'énergie pour d'autres procédés industriels.

4.3.3. Le résidu solide (char) : Le char (résidu carboné appelé noir de carbone) est utilisé comme combustible dans certaines industries et comme amendement pour les sols.

4.4. Types de pyrolyse :

Il existe plusieurs types de procédés de pyrolyse : pyrolyse lente, pyrolyse rapide et pyrolyse flash, classés principalement en fonction de la température, de vitesse de chauffe, et du temps de séjour. Voici le tableau suivant :

TABLEAU I-3 : LES TYPES DE PYROLYSE

Type de pyrolyse	Condition typiques	Produit principal	Sous-produit
Lente	400°C, chauffage faible, long séjour, rendement plus faible	Solide (40-50%)	Huile lourde, gaz
Rapide	500°C, chauffage élevé, moins séjour, rendement max	Liquide (70-80% d'huile)	Gaz, solide
Flash	700°C, chauffage très rapide, le temps très court, produit principalement gaz	Gazeux (60-80% de gaz)	Peu d'huile, peu de char

Source: (Ljiang, Zhen , & Huan , 2020) (Andrew , Heri , Chinedu , & Okieimen, 2021)

4.5 Intérêts environnementaux et économiques de la pyrolyse en Algérie :

Bien qu'il n'existe pas de statistiques officielles précises sur le volume des déchets plastiques recyclables en Algérie, les chiffres approximatifs indiquent que le pays produit chaque année une quantité importante de déchets plastiques. Selon ces estimations, le volume de ces déchets est évalué à **1.5 million de tonnes par an** en Algérie (Bensalem, 2024)

4.5.1. Réduction de la pollution plastique :

Étant donné que l'Algérie produit des millions de tonnes de déchets plastiques, ce qui entraîne une pollution de l'environnement, cette technique est donc la solution la plus appropriée pour traiter cette pollution. En effet, cette technologie permet de traiter les types de plastiques difficiles à recycler (tels que les emballages, les sacs plastique...), ce qui contribue à réduire considérablement le volume des déchets.

4.5.2. Réduction des émissions :

Ce procédé permet d'éviter l'émission de 3.5 tonnes d'équivalent CO₂ par tonne de plastique traitée (Muji , Sunaryo , & Rochman, 2025)

4.5.3. Production local d'énergie propre :

Cette technique permet de transformer une matière polluante (le plastique) en une source d'énergie propre (huiles carburant et gaz). Ceux-ci peuvent être utilisés dans plusieurs domaines, notamment dans les usines et pour la production d'électricité, ce qui contribue à améliorer le secteur de l'énergie et à réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

4.5.4. Réduction de la facture d'importation et autosuffisance :

Bien que l'Algérie soit un pays pétrolier, elle importe de grandes quantités de carburant. Par conséquent, la pyrolyse du plastique est la solution la plus appropriée pour réduire les importations et atteindre l'autosuffisance énergétique en Algérie.

5. La pyrolyse catalytique

5.1. Définition de la pyrolyse catalytique :

La pyrolyse des matières plastiques est une technique avancée et importante. Cependant, la présence de catalyseurs qui contribuent au développement de ce procédé est encore plus cruciale, car ils offrent de nombreux avantages notamment :

- Elle réduit considérablement la température optimale de pyrolyse.
- Elle améliore considérablement la qualité et le rendement de l'huile par rapport à la pyrolyse générale.

La pyrolyse catalytique suscite ainsi un intérêt croissant ces dernières années en raison de son rôle prometteur dans la réduction de la pollution plastique et de la dépendance aux combustibles fossiles ((Cody J, Nolan , & Ofei D, 2023)

5.2. Rôle des catalyseurs dans la pyrolyse des plastiques :

Dans la pyrolyse des plastiques, un catalyseur n'est pas simplement un additif, c'est un contrôleur de processus essentiel. Son rôle principal est d'accélérer et de guider les réactions chimiques qui décomposent les longues chaînes de polymères plastiques en molécules d'hydrocarbures plus petites et plus précieuses. Ce faisant, il réduit l'énergie immense requise pour le processus et améliore considérablement la qualité et le rendement du produit pétrolier liquide final.

Les caractéristiques essentielles d'un catalyseur reposent sur trois piliers ; une sélectivité accrue pour les produits désirés au détriment des sous-produits indésirables, des taux de réaction élevés, et une stabilité durable sous les conditions opératoires.

Ces performances découlent de l'interaction entre les réactifs et la surface du catalyseur. Dans les procédés de reformage, son rôle est déterminant pour optimiser la sélectivité en hydrogène, tout en permettant une réduction de la température de réaction et du volume du réacteur. (James, George, & Michel, 2008)

5.3. La différence entre la pyrolyse thermique et pyrolyse catalytique :

La pyrolyse catalytique et la pyrolyse thermique sont deux méthodes distinctes. La pyrolyse catalytique permet de convertir les matières premières à des températures plus basses environ 600°C, ce qui donne des rendements plus élevés en produits de valeur. Mais la pyrolyse thermique en revanche, fonctionne à des températures plus élevées environ 700°C avec des temps de réaction plus longs et une qualité d'huile plus faible.

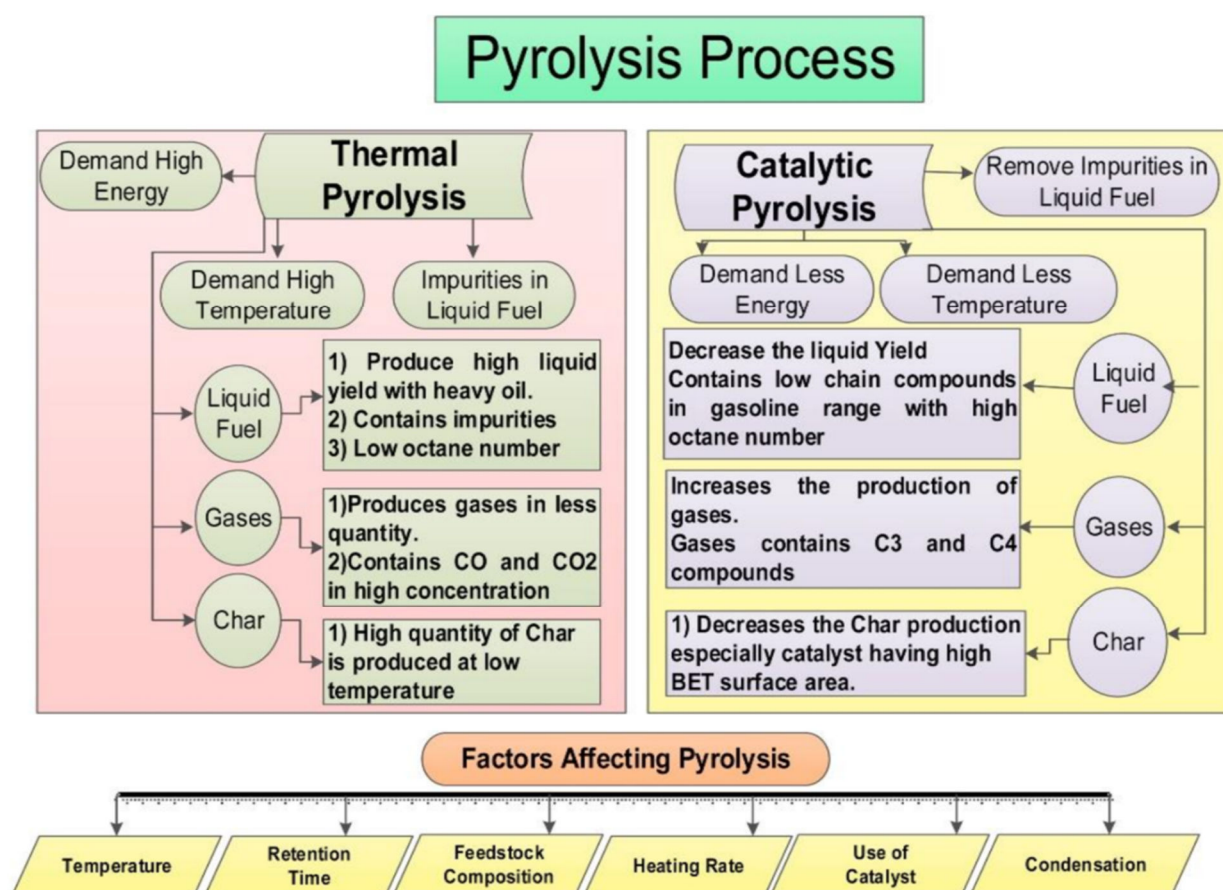


Figure I- 17: la comparaison entre pyrolyse thermique et pyrolyse catalytique.

Source: (Miandad, Rehan, S.Aburiazaiza, & A.Barakat, 2019)

Chapitre II: Matériels et Méthodes

Problématique, questions de recherche et hypothèses:

Rappel de la problématique centrale : Quelles sont les conditions opératoires optimales

(type de catalyseur, durée) de la pyrolyse catalytique pour maximiser le rendement et la qualité des carburants liquides issus des déchets plastiques de la wilaya de Bouira ?

De cette problématique découlent les questions de recherche et hypothèses suivantes :

- **Question principale** : Quel est l'effet de l'ajout d'un catalyseur sur le rendement et la composition de l'huile de pyrolyse issue d'un mélange de déchets plastiques typique de Bouira ?
- **Hypothèse** : L'utilisation d'un catalyseur l'oxyde de calcium(CaO) augmentera la sélectivité vers la fraction légère (essence) et améliorera la qualité de l'huile (réduction de la viscosité, augmentation du pouvoir calorifique) par rapport à la pyrolyse non catalytique.
- **Question secondaire** : Quelle est l'influence de la composition du mélange de plastiques (proportion PE/PP/PP+PE) sur les produits obtenus ?

1. Matière première et préparation:**1.1. Collecte des déchets plastiques:**

La collecte des déchets plastiques ménagers a été réalisée au niveau de la wilaya de Bouira, en couvrant les zone urbaines, semi-urbaines et rurales, afin d'assurer une représentativité optimale des différents contextes socio-économiques et modes de consommation. Pour analyser ces habitudes de consommation de tri sélectif, un questionnaire [voir **Annexe A**] a été distribué auprès d'un échantillon des ménages (familles).L'opération de collecte s'est étalée sur une durée d'un mois, ce qui a permis d'obtenir un échantillon diversifié et représentatif. Les quantités exactes de récupérées durant cette période sont regroupées dans le tableau (II-1) ci-dessous.

Tableau II-1: quantité des déchets plastiques collectées auprès des ménages durant un mois

N	Période de collecte	Lieu de collecte	La masse totale des échantillons (g)
1	05/02 au 05/03/2026	Ain Bessam	2121,5
2	05/02/au05/03/2026	Bouira ville	2100
3	02/03au04/04/2026	Mesdour	1708
4	12/02/au14/03/2026	El Hachimia	1401,9
5	27/02/au02/03/2026	Tagurdite	1774
6	16/02au18/03/2026	Ain Bessam	1213
7	02/03/au02/04/2026	Mesdour	1539
8	19/02/au22/03/2026	El khabouzia	1040
9	23/02/au28/03/2026	El Hachimia	1723,7
10	01/03/au02/04/2026	Mesdour	983
11	19/02/au23/03/2026	Ain Bessam	1066,5
12	19/02/22/03/2026	El Hachimia	1600
13	24/02/au28/03/2026	Ain Bessam	1200
14	03/03/au04/04/2026	Bordj okhriss	1164,6
15	08/02/au09/03/2026	Bechloul	1162
16	22/02/au23/03/2026	Raouraoua	1850,4
17	02/03/au03/04/2026	Mesdour	1032
18	14/02/au18/03/2026	Ain Bessam	1106
19	17/02/au18/03/2026	Mesdour	1345,7
20	02/03/au03/04/2026	Bordj okhriss	1003
21	25/02/au01/03/2026	Mesdour	793
22	27/02/au28/03/2026	Mesdour	1305
23	09/04/au09/05/2026	Ait Azize	5318.5
24	06/04/au06/05/2026	Bouira ville	2562.1
25	09/04au09/05/2026	El adjiba	1294
26	09/04/au09/05/2026	Hizar	1529

1.2. Tri des déchets:

L'opération de tri manuel des déchets plastiques a été réalisée en laboratoire de l'université, à partir d'échantillons prélevés auprès des familles incluses dans étude statistiques. Le a été effectué par type de polymère (PP, PE, PVC, PS) à partir le coude de recyclage (symbole).

1.3. Prétraitement des déchets:

Cette étapes vient après la collecte et tri des déchets plastiques, elle consiste à préparer ces déchets pour améliorer recyclage. Elle comprend généralement:

- Lavage:** C'est la première étape de prétraitement des déchets plastiques. Il consiste à laver ces déchets pour éliminer impuretés organiques et résidus alimentaires. (Alexis, 2025)
- Séchage:** Dans cette étape, il consiste à mettre les déchets dans l'étuve à 150 c° pendant 24 heures pour éliminer l'humidité après le lavage.
- Broyage:** Le broyage est une étape nécessaire du prétraitement des déchets plastiques. Il consiste à réduire la taille de plastiques à des copeaux/flaque (2–10 mm) à l'aide de broyeur industrielle pour assurer une fusion homogène. (Alexis, 2025)



Figure II-1: Plastique de type PP broyé.



Figure II-2:Plastique de type PE broyé.

Source: de notre laboratoire (université de bouira).

2. Catalyseur utilisé:

2.1. L'oxyde de calcium(CaO):

L'oxyde de calcium a été utilisé comme catalyseur lors de la pyrolyse des déchets plastiques. Ce composé minéral est reconnu pour ses propriétés basiques et sa capacité à agir sur les réactions de craquage thermique. Grâce à l'action du CaO qui permet d'optimiser la décomposition des polymère car il favorise la rupture des macromolécules, ce qui peut augmenter de fraction liquides et réduire la quantité des matières solides (char) . Il contribue également à amélioration de l'upgradant des vapeurs sans encrasser la zone de pyrolyse.

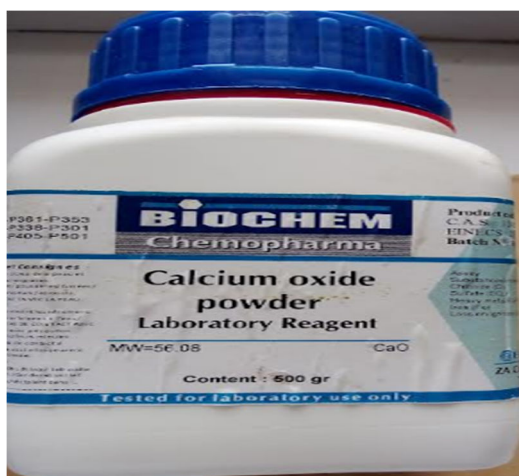


Figure II-3: le catalyseur utilisé (CaO).

Source: de notre laboratoire (université de bouira).

3. Matérielles expérimentales:

Le dispositif expérimental utilisé dans cette étude est constitué des équipements suivants:

3.1 .Un ballon en verre: Utilisé comme un réacteur thermique, permettent de contenir les échantillons des déchets plastiques de la pyrolyse dans des conditions contrôlées de pression et température.

3.2. Un chauffe-ballon: A été utilisé pour assurer le chauffage du ballon en verre (réacteur) et permettant un contrôle adéquat de la température.

3.3. Un condenseur: Ce système a été utilisé pour refroidir les vapeurs qui sont dirigées vers le condenseur, afin de transformer ces vapeur en produits liquides.

3.4. Une source de gaz inerte (argon): L'argon a été injecté dans le système à l'aide d'un ballon de baudruche pour éviter l'oxygène à l'intérieur du ballon en verre pendant la pyrolyse.

3.4. Un thermomètre: Un thermomètre a été utilisé pour suivre l'évolution de la température au cours de l'expérience.

3.5. Une balance analytique: Utilisée pour mesure précise des masse des échantillons de déchets plastiques avant la pyrolyse et la masse du char et de huile après ce processus.

4. Dispositif experimental de pyrolyse:

4.1. Description du montage expérimentale:

Le montage expérimental utilisé dans cette étude est un dispositif de type distillation simple, adapté à la pyrolyse, assurant la décomposition thermique du matériau étudié (plastique) avec récupération des produits condensables. La manipulation débute par la mise en place du ballon directement dans le chauffe-ballon, contenant l'échantillon étudié. Un thermomètre est relié au ballon afin de mesurer la température du mélange. Ce système est ensuite relié à un condenseur à eau, placé en position légèrement inclinée afin de favoriser l'écoulement des condensats. Le réfrigérant constitue l'élément central du dispositif : la circulation continue de l'eau dans la double enveloppe permet de refroidir les vapeurs chaudes issues de la décomposition, qui passent à travers le tube central. Le ballon récepteur est généralement fixé à l'extrémité du condenseur afin de récupérer les condensats (fraction liquide). Un tube de sortie des gaz est relié à la sortie du ballon et conduit vers une fiole sous vide contenant de l'eau distillée, assurant ainsi le transfert des produits gazeux issus de la pyrolyse.

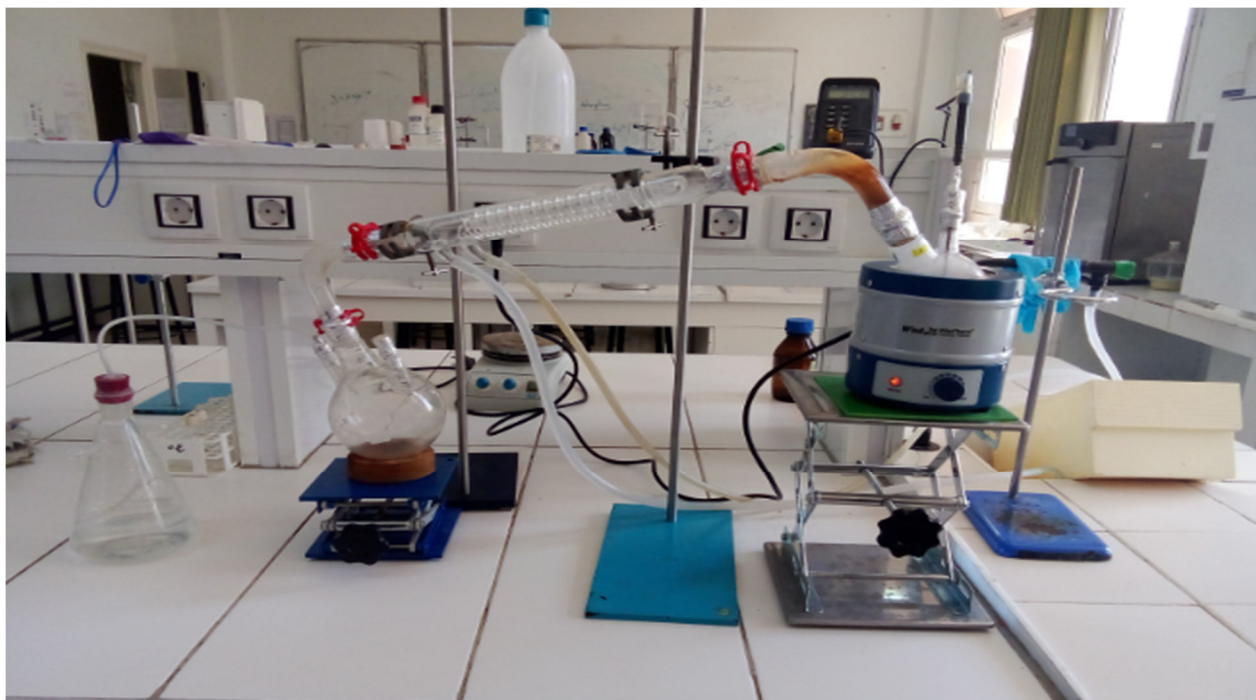


Figure II-4: Montage expérimental de pyrolyse en laboratoire.

Source: de notre laboratoire (Université de Bouira).

4.2. Procédure expérimentale:

Après s'être assurés que l'appareil était correctement et solidement assemblé, une première expérience a été réalisée à titre de test préliminaire, afin de vérifier le bon déroulement du processus. Un échantillon de 50 g de PE a été pesé puis introduit dans un ballon à fond rond de 1 000 ml, avec l'ajout d'un peu de pierre ponce afin d'éviter une ébullition brutale pouvant entraîner la rupture du ballon.

Le ballon a ensuite été fixé dans le dispositif de chauffage, de manière à assurer un bon maintien et une connexion correcte avec le condenseur. Pendant ce temps, 500 ml d'eau distillée ont été mesurés puis introduits dans un erlenmeyer relié, par un tube, à un ballon récepteur, comme indiqué sur le schéma.

Par la suite, de l'argon a été introduit dans le ballon contenant le plastique à l'aide d'un ballonnet, afin d'expulser tout l'oxygène présent dans le système. Cette étape est essentielle, car

le processus doit se dérouler dans un milieu totalement exempt d'oxygène. Après avoir identifié les problèmes techniques rencontrés lors de cette première manipulation et mis en place les solutions nécessaires, nous avons procédé, le lendemain, à la première expérience proprement dite, réalisée avec du polyéthylène (PE) sans catalyseur.

Dans un premier temps, un échantillon de PE de 50 g a été pesé à l'aide d'une balance électronique, puis placé dans un bécher de 500 ml contenant un peu de pierre ponce. Ensuite, le bécher a été installé dans le dispositif de chauffage. Par ailleurs, 500 ml d'eau distillée ont été mesurés puis versés dans un erlenmeyer relié à un ballon récepteur. Tous les éléments de l'appareil ont ensuite été solidement fixés afin d'éviter toute fuite de gaz ou de liquide. Du ruban adhésif en aluminium a été utilisée pour renforcer l'étanchéité de tous les raccords.

L'appareil de chauffage a ensuite été mis en marche, et de l'argon a été introduit dans le système contenant le plastique. Un thermomètre a également été inséré afin de suivre l'évolution de la température au cours de l'expérience. Le chauffage a été poursuivi jusqu'au début de la dégradation thermique du plastique. Après 60 minutes, l'appareil de chauffage a été arrêté. Simultanément, le tube relié au récipient d'eau a été déconnecté afin d'éviter tout reflux d'eau vers le système de collecte des produits, comme cela s'était produit lors de l'expérience préliminaire.

Le même protocole expérimental a été appliqué à toutes les autres expériences. La seule différence résidait dans l'ajout d'un catalyseur lors de certaines manipulations (pyrolyse catalytique) : une quantité correspondant à 1 %, soit 0,5 g de catalyseur, a été introduite pour 50 g de plastique.

4.3. Plan d'expériences

Le plan d'expériences est conçu pour étudier l'influence de la température et de la présence de catalyseur.

Tableau II-2 :plan d'expériences détaillé pour la pyrolyse des déchets plastiques de Bouira

Essai	Matière première	Catalyseur	Ratio de catalyseur	Temps de séjour (min)	Température C°	Analyse prévues
1	PE	Aucun	/	60	380	Rendement, pH,DCO.
2	PE	CaO	1%	60	350	Rendement, pH,DCO
3	PP	Aucun	/	60	346	Rendement, pH,DCO.
4	PP	CaO	1%	60	340	Rendement, pH,DCO
5	PP+PE	Aucun	/	60	334	Rendement, pH, DCO
6	PP+PE	CaO	1%	60	350	Rendement, pH, DCO

5. Méthodes d'analyse des produit:

5.1. Analyse physico-chimique :

5.1.1. Le pH :

Il est important de mesurer le pH de l'eau distillée, car cela permet de détecter la présence de composés acides ou basiques résultant de la dégradation thermique des déchets plastiques, grâce à l'échelle de pH, dont les valeurs vont de 0 à 14 :

Si la valeur est inférieure à 7, le milieu est acide.

Si la valeur est supérieure à 7, le milieu est basique.

Si la valeur est égale à 7, l'eau est pure.

5.1.1.1. Le pH-mètre :

Il s'agit d'un appareil électronique sensible utilisé pour mesurer le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution. Cet appareil fonctionne à l'aide d'une électrode sensible qui mesure la concentration en ions hydrogène dans la solution et l'exprime par une valeur de pH calculée à partir de la différence de potentiel entre les électrodes. (Ajai & Yogita, 2024)



Figure II-5: pH-mètre

Source: de notre laboratoire (Université de Bouira).

5.1.1.2. Mode opératoire :

Dans chaque expérience, la valeur du pH de l'eau distillée contenue dans l'erenmeyer relié au bécher de séparation a été mesurée avant le début de l'expérience et à la fin de celle-ci. La mesure a été effectuée en prélevant un échantillon de la solution (eau distillée avant et après l'expérience) et en le plaçant dans un petit bécher, puis l'électrode a été rincée à l'eau distillée et soigneusement séchée. Ensuite l'électrode a été immergée dans la solution et attendu que la valeur se stabilise a été relevée à l'aide d'un pH-mètre. Cette méthode a été répétée à chaque expérience afin de détecter les composés acides résultant de la décomposition thermique du plastique ; ainsi, si le pH est inférieur à 7, la solution contient des substances acides.

5.1.2. DCO (Demande chimique en oxygène) :

L'objectif de cette analyse DCO est de déterminer la quantité de matière organique présente dans l'eau contenue dans l'erenmeyer après le processus de pyrolyse plastiques, en mesurant la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de ces matières.

5.1.2.1. DCO-mètre :

C'est un appareil qui permet de mesure la DCO d'un échantillon d'eau à l'aide d'un oxydation puissant, d'une digestion et réactif acides et sous chauffage.

5.1.2.2. Préparation de solution digestion et acide réactif:**●Solution de digestion (0,04167 M de $K_2Cr_2O_7$):**

Pour préparer la solution de digestion on va peser 12,259 g de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) séché à 103–105 °C pendant 2 heures, nous avons dissoudre dans de l'eau distillée. Ainsi qu'ajouter 167 mL d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) et 33,3 g de sulfate mercurique ($HgSO_4$). Compléter à 1 litre avec de l'eau distillée.

● Réactif acide:

Nous avons dissoudre 10,12 g de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) dans un 1 litre d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4 , 98 %). Le solution a été laissé au repos pendant 24 à 48 heures en agitant périodiquement jusqu'à dissolution complète.

5.1.2.3. Mode opératoire :**5.1.2.3.1. Préparation des échantillons :**

Des tubes résistants à la chaleur ont été pris et verser 2.5 ml de la solution à analyser (eau distillée avant et après l'expérience) Puis, à l'aide d'une pipette volumétrique, 1.5 ml de solution de dichromate de potassium (digestion) a été versé, puis avec précaution 3.5 ml ont été ajout acide fort. Les tubes ont ensuite été soigneusement fermés et agités manuellement pour obtenir un mélange homogène, avant d'être placés dans le porte-tubes.

5.1.2.3.2. Étape de chauffage :

Les échantillons (tubes) ont été placés dans le DCO-mètre pour les chauffer à une température de 200 °C pendant deux heures. Au bout de deux heures, les tubes été retirés et les laissés refroidir. Un changement de couleur de la deuxième solution a été observé, ce qui indique que celle-ci contient des matières organiques.

5.1.2.3.3.Étape de mesure de l'absorbance :

1. Ajustement de la longueur d'onde du spectrophotomètre à 600 nm.
 2. Essuyage de l'extérieur des éprouvettes avant la lecture de la transmittance.
 3. Ajustement à 100 % de transmittance avec la solution témoin. Rotation du tube pour obtenir la transmittance maximale.
 4. Enregistrement de la lecture de la transmittance des solutions étalons et des échantillons.
- Ces étapes sont répétées à la fin de chaque expérience.

**Figure II-7: DCO mètre.****Figure II-6: Spectrophotomètre DCO.**

Source: de notre laboratoire (Université de Bouira).

5.2.Sécurité et précautions expérimentales (HSE) :

- Porter un tablier, des gants et des lunettes de protection pendant le travail.
- Éviter de toucher l'acide avec les mains car c'est un produit corrosif.
- Éviter de s'asseoir devant l'appareil de pyrolyse.
- Éviter d'inhaler les gaz et les vapeurs dégagés lors de la pyrolyse du plastique.
- Éloigner tout matériel inflammable et nettoyer les outils utilisés.

5.3. Analyse physique et test d'inflammabilité du fuel :

5.3.1. Analyse physique du fuel :

Une petite quantité de carburant a été placée dans un récipient transparent face à la lumière afin d'observer visuellement l'aspect du liquide en termes de clarté ou de turbidité, ainsi que de déterminer sa couleur (jaune ou brun), s'il contient des impuretés ou des particules solides avant d'être filtré, puis de déterminer si la solution est homogène ou non, et d'évaluer sa viscosité, qu'elle soit fluide ou sirupeuse.

5.3.2. Test d'inflammabilité :

- Une quantité de carburant produit est placée dans un bécher.

- À l'aide d'une anse de platine et Cotton immergée dans le carburant, on approche un briquet (source d'allumage) du fil et à l'aide d'un chronomètre, on calcule le temps d'allumage.
- Une fois le carburant allumé, on mesure la durée totale de la combustion.
- Parallèlement, on observe si la quantité de fumée produite est dense ou faible.
- Une fois l'expérience terminée, la nature des résidus de combustion (secs ou collants) a été déterminée.

5.3.3. Comparaison avec le carburant commercial :

L'objectif de cette expérience est de déterminer la nature et la qualité de l'huile extraite des Déchets plastiques et de la comparer au carburant commercial, comme indiqué dans le tableau suivant :

L'expérience est répétée trois fois pour garantir la précision des résultats.

Tableau II-3: Les cores selon des critères de chaque expérience.

Score	Aspect général	Couleur	Aptitude à être brûlée
Excellent	Limpide, fluide, sans particules, homogène	Jaune paille	Allumage < 1s, flamme stable > 60s, peu de fumée, résidu sec
Bon	Légèrement trouble, fluide, très peu de particules	Ambre à orangé	Allumage 1-2s, flamme stable 45-60s, fumée modérée
Moyen	Trouble, légèrement visqueux, quelques particules	Maronn clair	Allumage 2-5s, flamme vacillante 30-45s, fumée assez dense
Médiocre	Opaque, visqueux, particules visibles	Maronn foncé	Allumage 5-10s, flamme instable 15-30s, beaucoup de suie
Très	Très visqueux, nombreuses	Noir	Ne s'allume pas, brûle < 15s, fumée

Score	Aspect général	Couleur	Aptitude à être brûlée
mauvais	particules, non homogène		très dense, résidu collant

6. Méthodes de calcul des rendements et des densités:

Pour l'exploitation de nos résultats expérimentaux, nous appliqué les formules mathématiques suivantes:

6.1. Calcul des Rendements massique $\eta(R\%)$:

Le rendement de chaque fraction (Huile,Char,Gaz)est calculé par rapport à la masse initiale du plastique selon la formule suivante:

$$R(\%) = \frac{m_{produit}}{m_{plastique}};$$

$m(\text{produit})$ =Masse de fraction obtenu(g);

$m(\text{plastique})$ =Masse initiale de l'échantillon(g).

6.2. Calcul des densité:

La densité de l'huile produit est déterminée par rapport de sa masse sur son volume:

$$\rho = \frac{m}{v};$$

ρ = Masse volumique(g/ml);

m = Masse de l'huile(g);

V =Volume de l'huile (ml).

Les mesures de masse des échantillons ont été pesées à trois fois afin de but de calculer la valeur moyenne de la densité et réduire les erreurs expérimentales.

Chapitre III:

Résultats et discussion

Dans ce chapitre nous présentons les résultats expérimentaux obtenus lors de la pyrolyse des déchets plastiques (PP,PE,PP+PE) avec et sans catalyseur CaO.

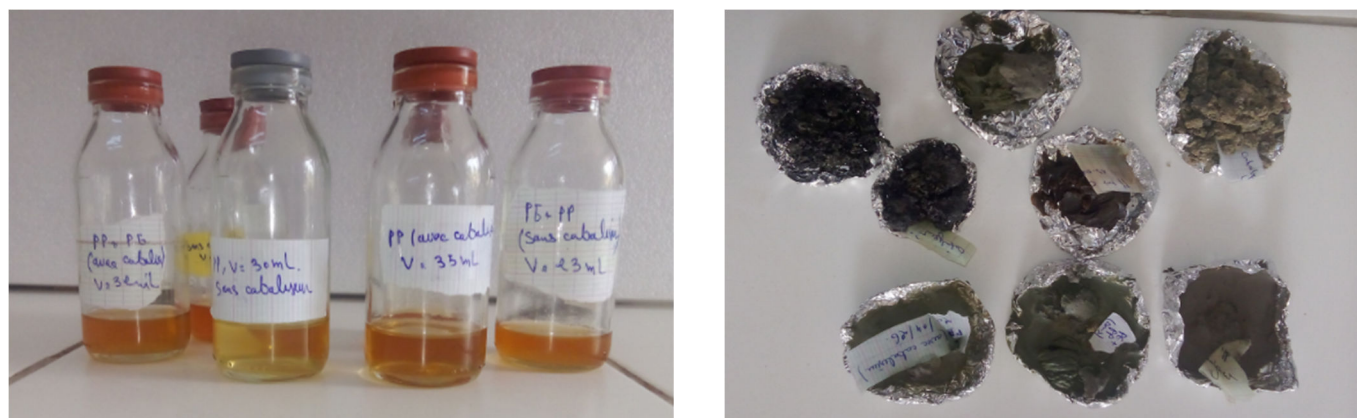
L'objectif principal de cette étude s'articule autour d'influence du catalyseur sur le rendement de produits notamment l'huile, gaz et char de même que sur certaines propriétés physico-chimiques.

Plusieurs essais ont été réalisées dans des conditions expérimental contrôlées pour comparer l'efficacité des différent type de plastiques dans la production de carburant alternatif.

Les produits obtenus été caractérisés selon plusieurs paramètres :le rendement, l'absorbance à 600nm (indice de DCO), le pH, l'aspect visuel et les propriétés de combustion.s

Les résultats ont été présentés sous forme des tableaux et d'histogrammes afin faciliter leur interprétation et comparaison.

Enfin les caractéristiques des huiles produites de la pyrolyse ont été comparées aux propriétés générales du carburant diesel.



FigureIII-1:Planche photographique des produits de pyrolyse: fraction liquides(huiles) et résidus solides(char).

1. Résultats expérimentaux de la pyrolyse:

1.1. Analyses quantitative des fraction:

La pyrolyse des déchets plastiques donne lieu à trois produits principaux : la matière liquide (combustible), la matière solide (char) et les gaz. La quantité de ces produits varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment : le type de plastique, la température et l'utilisation d'un catalyseur.

Tableau III-1 : les résultats expérimentaux

Typede plastique	Catalyseur	Le volume d'huile(ml)	La masse d'huile(g)	La masse de char(g)	La masse de gaz(g)
	sans	31	23.66	7.295	19.045
PE	avec	32	23.905	13.204	12.981
	sans	30	21.913	12	16.087
PP	avec	35	26.582	11.86	11.558
	sans	23	17.26	16.048	16.692
PP+PE	avec	32	25.98	12.295	11.725

Ce tableau présente les types de plastiques utilisés lors du processus de pyrolyse ainsi que les quantités des différents produits obtenus (masse de charbon, masse d'huile et masse de gaz) en fonction de la présence ou de l'absence du catalyseur CaO. Les résultats montrent que le catalyseur a globalement contribué à augmenter la masse d'huile produite et à réduire la masse de gaz.

Pour le PE : lors de l'utilisation du PE sans catalyseur, une masse d'huile de 23,66 g et une masse de charbon de 7,295 g ont été obtenues. En présence du catalyseur, la masse d'huile a atteint 23,905 g et la masse de charbon 13,24 g. Ainsi, les masses d'huile et de charbon ont augmenté, tandis que la masse de gaz a diminué, passant de 19,045 g sans catalyseur à 12,581 g avec catalyseur.

Pour le PP : les masses d'huile et de charbon obtenues en l'absence de catalyseur étaient respectivement de 21,913 g et 12 g. En présence du catalyseur, elles ont atteint 26,582 g et 11,86 g. On constate que l'échantillon de PP a produit la plus grande quantité d'huile parmi toutes les expériences réalisées. Par ailleurs, la masse de gaz a diminué de 16,087 g à 11,558 g en présence du catalyseur.

Pour le mélange PE+PP : le tableau montre que la masse d'huile obtenue est la plus faible parmi les échantillons étudiés, tandis qu'une augmentation notable de la masse de charbon a été observée. en plus, la présence du catalyseur a contribué à réduire la quantité de gaz produite, ce qui suggère une amélioration de la condensation des vapeurs et de leur conversion en produits liquides.

1.2. Rendement massique des produits de pyrolyse:

Tableau III-2 : le rendement et densité de chaque produit

Type de plastique	Catalyseur CaO	η huile(%)	η char(%)	η gaz(%)	densité
PE	sans	47.32	14.59	38.09	0.763
	avec	48	26.408	25.592	0.747
PP	sans	43.826	24	32.174	0.73
	avec	53.164	23.72	23.116	0.76
PP+PE	sans	35	32.096	32.904	0.75
	avec	51.96	24.59	23.45	0.812

A partir les valeurs du tableau, nous avons tracée les rendements massiques sous forme six diagrammes circulaire et histogramme comparative du rendement en fraction liquide pour chaque type de déchet plastique en présence et en absence de catalyseur.

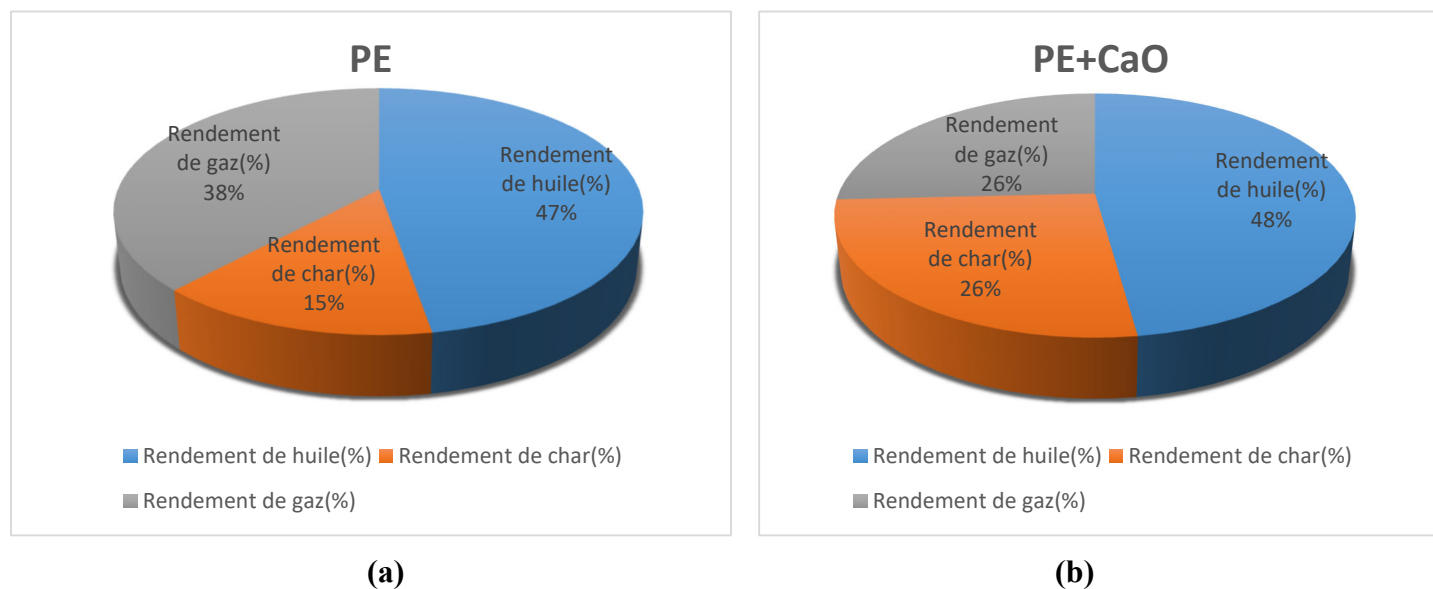
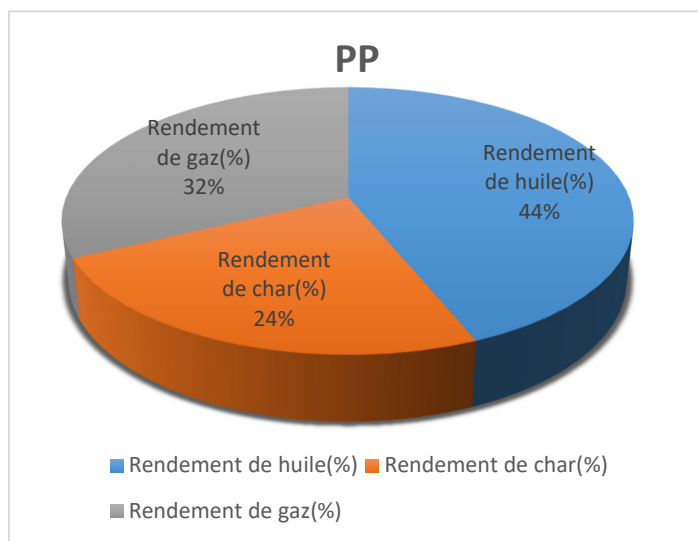


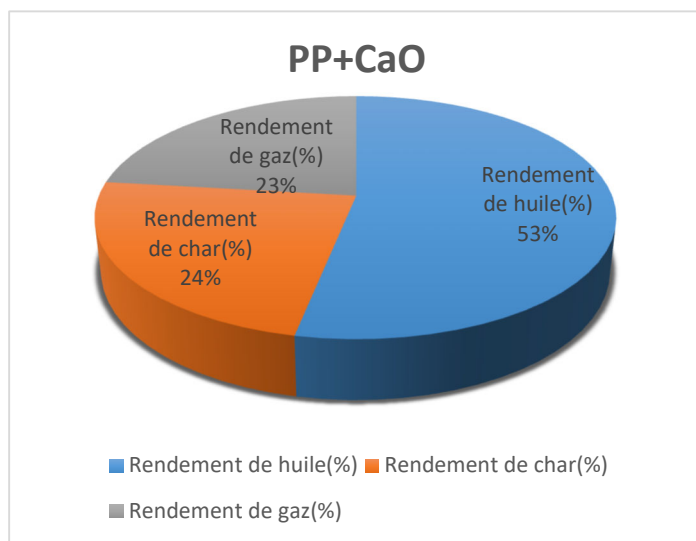
Figure III-2: Diagrammes circulaires du rendement massique de la pyrolyse du (PE) : (a) sans catalyseur, (b) avec catalyseur (CaO).

n absence de catalyseur(CaO): Nous constatons que le meilleur rendement a été enregistré pour l'huile, avec un taux de 47 %, suivi du rendement en gaz, estimé à 38 %, tandis que le rendement en charbon était faible, estimé à 15 %. Cela indique que la pyrolyse du polyéthylène a été réussie, car elle a produit un pourcentage d'huile non négligeable, tandis que le pourcentage de charbon était relativement faible, ce qui montre que seule une petite partie du plastique s'est transformée en résidus carbonés solides. Nous expliquons ce pourcentage par la bonne aptitude du polymère PE à se transformer en combustible liquide.

●**En présence de catalyseur(CaO):** nous observons que le pourcentage d'huile a légèrement augmenté par rapport au cas sans catalyseur, atteignant 48 %, tandis que le pourcentage de gaz a baissé à 26 %. Nous expliquons cette augmentation du rendement en huile et cette baisse du pourcentage de gaz par le fait que le catalyseur a joué un rôle dans l'amélioration des réactions de pyrolyse et la conversion d'une partie des composés gazeux en huile. (Marcilla, Garcia, Hernandez, & Ruiz, 2005)



(a)

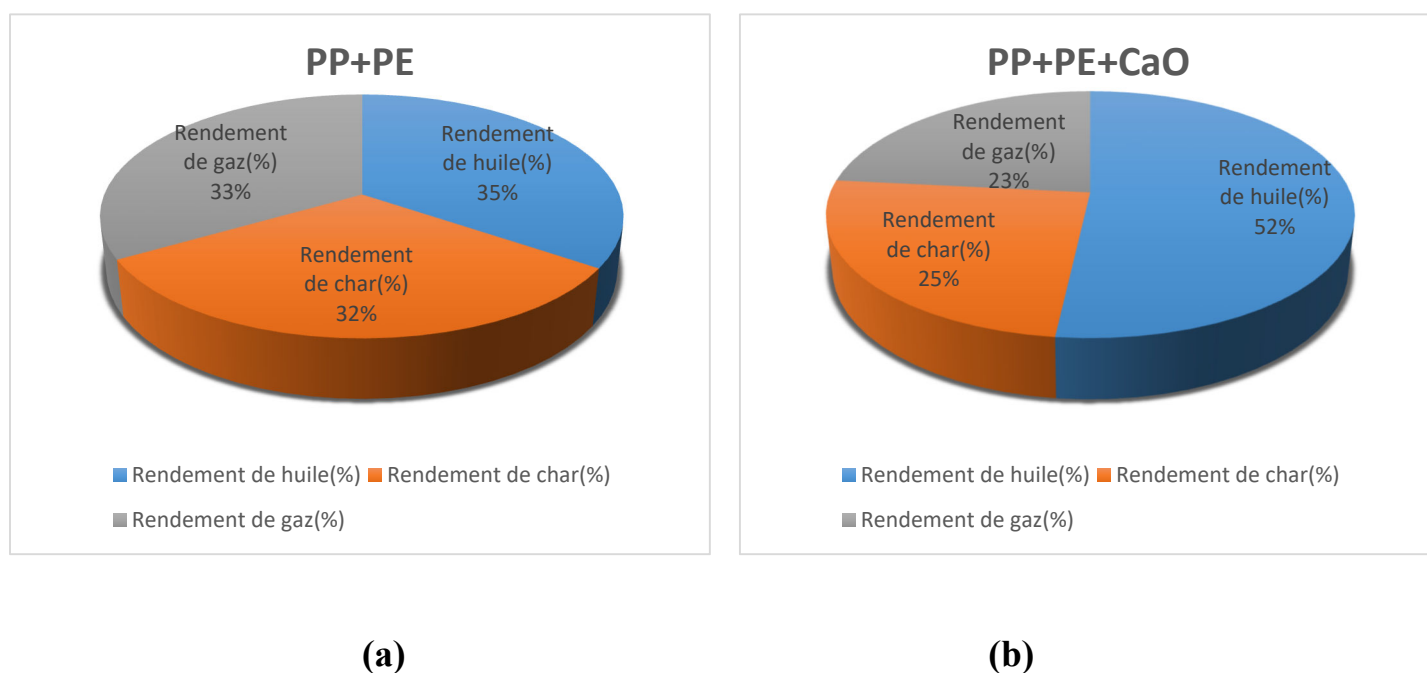


(b)

Figure III-3: Diagrammes circulaires du rendement massique de la pyrolyse du (PP) : (a) sans catalyseur, (b) avec catalyseur (CaO).

.En absence de catalyseur(CaO): dans ce cas, nous observons que la proportion d'huile est supérieure à celle du gaz, estimées respectivement à 44 % et 32 %, tandis que la proportion de charbon est estimée à 24 %.

●**En présence de catalyseur(CaO):** la valeur la plus élevée d'huile a été enregistrée dans ce cas, estimée à 53 %, suivie d'un rendement en gaz de 23 %.L'ajout du catalyseur a favorisé la formation de la fraction liquide (huile) au détriment de la fraction gazeuse, ce qui a conduit à une amélioration du rendement en huile.



FigureIII-4: Diagrammes circulaires du rendement massique de la pyrolyse du mélange (PE+PP) : (a) sans catalyseur, (b) avec catalyseur (CaO).

●**En absence de catalyseur(CaO):** Le diagramme circulaire (a) montre que le rendement de huile représente la fraction la plus importante avec 35%, suivi par le rendement de gaz avec 33% tandis que le rendement de char avec 32% .

●**En présence de catalyseur(CaO):** A partir le diagramme circulaire (b) on observe une augmentation remarquable du rendement en huile atteignant 52% il y a une amélioration de +17% cela peut être expliqué que CaO agit comme un catalyseur basique qui optimise la

Dégradation des chaînes polymériques de mélange PP+PE en fraction hydrocarbonées liquides légère. Cela améliore la quantité et la qualité des produits liquides valorisables (**Linchen, et al., 2022**). On remarque une diminution notable du rendement de char atteignant 25% avec -7% ce qui s'explique par le catalyseur réoriente les réactions chimiques de la pyrolyse en favorisant le craquage des grosse molécules en produits liquides et gazeux, tout en limitant la formation des composés responsables de l'augmentation du char, cela traduit un craquage "modéré et contrôlé». Pour le rendement de gaz on observe une diminution remarquable atteignant 23% avec -10% cela s'explique par l'effet du CaO, qui oriente sélectivement la réaction vers la production d'huile.

1.2.1. Influence le type de plastique et le catalyseur sur le rendement d'huile :

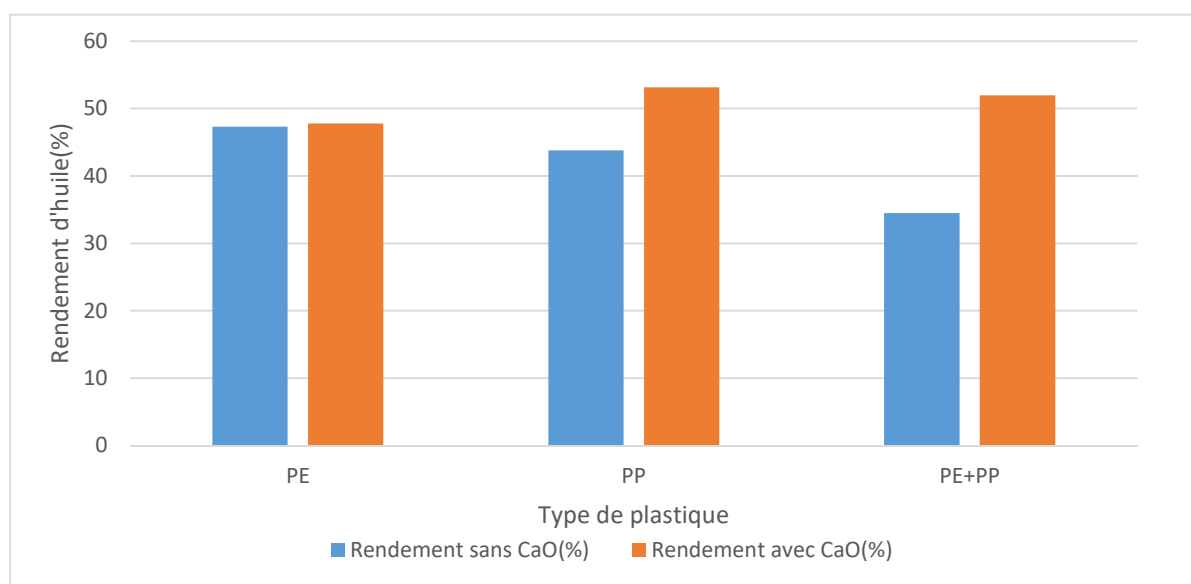


Figure III-5: Histogramme comparatif du rendement en fraction liquide (huile) pour les différents essais de pyrolyse thermique et catalytique.

Polyéthylène (PE)

L'analyse des résultats montre que le rendement en huile obtenu lors de la pyrolyse du polyéthylène (PE) sans catalyseur est de 47,32 %, tandis qu'il augmente légèrement à 47,81 % en

Présence du catalyseur CaO. Cette faible amélioration suggère que le catalyseur exerce une influence limitée sur la conversion du PE en produits liquides. En effet, le PE présente une bonne aptitude à la décomposition thermique même en l'absence de catalyseur.

Cette légère augmentation du rendement en huile peut être attribuée à l'action du CaO sur la répartition des produits de pyrolyse. Le catalyseur favorise la condensation des vapeurs produites et modifie la distribution des fractions obtenues en réduisant la proportion de gaz et en augmentant celle des résidus solides. Ainsi, le rôle du catalyseur ne se limite pas à l'amélioration du rendement en huile, mais s'étend également à l'influence de l'ensemble des produits issus de la pyrolyse.

Polypropylène (PP)

Les résultats obtenus montrent que le polypropylène (PP) a généré le rendement en huile le plus élevé parmi tous les matériaux étudiés. En l'absence de catalyseur, le rendement en huile atteint 43,826 %, tandis qu'il augmente significativement jusqu'à 53,164 % en présence du catalyseur CaO.

Cette amélioration notable peut être expliquée par la structure moléculaire du PP, qui favorise sa décomposition thermique et la formation de composés liquides. L'ajout du catalyseur CaO améliore davantage les réactions de craquage thermique et catalytique, conduisant ainsi à une augmentation importante de la fraction liquide produite. Dans les conditions expérimentales de cette étude, le PP a donc présenté les meilleures performances en termes de rendement en huile.

Mélange PE + PP

Le mélange PE+PP a présenté le rendement en huile le plus faible en l'absence de catalyseur, avec une valeur de 34,52 %. Cette diminution peut être attribuée à la présence simultanée de deux polymères possédant des comportements thermiques différents. Les mécanismes de dégradation du PE et du PP interagissent au cours de la pyrolyse, ce qui modifie la distribution des produits obtenus.

Les interactions entre les produits intermédiaires issus de la décomposition thermique des deux polymères peuvent entraîner une réorientation des voies réactionnelles, favorisant ainsi la formation de gaz et de résidus solides au détriment de la fraction liquide.

Les résultats obtenus montrent clairement que le rendement en huile le plus élevé a été enregistré pour le polypropylène (PP) en présence du catalyseur CaO, ce qui indique que ce polymère constitue le matériau le plus favorable à la production de combustibles liquides par pyrolyse dans les conditions expérimentales étudiées. À l'inverse, le rendement en huile le plus faible a été observé pour le mélange PE+PP sans catalyseur. Cette diminution est principalement liée aux interactions complexes entre les produits de dégradation des deux polymères, qui modifient la distribution des produits et favorisent la formation de gaz et de résidus solides (**Williams & Williams, 1999**).

1.3.Caractérisation de la phase aqueuse:

Dand le tableau ci-dessous, on noté les résultats de pH et d'absorbance à 600nm (indice de DCO) avant et après le pyrolyse avec et sans catalyseur, ainsi que pour tous les types de plastiques (PE,PP,PE+PP).

Tableau III-3 : valeurs de pH et d'absorbance pour tous de plastiques

Type de plastique	Catalyseur CaO	pH(Blanc)	pH(Final)	Abs à 600nm (Blanc)	Abs à 600nm (Final)
PE	sans	7.37	5.25	0.053	0.078
	avec	7.48	5.27	0.065	0.094
PP	sans	7.95	6.54	0.019	0.11
	avec	7.59	6	0.041	0.064
PP+PE	sans	7.92	5.79	0.075	0.102
	avec	7.32	5.98	0.023	0.052

A partir des données du tableau, on permis de tracer l'hystogrammes d'évolution de la pH et de l'absorbance à 600nm (indice de DCO) en fonction de type de plastique avec et sans catalyseur CaO.

1.3.1. Analyse et interprétation de l'évolution de pH:

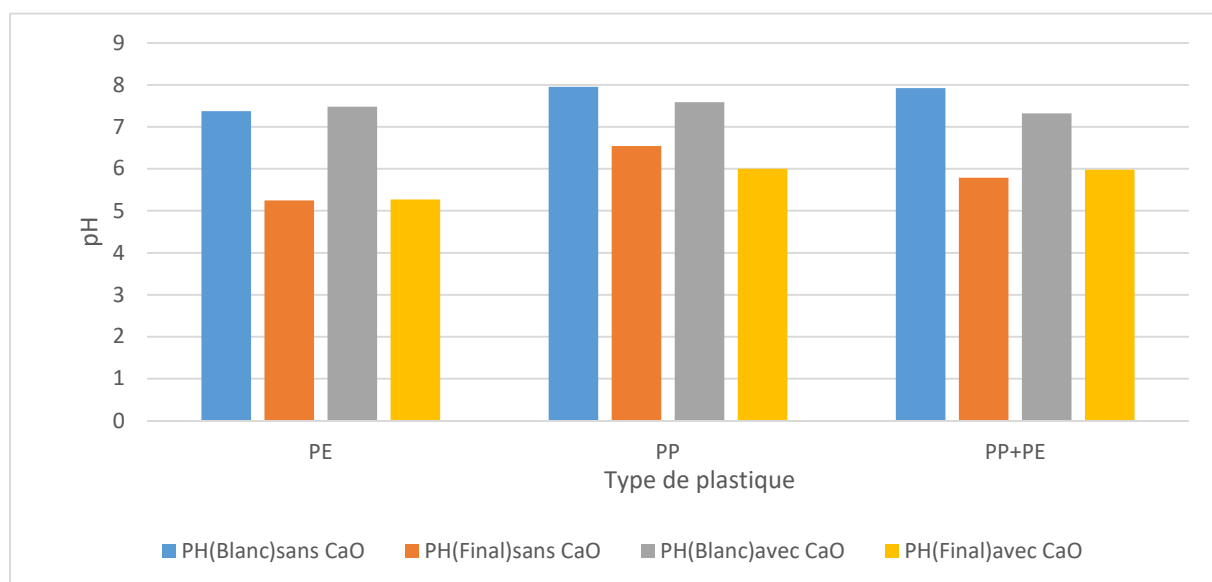


Figure III-6: Évolution du pH avant et après pyrolyse des différents type de plastiques avec et sans catalyseur.

L'évolution du pH de la phase aqueuse pour les différents échantillons par rapport au témoin (pH Blanc) est présentée par l'hystogramme de la figure.

- **En absence de catalyseur (CaO) :** On observe une réduction considérable et systématique du pH final par rapport au pH blanc pour tous les types de plastiques. Pour le PE, on peut remarquer que le pH a diminué de 7,37 à 5,25. Pour le PP, on observe également une diminution de 7,95 à 6,54. Quant au mélange PE+PP, le pH a chuté de 7,92 à 5,79. Cette acidification est liée à la dégradation thermique des polymères, au cours de laquelle sont générées notamment des molécules volatiles à caractère acide (**Brawn, 1960**).

- **En présence du catalyseur (CaO) :** On observe que la présence de CaO permet de limiter la diminution du pH final au cours du processus de dégradation des polymères par rapport au pH blanc. Pour le PE, on remarque que le pH a chuté de 7,84 à 5,27. Pour le PP, il a diminué de 7,59 à 6,00, et pour le mélange PE+PP, on observe également une diminution du pH de 7,32 à 5,98.

De façon générale, on observe que la présence du catalyseur n'améliore pas de manière notable la réduction de l'acidité par rapport à la pyrolyse sans catalyseur. Cela peut être expliqué par le rôle du catalyseur, qui ne consiste pas uniquement en la rupture des liaisons chimiques, mais contribue également à la rétention des gaz et des composés acides (« fixateur de gaz acides ») au cours du procédé de dégradation. En effet, le catalyseur intercepte ces gaz acides lorsqu'ils émergent du mélange, ce qui limite leur passage dans l'eau. Cela explique scientifiquement la faible variation du pH observée par rapport à l'absence de catalyseur (Yuanjun , et al., 2022).

1.3.2. Analyse et interprétation de l'évolution de l'absorbance à 600nm (reféltant la DCO):

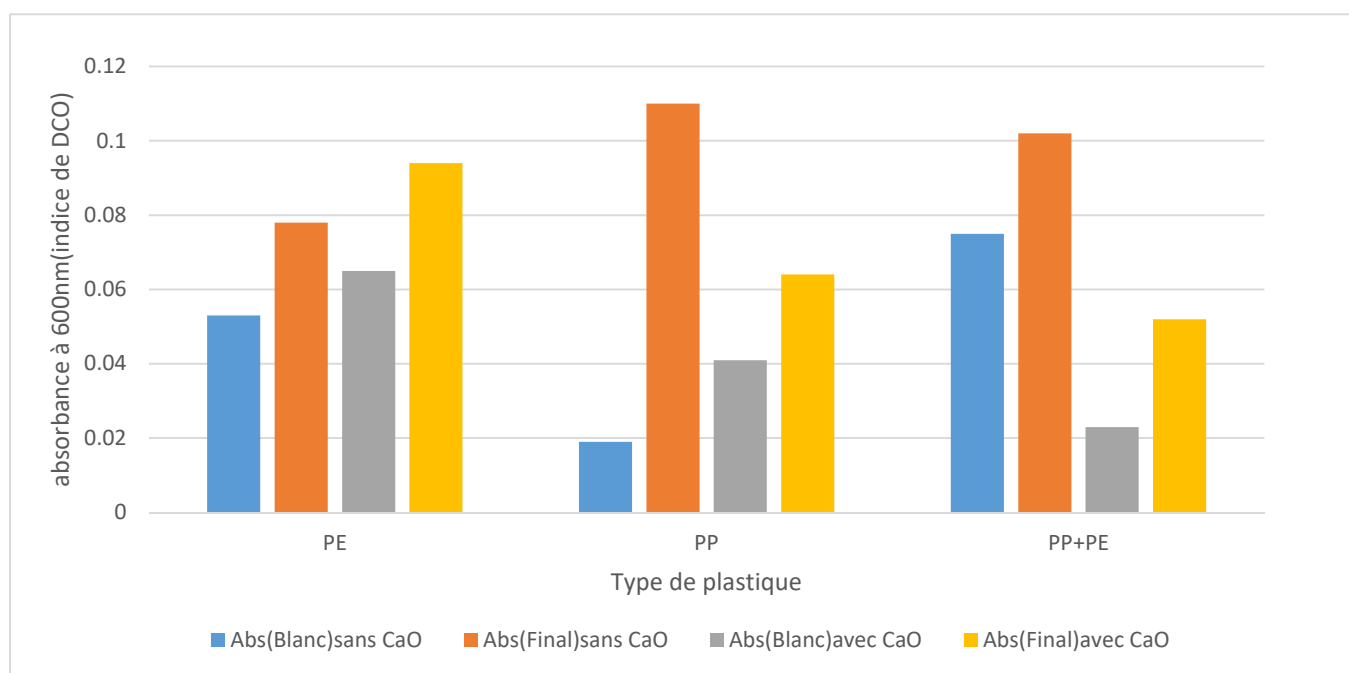


Figure III-7: Évolution de l'absorbance à 600nm (indice de DCO) avant et après pyrolyse des différents type de plastiques avec et sans catalyseur.

L'évolution du l'absorbances à 600nm (indice de DCO) de la phase aqueuse pour les différents échantillons avant et après parbotage, sont présentées dans l'hystogramme de la figure.

• En absence de catalyseur (CaO) :

On observe que l'absorbance finale de la phase aqueuse, mesurée à 600 nm, augmente de manière notable pour tous les échantillons par rapport à l'eau distillée. Pour le PE, elle passe de 0,053 à 0,078 ; pour le PP, de 0,019 à 0,110 ; et pour le mélange PE+PP, de 0,075 à 0,102.

Cette augmentation n'est pas due à l'absorption directe de la lumière par les composés organiques dissous, mais elle résulte de la réduction des ions dichromate en ions chromiques Cr^{3+} par la matière organique présente dans l'eau. En effet, lors de l'oxydation au dichromate (dosage de la DCO), les produits de dégradation thermique des polymères solubles dans l'eau réduisent le dichromate, provoquant un virage de la couleur orangée vers le vert ; l'intensité de la coloration verte (mesurée par l'absorbance) est directement proportionnelle à la concentration en ions Cr^{3+} , donc à la teneur en matière organique oxydable. Ainsi, une absorbance plus élevée traduit une DCO plus importante, reflétant un transfert non négligeable de composés organiques polaires ou hydrosolubles issus de la pyrolyse vers la phase aqueuse.

Par ailleurs, l'absorbance la plus élevée est observée pour le PP, suivie du mélange PE+PP, puis du PE. Cette différence peut être attribuée à la structure moléculaire du PP, qui comporte des groupes méthyle ($-\text{CH}_3$) favorisant la formation de produits de dégradation plus variés et plus oxydables (composés insaturés et aromatiques légers) que le PE, dont la chaîne linéaire génère principalement des alcanes.

• En présence de catalyseur (CaO) :

L'absorbance augmente également par rapport à l'eau distillée, mais de façon moins marquée que dans les essais sans catalyseur. Pour le PE, elle passe de 0,065 à 0,094 ; pour le PP, de 0,041 à 0,064 ; et pour le mélange PE+PP, de 0,023 à 0,052.

En comparant les essais catalytiques et thermiques, on constate que l'ajout de CaO limite notablement l'augmentation de l'absorbance, et donc la valeur de la DCO de la phase aqueuse. Ce phénomène s'explique par le caractère basique du CaO, qui agit comme un piège à gaz acides et à composés organiques volatils. En fixant ces espèces au sein du réacteur ou en favorisant leur craquage en produits plus légers non condensables, le catalyseur réduit la quantité de matières

organiques transférées vers l'eau de barbotage. Par conséquent, la concentration en ions Cr^{3+} formés lors de l'oxydation diminue, ce qui se traduit par des valeurs d'absorbance plus faibles en présence du catalyseur.

our étudier caractériser de la qualité des huiles obtenus par pyrolyse thermique et catalytique et d'évaluer son efficacité tant que carburant alternatif. Dans le cadre de cette étude, nous avons réalisé une série d'analyse macroscopique et de tests thermique consistant en propriétés physiques et sensorielles (Aspect, Viscosité, Couleur, Homogénéité, Particules) même que l'aptitude à la combustion (Allumage, Fumée/Suie, Durée de combustion, Résidu après combustion).

Les tableaux suivant représentent les données expérimentales issues de trois essais successifs pour chaque type de plastique, ainsi que leurs valeurs moyennes comparant direct avec Diesel commercial utilisé comme référence.

1.4.Étude comparative et aptitude à la combustion de l'huile de pyrolyse:

Diesel

Tableau III-4 : caractéristiques physiques, sensorielles et performances du diesel commercial.

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	Jaune clair	Jaune clair	Jaune clair	Jaune clair
Particules	/	/	/	/
Allumage(délai en secondes)	1s	2s	1s	1.33s
Durée de combustion (s)	25s	29s	24s	26s
Fumée/Suie	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
Résidu après combustion	Sec	Sec	Sec	Sec

Tableau III-5 :caractéristiques de l'huile de pyrolyse thermique du PE à380°C sans catalyseur.

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	Marron foncé	Marron foncé	Marron foncé	Marron foncé
Particules	quelques	quelques	quelques	quelques
Allumage(délai en secondes)	1s	1s	1s	1s
Durée de combustion (s)	27s	26s	26s	26.33s
Fumée/Suie	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
Résidu après combustion	sec	sec	sec	sec

Tableau III-6 :caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PE à350°C avec catalyseur

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair
Particules	quelques	quelques	quelques	quelques
Allumage(délai en secondes)	1s	1s	1s	1s
Durée de combustion (s)	24s	22s	28s	24.66
Fumée/Suie	Modérée	Beaucoup	Modérée	Dense
Résidu après combustion	sec	sec	sec	sec

Tableau III-7 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse thermique du PP à 346°C sans catalyseur.

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	jaune foncé	Jaune foncé	Jaune foncé	Jaune foncé
Particules	quelques	quelques	quelques	quelques
Allumage(délai en secondes)	1s	1s	2s	1.33s
Durée de combustion (s)	30s	24s	32s	28.66s
Fumée/Suie	Beaucoup	Modérée	Modérée	Dense
Résidu après combustion	sec	sec	sec	sec

Tableau III-8 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PP à 340°C avec catalyseur.

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	Jaune clair	Jaune clair	Jaune clair	Jaune clair
Particules	quelques	quelques	quelques	quelques
Allumage(délai en secondes)	1s	2s	1s	1.33s
Durée de combustion (s)	33s	30s	37s	33.33s
Fumée/Suie	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
Résidu après combustion	sec	sec	sec	sec

Tableau III-9: caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PP+PE à 350°C sans catalyseur

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	Marron foncé	Marron foncé	Marron foncé	Marron foncé
Particules	quelues	quelues	quelues	quelues
Allumage(délai en secondes)	1s	2s	2s	1.66s
Durée de combustion (s)	24s	26s	25s	25s
Fumée/Suie	Beaucoup	Modérée	Modérée	Dense
Résidu après combustion	sec	sec	sec	sec

Tableau III-10 : caractéristiques de l'huile de pyrolyse catalytique du PP+PE à 334°C avec catalyseur.

Paramètre	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Moyenne
Aspect(description)	limpide	limpide	limpide	limpide
Viscosité	fluide	fluide	fluide	fluide
Homogénéité	oui	oui	oui	oui
Couleur	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair
Particules	quelques	quelques	quelques	quelques
Allumage(délai en secondes)	1s	2s	1s	1.33s
Durée de combustion (s)	30s	30s	26s	28.66s
Fumée/Suie	Beaucoup	Modérée	Beaucoup	Dense
Résidu après combustion	sec	sec	sec	sec

1.4.1. Analyse des propriétés physiques et sensoriel:

D'après les six tableaux, on constate qu'en absence de catalyseur, les huiles issues de la pyrolyse thermique du PE et PP et le mélange PP+PE présentent généralement un aspect homogène et légèrement limpide. De même, en présence de catalyseur CaO, les huiles ont conservé leur homogénéité. Ce résultat confirme la qualité des produits obtenus (huiles) et l'efficacité de CaO dans le craquage secondaire des macromolécules ce qui permet d'obtenir un carburant clarifié, très proche visuellement du Diesel commercial.

Concernant la viscosité et l'homogénéité, les résultats montrent que les huiles issues de la pyrolyse thermique et catalytique pour les différents types de plastiques étudiés, présentent une bonne fluidité et une homogénéité satisfaisante. Ces caractéristiques correspondent globalement à celles du diesel commercial.

La couleur de l'huile issue de la pyrolyse des déchets plastiques est déterminée par le degré de complexité des composés aromatiques polycycliques (HAP) et par les hydrocarbures insaturés dans le produit fini de la réaction. Pour PE, en absence de catalyseur la pyrolyse thermique conduit à la formation d'hydrocarbures insaturés (45%) et des composés aromatiques complexes. Ce qui s'explique par la couleur marron foncé. Dans la même condition le PP conduit des composés aromatiques moins complexes et d'hydrocarbures insaturés ramifiés. Ce qui permet d'obtenir la couleur jaune foncé (**Lucie, et al., 2024**). En outre, la présence d'additifs industriels et de pigments colorés dans les déchets plastiques affecte la coloration du produit liquide de pyrolyse.

D'après les tableaux, on observe une amélioration notable lorsqu'on utilise le catalyseur. La couleur passe du marron foncé au marron clair pour PE et du jaune foncé au jaune clair pour PP, et du marron foncé au marron clair pour le mélange. Ce phénomène peut être expliqué par l'action du CaO qui favorise l'élimination de certains composés oxygénés, tout en assurant le craquage des macromolécules hydrocarbonées lourdes en fractions plus légères. De plus, il empêche la formation des composés aromatiques, ce qui contribue à l'obtention d'une couleur plus claire et plus proche de celle du diesel commercial.

1.4.2. Test de combustion et comparaison avec Diesel:

De 24,66 secondes. Quant à la durée de combustion la plus longue, elle a été enregistrée pour l'huile PP avec catalyseur, qui a atteint 33,33 secondes.

Ces résultats indiquent que l'huile PE sans catalyseur présente un comportement de combustion plus proche de celui du diesel par rapport aux autres échantillons.

1.4.3. Fumée, suie et résidus après combustion :

Le diesel commercial a produit un niveau moyen d'émission de fumée et de suie, tout comme L'huile de polyéthylène sans catalyseur, qui a donné le même résultat que le diesel. Les autres échantillons ont quant à eux produit une fumée dense, ce qui indique une combustion incomplète de certains composés. Quant aux résidus après combustion, tous les échantillons ont présenté des résidus secs, tout comme le diesel commercial, ce qui indique que la combustion s'est bien déroulée et efficace.

1.4.4. Comparaison entre les huiles produites et le diesel commercial :

A partir des résultats précédents, on peut conclure que l'huile de polyéthylène sans catalyseur est la plus proche du diesel et peut être considérée comme un substitut au carburant. A fin de ce travail, les résultats obtenus confirment la possibilité de transformer les déchets plastiques en huiles présentant de bonnes propriétés, susceptibles de contribuer à la production de carburants alternatifs, ce qui ouvre de nouvelles perspectives pour la valorisation de ces déchets plastiques et la réduction de la pollution environnementale. Il reste toutefois nécessaire de procéder à des analyses physiques et chimiques de ces huiles avant de les adopter comme substitut au diesel commercial.

2. Valorisation énergétique et valeur ajoutée du procédé de pyrolyse:

Afin d'évaluer la pertinence du procédé de pyrolyse à l'échelle du laboratoire, nous avons procédé à un bilan énergétique préliminaire. L'objectif est de comparer l'énergie électrique consommée par le chauffe ballon pendant la réaction avec l'énergie calorifique théorique contenue dans le combustible liquide produit. Cette approche permet d'estimer la valeur ajoutée, en considérant que les déchets plastiques utilisés ont un coût de matière première nul (voire négatif, compte tenu de leur impact environnemental).

2.1. Bilan massique de la pyrolyse:

Pour un échantillon initial de 50 g de déchets plastiques introduits dans le ballon , nous avons récupéré 35 mL d'huile pyrolytique après une heure de chauffe, après les calcule un rendement massique en huile de 53 % démontrant l'efficacité du procédé.

2.1.1. Consommation énergétique du procédé:

Le chauffage a été assuré par un chauffe-ballon d'une puissance nominale de 140 W pendant 1 heure. L'énergie électrique consommée est :

$$E = (140 \text{ W} \times 1 \text{ h}) / 1000 = 0,14 \text{ kWh}$$

En prenant le tarif moyen de l'électricité en Algérie (5 DZD/kWh), le coût électrique de l'essai est :

$$\text{Coût} = 0,14 \text{ kWh} \times 5 \text{ DZD} = 0.7 \text{ DZD}$$

2.1.2. Valorisation économique et estimation de la valeur ajoutée:

La valeur marchande théorique du combustible produit est estimée par comparaison avec le diesel (31 DZD/Litre). Pour 35 mL (0,035 L) d'huile récupérés :

$$\text{Valeur du produit} = 0,035 \text{ L} \times 31 \text{ DZD/L} \approx 1.085 \text{ DZD}$$

Le coût électrique (0.7 DZD) est quasi-identique à la valeur du produit (1.085DZD).

Ce résultat est remarquable car il prouve qu'à l'échelle du laboratoire, le procédé est à l'équilibre énergétique : nous transformons avec succès un déchet polluant (coût environnemental négatif) en un combustible liquide avec un rendement de 53 %. En passant à l'échelle pilote, les pertes thermiques diminuant drastiquement, la rentabilité deviendra très largement positive. Ainsi, la valeur ajoutée est à la fois scientifique, environnementale et technique.

Conclusion Générale

Conclusion générale:

Pour une gestion optimale des déchets plastiques en Algérie, l'une des meilleures options consiste à les valoriser à travers différentes voies de traitement et de récupération énergétique. La production de carburants durables par pyrolyse thermique et catalytique constitue une solution prometteuse permettant de répondre à plusieurs problématiques environnementales.

Dans le cadre de ce projet, nous avons réalisé une étude de pyrolyse portant sur deux polymères, le polypropylène (PP) et le polyéthylène (PE), ainsi que sur leur mélange, à partir de déchets plastiques collectés pendant un mois dans la wilaya de Bouira.

Cette technique permet d'améliorer le processus de dépolymérisation, conduisant à l'obtention de produits à forte valeur ajoutée, notamment des huiles et des gaz valorisables. Les résultats expérimentaux ont confirmé l'efficacité de ce procédé et ont mis en évidence l'effet bénéfique du catalyseur CaO sur l'amélioration quantitative du rendement en huile. De plus, le catalyseur a contribué à l'optimisation des propriétés physiques et sensorielles des huiles produites, en favorisant une clarification de leur couleur, passant d'un aspect foncé à un aspect plus clair.

Par ailleurs, les essais de combustion ont révélé une similitude notable entre les huiles obtenues par pyrolyse catalytique et le diesel commercial, ce qui souligne leur potentiel comme carburants alternatifs. Ainsi, la pyrolyse apparaît comme une solution capable de concilier protection de l'environnement, valorisation des ressources et création de valeur ajoutée. Des travaux futurs pourraient être consacrés à l'optimisation des conditions opératoires, à l'étude de nouveaux catalyseurs et à l'évaluation de la faisabilité technico-économique du procédé à l'échelle industrielle.

Ainsi, la pyrolyse apparaît comme une solution capable de concilier protection de l'environnement, valorisation des ressources et création de valeur ajoutée. Des travaux futurs pourraient être consacrés à l'optimisation des conditions opératoires, à l'étude de nouveaux catalyseurs et à l'évaluation de la faisabilité technico-économique du procédé à l'échelle industrielle.

Référence

Bibliography

- B. Kouini,, & K. Louhab1. (2022). *Recyclage les déchets des matières plastiques*. Vol.2. No1,Boumerdès, Algérie: Journal de l'Economie Circulaire et Développement Durable.
- BARRÈRE-TRICCA, C., FAVRE, F., LE RAVALEC, M., & DUBLOC, M. (2024). *Recyclage chimique du plastique : un atout pour une économie circulaire et durable*. IFP Énergies nouvelles (IFPEN) Responsabilité & environnement, (116), 31–35.
- Académie des sciences. (2021). *LES PLASTIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT*. France: Institut de France. Retrieved 03 16, 2021
- Ajai, K. P., & Yogita, L. (2024, septembre 10). ph Metry. (i. i. publishers, Ed.) *Tools and techniques*, 4, 39.
- Alexis, D. (2025). *Impact Environnemental et potentiel de*. Maroua, Cameroon: by Sahel Nature Consulting Revue (ISSN : 1401-0006 March 2025). Retrieved 9 25, 2025, from | <https://sites.google.com/view/sahel-nature-consulting/accueil>
- AND. (2020). *Regard croise sur les plastiques a usage unique*. Ministère de l'environnement, agence national des déchets.
- Andrew , N. A., Heri , K., Chinedu , A., & Okieimen, C. (2021, octobre). Biomass pyrolysis technologies for value-added products: a state-of-the-art review. *Environment Development and Sustainability*.
- Bellahcene, M. (2009). *Les matières plastiques et leur impact sue l'environnement*. Alger:Algerian Petroleum Institute: Revue de l'Algeran Petroleum Institute.
- Bensalem, B. (2024). *les algériens transforment la collecte et le recyclage des déchets en une activité rentable*. alger: alarby couk.
- BRAHIMAN, T. (2018). *ELABORATION ET CARACTERISATION D'UNE STRUCTURE COMPOSITE*. besancon: Matériaux.UniversitéBourgogne,Franche-Comté;UniversitéFélixHouphouët-Boigny(Abidjan,Côted'Ivoire). Retrieved 11 30, 2018, from <https://theses.hal.science/tel-02088767v1>
- Brawn, A. (1960). *Pyrolysis of polyesters: A study of saturated model compounds*. PhD thesis, University of Glasgow. ProQuest LLO (2017). Copyright of the Dissertation is held by the Author. Retrieved 14 Jun 2019 08:56, from <https://theses.gla.ac.uk/id/eprint/73513>
- Carrega, M. (2002). *Matériaux adaptatifs:Rappeis sur l'historique et les propriétés particulières des polymères*. Société chimique de France(SCF).
- Cody J, w., Nolan , W., & Ofei D, M. (2023, juillet). catalytic pyrolysis as a platform technology for supporting the circular carbon economy. *Nature Catalysis*.
- DAHOU, M., KADDOUR, O., & MIMOUN, H. (2018). *Valorisation des déchets plastiques en produits à valeur énergétique*. Batna, Algeria.: Première Conférence Nationale sur La Protection de l'Environnement et les Energies Renouvelables. Retrieved 05 10, 2018

References Bibliographique

- Debeaufort, F. (2025). *Plastiques utilisés en agriculture et pour l'alimentation : usages, propriétés et*. Résumé du rapport d'ESCo. INRAé - CNRS. Retrieved from ffhal-05476566f
- Deterre R, F. G. (1997). *Introduction aux matériaux polymères*. Paris: Lavoisier-Technique et Documentation;.
- DORBANE, N., GENDOUZI, B., & MZRIG, A. (2021). Valorisation des déchets plastiques, une opportunité pour le développement local durable. Référence empirique à la wilaya de Tizi-Ouzou. 33-50. Retrieved 3 3, 2021
- Efthymios, K. (2014). *Catalytic Steam Pyrolysis of Biomass for*. Stockholm: Royal institute of technology (KTH).
- Efthymios, K., & Weihong, Y. (2013, avril). Biomass pyrolysis for energy and fuels production. (E. Dahlquist, Ed.) *Technologies for Converting Biomass to Useful Energy: Combustion, Gasification, Pyrolysis, Torrefaction and Fermentation* .
- ELSOUFI, L. (2009). *Contribution à la fabrication des structures thermoplastiques actives*. Mécanique. France: Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
- François Galgani, S. B. (2020). *Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques*. Techniques de l'Ingénieur. Retrieved 1 10, 2020, from <https://hal.science/hal-03048415v2>
- Hadj, R. (2022/2023). *valorisation des déchets plastique pour la fabrication de fuel*. Tebessa: Université Echahid Cheikh Tebessi-Tebessa.
- J Leprince, G. L. (2010). *Polymères et résines composites*. Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Retrieved from <https://hal.science/hal-03431703v1>
- James, A., Gzorge, W., & Michel, B. (2008). *Priniples of Heterogeneous catalysis* (2 ed., Vol. 1). Handbook of Heterogeneous catalysis.
- Klaimy, S. (2019). *pyrolyse thermique et catalytique des polymeres utilisés dans les emballage*. Nantes: Région Hauts-de-france.
- l'environnement, A. A. (2023). *Meilleures pratiques de gestion des déchets solides : Guide destiné aux décideurs des pays en développement*(EPA 530-R-23-011-F). Bureau de conservation et de récupération des ressources.
- Leclerc, P. (2018). *Dépolymérisation du polystyrène par pyrolyse micro onde*. polytechnique montéal université d'ingénierie.
- Linchen, F., Qingang , X., Qinhui , W., Li, C., Zhaohui , C., & Yefeng , Z. (2022). *Catalytic Pyrolysis of Waste Polyethylene Using Combined CaO and Ga/ZSM-5 Catalysts for High Value-Added Aromatics Production*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering. Retrieved 10 29, 2022, from <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c02881>
- l'environnement, m. d. (2020). *regard croise sur les plastique a usage unique*. algérie: agence nationale des déchets.

References Bibliographique

- Ljiang, X., Zhen , F., & Huan , Z. (2020, octobre). introduction to pyrolysis as a thermovhemical conversion technology. *Production of Biofuels and Chemicals with Pyrolysis*.
- Lucie , O., Jan , S., Jitka , T., Dominik, P., Pavol, M., Janka , Š., & Pavel , K. (2024). 256INTRODUCTIONPolycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) be-long to a class of organic compounds containingtwo or more aromatic rings. PAHs are primarilygenerated during incomplete combustion (in anoxygen atmosphere) of organic materials such ascoal, petrol. Ecological Engineering & Environmental Technology. doi:ISSN 2719-7050, License CC-BY 4.0
- Marcilla, A., Garcia, J. R., Hernandez, M. R., & Ruiz, R. (2005). Study Of Catalytic Pyrolysis Behaviour Of Polyethylene-Polypropylene Mixtures. (74, Ed.) *Analytical and Applied Pyrolysis*, 387-392.
- Megan Deeney, Joe Yates, Marina Fernandez, Noreen O'Meara, Xavier Cousin, Muriel, M.-B., . . . Trisia Farrelly. (2024). *La santé humaine dans le Traité Mondial sur les PLASTIQUES*. Coalition des Scientifiques pour un Traité sur les Plastiques Efficace. Retrieved from <https://ikhapp.org/material/policy-brief-human-health-in-the-global-plastics-treaty/>
- M-F. Dignac, M. B. (2025). *Pourquoi un traité mondial ambitieux sur*. Volume 32, Étude et Gestion des Sols.
- Miandad, R., Rehan, M., S.Aburiazaiza, A., & A.Barakat, M. (2019). *catalytic pyrolysis of plastic waste moving loward pyrolysis based biorefineries*. pakistan: University of peshawar-pakistan.
- Milon , S. D., Sathish, K. P., Titus, W., & Kirubanidhi, J. (2025, mars 06). Addressing Plastic Waste Callenges in Africa. *Academic Editor: Shunde Yin*, 41.
- Miranda, R. (2001). *Vacuum pyrolysis of commingled plastics containing PVC II. Product analysis*. Retrieved avril 04, 2026, from [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00066-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00066-0)
- Muji , S., Sunaryo , S., & Rochman, M. L. (2025, juillet). Pyrolysis for plastic waste: Environmental goals vs business interests, which is more realistic? *Mechanical Engineering for Society and Industry Universitas Muhammdiyah Magelang*.
- OCDE. (2023). *Perspectives mondiales des plastiques : Scénarios d'action à l'horizon 2060*. Paris: Éditions OCDE. Retrieved from <https://doi.org/10.1787/c5abcbb1-fr>.
- OPECST, O. P. (1999). *Les nouvelles techniques de recyclage et de valorisation des déchets ménagers et des déchets industriels banals*. (Rapport n° 415). Paris: Sénat.
- Oscar, D. (2022). « *Le vortex de déchets du Pacifique nord, un problème noyé*. We-Search Journal. Retrieved from <http://www.we-search.be/>
- p, w. (2010). *La chimie des polymères*. France: Université Médicale Virtuelle Francophone, Société Francophone de Biomatériaux Dentaires.
- Parker, L. (2017). *91% des déchets plastiques ne sont pas recyclés*. National geographic. Retrieved août 29, 2017, from <http://www.nationalgeographic.fr/environnement/2017/08/developper-laquaculture-offshorepour-nourrir-la-planete>
- Philippe, L. (2018). *Dépolymérisation du polystyrene par pyrolyse micro-onde*. Université de montéal.

References Bibliographique

- sobko, A. A. (2014, 08 15). Generalized van der Waals-Berthelot equation of state. *Journal of Physical Science and Application* 4. Retrieved avril 08, 2026, from <https://doi.org/10.1134/s1028335808080028>
- Sophie, K. (2019). *Pyrolyse thermique et catalytique des polymères utilisés dans les emballages*. Nantes: région hauts de france université de Lille.
- WEISS, P. (2010). *La chimie des polymères*. Société Francophone de Biomatériaux Dentaires. France: Université Médicale Virtuelle Francophone.
- Williams, E. A., & Williams, P. T. (1999). Interaction of Plastics in Mixed-Plastics Pyrolysis. *Energy & Fuels*, 196.
- Yuanjun , T., Jun , D., Yuan , Z., Guoneng , L., Yong , C., Elsa , W.-H., . . . Chao , Y. (2022). *Hydrogen-Rich and Clean Fuel Gas Production from*. ACS Omega. doi:7, pp.36468-36478

ANNEXES

Annexe A: Modèle du questionnaire utilisé et exemple d'un enquête menée sur le terrain.

1. Le modèle vierge:

A. Données Démographiques et Cadre de Vie

1. Commune / Quartier :

.....

☐ Urbain ☐ Semi-urbain ☐ Rural

2. Taille du ménage :

☐ 1–2 personnes ☐ 3–4 personnes ☐ 5 personnes ou plus

3. Type de logement :

☐ Appartement ☐ Maison individuelle ☐ Autre :

4. Profession :

5. Revenu mensuel du ménage (en DA) :

B. Production et Typologie des Déchets Plastiques

6. Produisez-vous des déchets plastiques à domicile ?

☐ Oui ☐ Non (*Si "Non", veuillez passer à la question 10*)

7. Quels types de déchets plastiques jetez-vous le plus fréquemment ?

(Plusieurs réponses possibles)

☐ Bouteilles d'eau / boissons

☐ Sacs plastiques

☐ Emballages alimentaires

☐ Flacons (produits ménagers, cosmétiques)

☐ Autre :

8. Comment évalueriez-vous la quantité moyenne produite par semaine ?

☐ Faible ☐ Moyenne ☐ Élevée ☐ Je ne sais pas

C. Pratiques Actuelles de Gestion des Déchets

9. Comment gérez-vous actuellement vos déchets plastiques ?

☐ Mélangés avec les ordures ménagères

☐ Triés séparément

☐ Brûlés

☐ Jetés dans la nature

☐ Autre :

10. Avez-vous déjà pratiqué le tri sélectif des déchets ?

☐ Oui ☐ Non

11. Si "Non", quelle en est la principale raison ?

☐ Manque d'information

- ☐ Manque de bacs de tri
- ☐ Manque de temps
- ☐ Pas d'intérêt / pas perçu comme utile
- ☐ Autre :

D. Disposition à Participer et Préférences Logistiques

12. **Seriez-vous prêt(e) à trier vos déchets plastiques si un service adapté était mis en place ?**
☐ Oui ☐ Non ☐ Peut-être
13. **Quelle fréquence de collecte vous conviendrait le mieux ?**
☐ 1 fois par semaine
☐ 1 fois toutes les deux semaines
☐ 1 fois par mois
14. **Quel mode de collecte préférez-vous ?**
☐ Collecte à domicile
☐ Point de dépôt volontaire (bornes, conteneurs spécifiques)
☐ Les deux modes selon la disponibilité
15. **Seriez-vous prêt(e) à stocker vos plastiques propres et secs avant collecte ?**
☐ Oui ☐ Non

E. Motivation et Perspectives d'Amélioration

16. **Quel(s) facteur(s) vous encouragerai(en)t le plus à participer à un système de tri ?**
(Plusieurs réponses possibles)
☐ Protection de l'environnement
☐ Réduction de la pollution locale
☐ Compensation financière directe
☐ Bons d'achat / réductions chez des partenaires
☐ Actions de sensibilisation (écoles, enfants)
☐ Autre :
17. **Avez-vous des suggestions ou des attentes particulières pour améliorer la collecte des plastiques dans votre secteur ?**
.....
.....
.....

2.L'exemplaire rempli:

A. Données Démographiques et Cadre de Vie

1.Commune / Quartier :

..Bouira ville.....

☒ Urbain ☐ Semi-urbain ☐ Rural

2.Taille du ménage :

☐ 1-2 personnes ☒ 3-4 personnes ☐ 5 personnes ou plus

3.Type de logement :

☒ Appartement ☐ Maison individuelle ☐ Autre :

4.Profession : Enseignant.....

5.Revenu mensuel du ménage (en DA) : .130000.....

B. Production et Typologie des Déchets Plastiques

6.Produisez-vous des déchets plastiques à domicile ?

☒ Oui ☐ Non (Si "Non", veuillez passer à la question 10)

7.Quels types de déchets plastiques jetez-vous le plus fréquemment ?

(Plusieurs réponses possibles)

☒ Bouteilles d'eau / boissons

☒ Sacs plastiques

☒ Emballages alimentaires

☒ Flacons (produits ménagers, cosmétiques)

☐ Autre :

8.Comment évalueriez-vous la quantité moyenne produite par semaine ?

☐ Faible ☒ Moyenne ☐ Élevée ☐ Je ne sais pas

C. Pratiques Actuelles de Gestion des Déchets

9.Comment gérez-vous actuellement vos déchets plastiques ?

☒ Mélangés avec les ordures ménagères

☐ Triés séparément

☐ Brûlés

☐ Jetés dans la nature

☐ Autre :

10.Avez-vous déjà pratiqué le tri sélectif des déchets ?

☒ Oui ☐ Non

11.Si "Non", quelle en est la principale raison ?

☐ Manque d'information

☐ Manque de bacs de tri

☐ Manque de temps

☐ Pas d'intérêt / pas perçu comme utile

☐ Autre :

D. Disposition à Participer et Préférences Logistiques

12. Seriez-vous prêt(e) à trier vos déchets plastiques si un service adapté était mis en place ?

☒ Oui ☐ Non ☐ Peut-être

13. Quelle fréquence de collecte vous conviendrait le mieux ?

☒ 1 fois par semaine

☐ 1 fois toutes les deux semaines

☐ 1 fois par mois

14. Quel mode de collecte préféreriez-vous ?

☐ Collecte à domicile

☐ Point de dépôt volontaire (bornes, conteneurs spécifiques)

☒ Les deux modes selon la disponibilité

15. Seriez-vous prêt(e) à stocker vos plastiques propres et secs avant collecte ?

☒ Oui ☐ Non

E. Motivation et Perspectives d'Amélioration

16. Quel(s) facteur(s) vous encouragerai(en)t le plus à participer à un système de tri ?

(Plusieurs réponses possibles)

☒ Protection de l'environnement

☒ Réduction de la pollution locale

☐ Compensation financière directe

☐ Bons d'achat / réductions chez des partenaires

☒ Actions de sensibilisation (écoles, enfants)

☐ Autre :

Avez-vous des suggestions ou des attentes particulières pour améliorer la collecte des plastiques dans votre secteur ?

... Il faut trier les déchets en trois catégories :

1. Plastiques et dérivés

2. Papier et carton

3. Déchets alimentaires