

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أوبوكر بلقايد تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



Mémoire de fin de Cycle

Réalisé par :

BENLADGHEM Khadem Khouloud & OTMANE CHERIF Hanane

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

Filière : Génie industriel

Spécialité : Chaines logistiques & Ingénierie de production

Intitulé

Performance du réseau de la collecte des déchets ménagers cas de transformation du plastique en carburants par pyrolyse

Devant le jury composé de

Mme. SARI Lamia Née TRIQUI	MCA Université de Tlemcen	Présidente
Mr. MEKAMCHA Khalid	MAA Université de Tlemcen	Examineur
Mr. MALIKI Fouad	MAA Université de Tlemcen	Examineur
Mr. BENNEKROUF Mohammed	MCB ESSAT Tlemcen	Encadreur
Mr. BENNACER Djamel	Docteur et Cadre Entreprise NAFTAL	Co-Encadreur
Mr. SARI Mohammed	Magister Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2018-2019

*Je dédie ce modeste travail,
A ceux que personne ne peut compenser les sacrifices qu'ils
ont consentis pour mon bien être : ma chère mère, mon cher
père, mes sœurs, et mon frère.*

*Et à tous les membres de la famille OTMANE CHERIF
et KEBACHA et ARBAOUI.*

*Et à mes amis qui ont toujours été présents lorsque j'en ai eu
besoin. et on particulier ma binôme BENLADGHEM
KHADEM Khouloud et a toute sa famille.*

*A mes encadrants, mes professeurs pour nous avoir guidé,
tout au long de notre parcours d'étudiantes.*

A tous ceux qu'ont crus en mes succès...

... OTMANE CHERIF Hanane

*Je dédie ce travail aux êtres les plus chers à mes yeux ma
mère et mon père qui ont toujours été derrière moi depuis le
début de mes études, c'est grâce à leurs encouragements et à
leurs prières que je suis là aujourd'hui.*

*A mes sœurs, et mes frères, qui n'ont jamais cessé de
m'encourager, à mes nièces et mes neveux et à tous les
membres de ma famille.*

*A mes collègues et camarades dont l'aide morale n'a jamais
été sans effet et spécialement à mes meilleurs amis, et
surtouts ma binôme OTMANE CHERIF Hanane et à toute
sa famille.*

*A mes encadrants, mes professeurs pour nous avoir guidé,
tout au long de notre parcours d'étudiantes.*

*A toutes les personnes qui ont répondu présentes quand j'ai
eu besoins d'eux.*

... BENLADGHEM KHADEM Khouloud

Remerciement

Nous remercions « ALLAH » tout puissant de nous avoir donné la patience et la force pour terminer ce modeste travail.

Nos remerciements les plus sincères :

A nos encadrateurs : Monsieur BENNEKROUF Mohammed et messieurs BENNACER Djamel et SARI Mohammed, pour leur compréhension, encouragement et surtout les orientations qu'ils ont pu nous prodiguer tout au long de ce travail,

A l'ingénieur BELABED Youcef et Melle MOKRI Fatima Zahra pour leur temps consommé à notre profit.

A nos professeurs pour nous avoir guidé, tout au long de notre parcours d'étudiantes.

A nos familles qui nous ont toujours encouragé, soutenu et appris à donner le meilleur de nous-mêmes.

Aux membres du jury qui ont accepté de procéder à l'évaluation des résultats de nos recherches.

A toute l'équipe pédagogique du laboratoire de productique de Tlemcen (MELT) pour avoir assuré notre formation et enrichi notre savoir.

ملخص

بعد ما كانت النفايات مصدر ازعاج للجميع أصبحت الان مصدر ثورة للدول التي تقوم بتسيير نفاياتها بشكل جيد. الجزائر من ضمن الدول التي مازالت تعرف تأخر في هذا المجال وبهذا الصدد قمنا في هذا البحث باقتراح نماذج لوضع القمامات بطريقة مثالية في منطقة بوجليدة واقتراح طرق فعالة لتحسيس وتحفيز المواطنين للقيام بعناية الفرز الانتقائي للنفايات المنزلية. ومن أكثر النفايات المنزلية التي لقي العالم صعوبة في تدويرها وأصبحت تعد من أكثر المواد تلويثا في العالم لكثرة استعمالها وصعوبة تحللها في الطبيعة هي النفايات البلاستيكية.

وفي ظل التطورات التي يعرفها العالم في مجال معالجة وتثمين النفايات تم بابتكار عدة تقنيات لمعالجة هذا النوع من النفايات من أفضلها تقنية التحلل الحراري التي تقوم بتحويل البلاستيك الى وقود تحت درجة حرارة عالية وفي غياب غاز الاكسجين ولهذا الغرض قمنا في هذا البحث بإنشاء مجسم للقيام بعملية التحلل الحراري للبلاستيك.

الكلمات المفتاحية: النفايات المنزلية، النفايات البلاستيكية، القمامات، تخصيص الموقع، الانحلال الحراري.

Résumé

Depuis longtemps, les déchets étaient une source de nuisance pour tous et constituent à présent une source de révolution pour les pays qui gèrent bien leurs déchets, L'Algérie parmi les pays qui est encore retard dans ce domaine. À cet égard, nous avons proposé des modèles pour la localisation optimale des bacs dans la zone de boujlida et des démarches pour sensibiliser et motiver les citoyens à effectuer un tri sélectif des déchets ménagers.

Un des déchets ménagers les plus courants, difficile à recycler et qui est devenu l'une des substances les plus polluantes au monde pour ses nombreuses utilisations, et la difficulté de les décomposer dans la nature sont les déchets plastiques.

Avec le développement du monde dans le traitement et la valorisation des déchets plusieurs techniques ont été développées pour traiter ce type de déchets, la meilleure technique parmi eux on trouve la pyrolyse du plastique qui consiste à la décomposition des matériaux plastiques par l'action de la chaleur en absence d'oxygène pour obtenir un hydrocarbure que l'on a démontré expérimentalement par un prototype.

Les mots clé : Dechets menagers ,les déchets plastiques, les bacs, localisation allocation, pyrolyse.

Abstract

A long time ago, wastes were a source of nuisance for all, but for now they represent a source of revolution for countries that are managing them well. Algeria is among the countries that are still behind in this area. In this regard, we proposed models for the optimization of bins location in the zone of boujlida, and procedures as to raise awareness and motivate citizens to adopt the selective sorting of their household wastes.

One of the most common household wastes, hard to recycle and have become one of the most polluting substances in the world due to their many uses and the difficulty of their decomposing in the nature; are plastic wastes.

With the development of the world in the field of wastes treatment and recovery, several techniques have been developed to treat this type of wastes. The best technique among them is the Pyrolysis of plastic, which consists in the decomposition of plastic materials by the action of the heat in the absence of Oxygen to obtain a hydrocarbon. We demonstrated that last process experimentally by a prototype.

Keywords: Household waste, plastic waste, bins, location allocation, pyrolysis.

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre 01	3
1.1 Introduction	3
1.2 Définitions des concepts	4
1.2.1 Déchet.....	4
1.2.2 Réemploi	4
1.2.3 Réutilisation	4
1.3 Déchets ménagers	4
1.3.1 Déchets verts	5
1.3.2 Ordures ménagères	5
1.3.3 Déchets ménagers spéciaux.....	5
1.3.4 Autres déchets	5
1.4 Tri sélectif des déchets	5
1.5 Statistiques des déchets dans la wilaya d'Alger	5
1.6 Valorisation des déchets ménagers.....	6
1.6.1 Recyclage	6
1.6.1.1 Recyclage papier/carton.....	6
1.6.1.2 Recyclage du verre.....	7
1.6.1.3 Recyclage du plastique	7
1.6.1.4 Recyclage des métaux.....	7
1.6.1.5 Recyclage des déchets ménagers spéciaux	8
1.6.1.6 Recyclage des textiles	8
1.6.1.6.1 Recyclage mécanique.....	8
1.6.1.6.2 Recyclage chimique	8
1.6.2 Valorisation par transestérification pour les huiles de fritures.....	9
1.6.3 Incinération.....	10
1.6.4 Méthanisation	11
1.6.5 Compostage.....	13
1.6.6 Pyrolyse.....	13
1.6.6.1 Pyrolyse lente.....	14

1.6.6.2	Pyrolyse rapide/pyrolyse flash.....	14
1.6.7	Gazéification	14
1.7	Conclusion	15
Chapitre 02	16
2.1	Introduction	16
2.2	Généralités sur le plastique.....	17
2.2.1	Définition du plastique :.....	17
2.2.2	Procédé de fabrication du plastique	17
2.2.3	Polymères	17
2.2.4	Monomère	18
2.2.5	Familles des plastiques.....	18
2.2.5.1	Thermoplastiques.....	18
2.2.5.1.1	Types du thermoplastique	18
2.2.5.2	Thermodurcissables	19
2.2.5.2.1	Types des thermodurcissables :	19
2.2.5.3	Élastomères	20
2.2.6	Formes de plastiques	20
2.2.7	Impacts des déchets plastiques.....	20
2.3	Techniques de valorisation des déchets plastiques.....	21
2.4	Pyrolyse des déchets plastiques.....	22
2.4.1	Pyrolyse non catalytique	23
2.4.1.1	Pyrolyse rapide (dépolymérisation)/flash	23
2.4.1.2	Pyrolyse lente.....	24
2.4.2	Pyrolyse catalytique	24
2.4.3	Produits de pyrolyse du plastique.....	26
2.4.4	Pouvoir calorifique.....	26
2.4.5	Utilisation des produits de la pyrolyse des plastiques.....	27
2.4.6	Applications industrielles	27
2.5	Conclusion	28
Chapitre 03	29
3.1	Introduction	29
3.2	Logiciels utilisés.....	30

3.2.1	Système d'information géographique SIG.....	30
3.2.2	Solver LINGO.....	31
3.3	Résolution du problème de localisation des bacs dans la zone urbaine de Boudjlida.....	31
3.3.1	Définition de la zone d'étude	31
3.3.2	Collecte des données	32
3.3.3	Modèles proposés pour résoudre le problème de localisation des bacs dans la zone de Boudjlida.....	33
3.3.3.1	Présentation et analyse du modèle 1	34
3.3.3.2	Présentation et analyse du modèle 2	37
3.3.3.3	Présentation et analyse du modèle 3	41
3.3.3.4	Présentation et analyse du modèle 4	44
3.3.3.5	Présentation et analyse du modèle 5	46
3.3.3.6	Présentation et analyse du modèle 6	48
3.3.3.7	Présentation et analyse du modèle 7	53
3.3.3.8	Interprétation Générale	56
3.3.3.9	Configuration du réseau à tri sélectif.....	57
3.3.4	Localisation des bacs des autres déchets.....	58
3.3.4.1	Définition MCDM	59
3.3.4.2	Pourquoi PROMETHEE.....	59
3.3.4.3	Définition de la méthode PROMETHEE.....	60
3.3.4.4	Application de la méthode	61
3.4	Sensibilisation sur le tri sélectif des déchets	66
3.4.1	Pourquoi le tri sélectif	66
3.4.2	Différents bacs de tri sélectif.....	66
3.4.3	Bonnes humeurs de tri.....	67
3.4.4	Sensibilisation	68
3.5	Conclusion	69
Chapitre 04	70
4.1	Introduction	70
4.2	Qu'est-ce qu'un SolidWorks	70
4.3	Exemple d'un système de la pyrolyse du plastique	71
4.3.1	Description du système	72
4.4	Conception de la réalisation	72

4.4.1	Conception du réacteur.....	72
4.4.2	Conception de la bride.....	73
4.4.3	Conception du raccord	73
4.4.4	Conception du tube.....	73
4.4.5	Conception du condenseur	74
4.4.6	Conception du tube.....	74
4.4.7	Conception du tube.....	75
4.4.8	Conception du coude.....	75
4.4.9	Assemblage final	76
4.5	Etapas de l'expérience	77
4.6	Expériences.....	77
4.6.1	Interprétation des résultats	78
4.7	Analyse FTIR-ATR	81
4.7.1	C'est quoi FTIR-ATR	81
4.8	Conclusion.....	84
Conclusion Générale		85
Bibliographie.....		87

Liste des figures

Fig. 1. 1 Composition déchets ménagers selon ADEME.....	4
Fig. 1. 2 Etapes de la transestérification (A. Boulal, Septembre 2016).....	10
Fig. 1. 3 Processus de méthanisation	12
Fig. 2. 1 Extraction du plastique à partir du pétrole.....	17
Fig. 2. 2 Nombre des poissons par rapport plastique (al A. e.2018).....	21
Fig. 2. 3 Différentes techniques de valorisation des déchets plastiques	22
Fig. 2. 4 Schéma d'un procédé de Pyrolyse. (ANTONINI, 2010).....	23
Fig. 2. 5 Schéma de principe du réacteur à lit fixe à pyrolyse-catalyse à deux étages (Breyer, 2016).....	25
Fig. 2. 6 Composition atomique des carburants et des matériaux plastiques (PAWAR, 2016)	27
Fig. 3. 1 Carte de Boudjlida sur Google map.....	32
Fig. 3. 2 Pourcentages des déchets ménagers en France selon ADEME (ADEME)	33
Fig. 3. 3 Maillage de 50m sur la zone Boudjlida sur QGIS	34
Fig. 3. 4 Solutions données par LINGO de 1ier modèle.....	36
Fig. 3. 5 Emplacement des bacs de 1ier modèle dans QGIS	37
Fig. 3. 6 Emplacement des bacs de 1ier modèle dans Google Earth.	37
Fig. 3. 7 Résultats donnés par lingo du 2eme modèle.....	39
Fig. 3. 8 Emplacement des bacs du 2 ^{ème} modèle	40
Fig. 3. 9 Emplacements des bacs du 2 ^{ème} modèle dans Google Earth.....	41
Fig. 3. 10 Résultats du solver lingo du 3 ^{ème} modèle	42
Fig. 3. 11 Emplacements des bacs du troisième modèle dans QGIS	43
Fig. 3. 12 Emplacements des bacs du troisième modèle dans Google Earth.....	43
Fig. 3. 13 Résultats donnés par LINGO de 4 ^{ème} modèle.....	44
Fig. 3. 14 Emplacements des bacs du 4 ^{ème} modèle dans QGIS	45
Fig. 3. 15 Emplacements des bacs du 4 ^{ème} modèle dans Google earth.....	46
Fig. 3. 16 Résultat de solver LINGO du 5 ^{ème} modèle	47
Fig. 3. 17 Emplacements des bacs du 5 ^{ème} modèle dans QGIS.....	48
Fig. 3. 18 Emplacements des bacs du 5 ^{ème} modèle dans Google Earth.....	48
Fig. 3. 19 Résultats du solver lingo 6 ^{ème} modèle	51
Fig. 3. 20 Emplacements des bacs du sixième modèle dans QGIS	52
Fig. 3. 21 Emplacements des bacs du sixième modèle dans Google Earth.	53
Fig. 3. 22 Résultats du solver lingo du 7 ^{ème} modèle.....	54
Fig. 3. 23 Emplacements des bacs du 7 ^{ème} modèle dans QGIS.....	55
Fig. 3. 24 Emplacements des bacs du 7 ^{ème} modèle dans Google Earth.....	56
Fig. 3. 25 Nouveaux emplacements des bacs.....	57
Fig. 3. 26 Sites candidats pour localiser les autres déchets.....	59
Fig. 4. 1 Fenêtre du logiciel SolidWorks	71
Fig. 4. 2 Prototype d'un système de la pyrolyse du plastique	71
Fig. 4. 3 Conception du réacteur	73
Fig. 4. 4 Conception de la bride	73

Fig. 4. 5 Conception du raccord	73
Fig. 4. 6 Conception du tube (liaison Réacteur – Condenseur)	74
Fig. 4. 7 Conception du condenseur.....	74
Fig. 4. 8 Conception du tube (Sortie du 1 ^{er} Condenseur).....	75
Fig. 4. 9 Conception du tube (Entrée 2 ^{ème} Condenseur)	75
Fig. 4. 10 Conception du coude	75
Fig. 4. 11 Assemblage final	76
Fig. 4. 12 Procédé de pyrolyse réalisé dans l’atelier.....	76
Fig. 4. 13 Déchets plastiques utilisés	78
Fig. 4. 14 Liquide de la première et deuxième expérience	78
Fig. 4. 15 Coke noir de carbone	79
Fig. 4. 16 Liquide de la troisième expérience	79
Fig. 4. 17 Brûlure du liquide	80
Fig. 4. 18 Coke en demi-réaction.	80
Fig. 4. 19 Appareil FTIR-ATR du Laboratoire de catalyse et synthèse en chimie organique.....	81
Fig. 4. 20 Graphe du coke de la 1 ^{ère} expérience.....	81
Fig. 4. 21 Graphe du coke de la 2 ^{ème} expérience.....	82
Fig. 4. 22 Graphe du coke de la 3 ^{ème} expérience.....	82
Fig. 4. 23 Graphe du produit 1 de la 1 ^{ère} expérience.....	82
Fig. 4. 24 Graphe du produit 1 de la 2 ^{ème} expérience.....	83
Fig. 4. 25 Graphe du produit 1 de la 3 ^{ème} expérience.....	83
Fig. 4. 26 Graphe du produit 2 de la 3 ^{ème} expérience.....	83

Liste des tableaux

Tableau 2. 1 Résumé des études sur la pyrolyse des plastiques.(Sharuddin, 2016)	25
Tableau 3. 1 Résultats du 1 ^{ère} modèle.....	36
Tableau 3. 2 Résultats du 2 ^{ème} modèle	39
Tableau 3. 3 Résultats de 3 ^{ème} modèle.....	42
Tableau 3. 4 Résultats de 4 ^{ème} modèle	45
Tableau 3. 5 Résultats de 5 ^{ème} modèle	47
Tableau 3. 6 Résultats de 6 ^{ème} modèle	51
Tableau 3. 7 Affectation de la taille des bacs.....	52
Tableau 3. 8 Résultats de 7 ^{ème} modèle.....	54
Tableau 3. 9 Affectation de la taille des bacs.....	55
Tableau 3. 10 Matrice originale	62
Tableau 3. 11 Calcul de la normalisation de matrice d'évaluation	63
Tableau 3. 12 Résultat de calcul de la normalisation de matrice d'évaluation	63
Tableau 3. 13 Différence d'évaluation.....	63
Tableau 3. 14 Résultat la différence d'évaluation	63
Tableau 3. 15 Calcul de la fonction de préférence.....	64
Tableau 3. 16 Calcul de $j = 1mWj * Pj(a, b)$	64
Tableau 3. 17 Calcul de la fonction de la préférence agrégée	64
Tableau 3. 18 Comparaison entre chaque alternative selon l'indicateur de la préférence agrégée	65
Tableau 3. 19 Calcul du flux sortant et flux entrant.....	65
Tableau 3. 20 Normalisation du flux sortant et entrants correspond au chaque critère.	65
Tableau 3. 21 Valeur du flux net de surclassèrent pour chaque alternative.....	66
Tableau 4. 1 Composants de prototype	77
Tableau 4. 2 Paramètres des expériences	77
Tableau 4. 3 Tableau d'absorption par spectroscopie infrarouge	84

Liste des abréviations

ADEME	:	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
PVC	:	Poly (chlorure de vinyle)
IIA	:	Groupe 2 du tableau périodique, dit des métaux alcalino-terreux, autrefois appelé groupe
NaOH	:	Hydroxyde de sodium
REFIOM	:	Résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères
pH	:	Potentiel hydrogène
NH3	:	Ammoniac
N2	:	Diazote
H2S	:	Hydrogène sulfuré
CH4	:	Méthane
GJ	:	Giga joule, soit 10^9 joules
SIG	:	Système d'information géographique
OSGeo	:	Open Source Geospatial Foundation
GNU GPL	:	General Public License.

Introduction Générale

L'Algérie est le plus grand pays d'Afrique et le plus peuplé du Maghreb, et dans ces dernières années ce pays a connu une croissance substantielle de la population qui s'accompagne de l'accroissement de la quantité des déchets ménagers. Ceci va entraîner de graves dommages environnementaux, vu que :

- La principale issue de traitement en Algérie est la mise en décharge, dont le taux du recyclage est encore très faible et les filières de valorisation sont encore minimales. Seuls 5 à 7% des déchets urbains sont recyclés. (Ella Schieber, 2018)
- L'absence totale de la politique de tri sélectif.
- Le dépôt aléatoire des bacs et le débordement de ces derniers.

La mise en décharge ou l'enfouissement des déchets crée des impacts très négatifs sur l'environnement et sur la santé publique, car il peut polluer l'eau, l'air et le sol. Les produits chimiques dangereux peuvent se répandre dans la nappe phréatique ou dans les voies navigables, ils peuvent aussi causer des maladies qui pourraient se propager dans les communautés.

De plus, les techniques de valorisation des déchets est en forte évolution. La « valorisation énergétique des déchets » serait une technique qui amène de l'énergie dans un monde faim d'énergie tout en nous débarrassant nos déchets. Cette technologie devient quasi miraculeuse lorsque l'on s'aperçoit qu'elle présente aussi des avantages dans la lutte contre le réchauffement climatique. (Keller, 2009)

La gestion des déchets est importante dans le processus de la valorisation des déchets, notamment le tri sélectif qui permet d'économiser les ressources naturelles et de simplifier le travail d'une entreprise de recyclage et de la valorisation énergétique des déchets et de réduire les coûts du recyclage et contribue à la création d'emplois,...etc.

L'emploi de différentes couleurs des bacs permet d'inciter au tri sélectif, et temps que les bacs appartiennent au mobilier urbain et on les retrouve partout et participent à la mise en valeur de l'espace public, il est important de bien choisir leur types, leur taille et leur localisations. (AURELIE, 2011).

La deuxième chose qui permet d'impliquer les gens au tri sélectifs c'est la sensibilisation.

Les plastiques sont des matériaux très demandés, utilisés dans une large gamme d'applications, du ménage l'emballage, l'agriculture, l'automobile, la construction, en raison de leur légèreté, stabilité chimique élevée et faible dégradabilité. La production mondiale actuelle des plastiques est d'environ 300 millions de tonnes par an.

Inévitablement, le taux de recyclage des déchets plastiques n'excède pas 1%. Une grande partie du plastique finira dans les flux de déchets envoyé à la décharge, mais à cause de leur faible dégradabilité qui a un temps de décomposition entre 100 et 1000 ans, les plastiques créent de graves dommages pour l'environnement.

Cependant, la pyrolyse suscite un intérêt croissant, où les déchets plastiques sont thermiquement dégradés à une température modérée dans l'absence de l'air pour produire des chaînes moléculaires plus courtes et des molécules de faible poids moléculaire, pour produire une huile pouvant être utilisée comme carburant liquide, comme indiqué dans plusieurs études récentes (Devy K.Ratnasari, 2016).

Dans ce mémoire on va effectuer une étude de la revalorisation énergétique des déchets ménagers, cas de transformation des plastiques en diesel par la pyrolyse afin de proposer une démarche de tri sélectif et une localisation optimale des bacs dans la zone de Boudjlida.

Pour cet objectif notre document du mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur les déchets ménagers et les modes de valorisation les plus récents dans le monde.

Le deuxième chapitre présente des généralités sur les déchets plastiques et des généralités sur la méthode de pyrolyse que nous allons choisir pour revaloriser ce type de déchets.

Dans Le troisième chapitre nous proposons des modèles mathématiques implantés dans le solver LINGO, pour la localisation optimale des bacs dans la zone de Boudjlida et des démarches de tri sélectif des déchets et de sensibilisation pour impliquer les gens.

Le quatrième chapitre explique les détails de la réalisation pratique du système de pyrolyse du plastique. Il présente des explication de système parfait de pyrolyse, une partie de conception de notre réalisation par le logiciels SolidWorks, les composent utilisés et enfin des interprétations pour notre résultats et d'autres interprétations en faisant appel à la technique d'analyse FTIR-ATR qui est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé qui va permettre de vérifier la nature des produits de l'expérience.

Chapitre 01

Généralité et définition sur les déchets ménagers et techniques de traitements

«Vous pouvez évaluer le degré d'évolution d'une société à la quantité de déchets qu'elle recycle». D. Ywahoo

1.1 Introduction

Pour un environnement propre, il est clair que, les volumes de déchets ménagers générés doivent être collectés et éliminés. Pour mettre en action certaines alternatives de valorisation ceci nécessite des fonds de plus en plus importants pour les gérer et suscite des préoccupations environnementales croissantes en raison des vastes décharges qui ne sont pas correctement exploitées et qui causent une pollution importante.(Liebenberg, 2007).

Parmi les alternatives les plus sollicitées actuellement par les autorités municipales c'est la récupération des déchets ménagers (sous forme de matière ou d'énergie). Cette valeur ajoutée est communément acceptée comme une solution plus durable que l'élimination finale des déchets dans des décharges.

Pour discuter de ce concept de transformation d'une classe de déchets ménagers en énergie, nous allons présenter dans ce chapitre, deux parties. La première est restreinte aux spécifications des définitions sur les déchets ménagers.

Cependant dans la seconde partie, nous abordons des définitions et des explications sur les techniques de revalorisations des déchets ménagers.

1.2 Définitions des concepts

Pour cette tranche de définition, nous donnons la signification exacte d'un déchet ainsi que le parcours que doit pour lui donner de valeur ajoutée.

1.2.1 Déchet

Selon L'article L 541-1-1 et art. R 541-8 du Code de l'environnement français définissent la notion de déchets comme suivants : tous matériaux indésirables ou inutilisables, toute substance qui est jetée après l'utilisation ou qui est sans valeur, défectueuse et inutilisable, ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. (ADEME (agence d'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 1992))

1.2.2 Réemploi

C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. On peut dire que c'est de faire prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet. Par exemple : la consigne des bouteilles, à nouveau remplies après leur nettoyage (ADEME, 2016)

1.2.3 Réutilisation

C'est l'utilisation d'un déchet pour un usage différent de son premier emploi. Ou à faire à partir d'un déchet un autre produit que celui qui a donné naissance.

Par exemple : réutilisation de sacs plastiques comme sacs poubelles. (ADEME, 2016)

1.3 Déchets ménagers

Il est l'ennui majeur de propreté dans notre vie courante, il s'agit des déchets qui sont la conséquence d'activités domestiques, des débris issus de notre activité quotidienne ; ou bien est un objet usagé, abandonné, réutilisable ou non, qui résulte de l'activité humaine.

Pour voir la teneur en termes de variétés dans les déchets, la figure (1.1) illustre les différents types des déchets ménagers (ADEME, 2016).



Fig. 1. 1 Composition déchets ménagers selon ADEME

1.3.1 Déchets verts

Un déchet vert se compose des restes de végétaux ligno-cellusiques tel que les feuilles, fleurs, bois et pailles (AILE, 2015).

1.3.2 Ordures ménagères

Elles comprennent deux familles :

1. **Les fermentescibles** : les aliments, papiers et cartons.
2. **Les matériaux inertes** : Ce sont les déchets qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction chimique, physique ou biologique durant le stockage, comme : Métaux, Verre, Plastique (ADEME, 2016).

1.3.3 Déchets ménagers spéciaux

Les déchets ménagers spéciaux sont des matériaux corrosifs, inflammables, toxiques, explosifs ou réactifs. Ils comprennent : piles, accumulateurs, huile de friture, médicaments... (Diabaté, 2009)

1.3.4 Autres déchets

Ils contiennent les autres déchets qui n'incluent pas dans les familles premières telles que les textiles et les déchets électroniques... (Diabaté, 2009)

Pour valoriser d'une manière très efficace ces déchets très important, il existe deux techniques au niveau de la collecte ; la collecte des déchets mélangés (méthode classique basée sur l'élimination au niveau des centre d'enfouissement technique) et la collecte par classe de déchet ou souvent appelé le tri sélectif (nouvel tendance de développement pour une valorisation plus efficace et moins couteuse)

1.4 Tri sélectif des déchets

C'est l'action de trier les déchets par ceux qui les produisent (les citoyens), en fonction de leur nature (métaux, verre, papier, végétaux, etc.). On appelle le tri sélectif tri à la source lorsqu'il est fait avant une collecte sélective en porte à porte et on appelle tri par apport volontaire lorsqu'il s'effectue à l'aide de conteneurs spécifiques situés en déchèterie ou sur la voie publique. (durable, s.d.)

1.5 Statistiques des déchets dans la wilaya d'Alger

Vu que les données sur la valeur des déchets générées par les municipalités de l'Algérie ne sont pas répertoriées dans un système de données, nous allons nous concentrer sur des chiffres fournis par l'agence de collecte de déchets au niveau de la wilaya d'Alger. Selon l'article publié dans le journal El Watan, le Directeur des études et du développement à "Extranet" {une entreprise spécialisée dans la collecte des déchets au niveau de la capitale}, Bouteldja Karim, a indiqué que plus de 600.000 tonnes de déchets ménagers ont été collectés durant l'année 2017, et il a souligné que la moyenne quotidienne des déchets collectés a atteint plus de 1 640 tonnes/jour de même année seulement dans la wilaya d'Alger.

Aussi, Il a indiqué que la quantité d'ordures ménagères collectées durant le mois de ramadhan a dépassé 57 000 tonnes, enregistrant une hausse de 12.3% par rapport à la même période de l'année dernière où 50 523 tonnes de déchets avaient été collectés.

Le même responsable a indiqué qu'après le tri il y avait Plus de **2 430** tonnes de carton et de papier, **102** tonnes de plastique et 60 tonnes de pneus inutilisables avaient été collectés.

Entre autres et pour une vision à l'échelle nationale, d'après l'étude qui est annoncé par une autre agence nationale des déchets en 10 octobre 2018. Selon, Mme Fatma-Zohra Zerouati, ministre de l'Environnement et des Energies renouvelables, annonce que **13** millions de tonnes de déchets produites annuellement, dont 50% sont à l'origine des déchets organiques. Mais malheureusement, elle a évoqué l'avancement timide concernant le taux de recyclage de déchets reste méconnu qui avoisine 7% de déchets recyclés sur les 13 millions de tonnes produites. Néanmoins, ce chiffre n'est pas officiel puisqu'il y'a d'étude sur le secteur de la collecte informelle. (elwatan, 2018)

1.6 Valorisation des déchets ménagers

Aussi, selon L'ADEME ; c'est toute opération qui consiste à utiliser les déchets comme matériau d'entrée pour créer de nouveaux produits réutilisable ou de l'énergie ou l'extraction de matières premières secondaires. (Loi du 13 juillet 1992) (ADEME(agence d'environnement et de la maitrise del'energie, 1992).

Après avoir décrit brièvement, quelques définitions liées aux déchets, dans ce qui suit nous parler sur les techniques les plus utilisées dans la revalorisation les déchets ménagers.

1.6.1 Recyclage

Elle est considérée comme un processus qui vise à réintroduire directement un déchet dans le cycle de production dont il issu. De point de vu consistance, il peut remplacer en totalité ou partiellement la matière première neuve utilisée dans la fabrication. (ADEME, 2016)

En générale, dans le secteur de revalorisation des déchets ménagers, les procédés de recyclage s'implique dans des filières industrielles de papier, carton, verre, plastique, bois, les mentaux, etc.). Principalement, nous définissons les technique de recyclage de ces matériaux tels que :

1.6.1.1 Recyclage papier/carton

Cette matière est issue du papier et du carton, contient de la fibre biodégradable qui supporte un recyclage plus facile et que peut recycler plusieurs fois. Pour voir le cycle de vie de recyclage, c'est au bout de six à huit fois de recyclage où elle sera possible de la destinée vers la valorisation énergétique i.e. il est brûlé et sert d'énergie. (al M. P., 2004)

L'acheminement du recyclage du papier et du carton passe par l'étape de la collecte puis le tri, ensuite, un broyage est obligatoire pour avoir des pulpes qui sont par la suite purifiés et désancrés afin obtenir la pâte à papier source principale dans l'industrie de la pâte à papier. Elle est égouttée et séchée afin de la mettre en en bobine sous forme nouveaux papier/carton. Ces bobines sont destinées vers la fabrication des futurs emballages. A savoir, comme paramètre de performance de

recyclage du papier, 100g de papier (bien trié) donne 90g de papier neuf une seconde fois (al M. P., 2004).

1.6.1.2 Recyclage du verre

Aussi, le verre reste une part entièrement dans l'industrie. Il peut être façonné selon nombreux types de verre comme (emballage verre, verres armés, le verre de pare-brise, miroir, verre non transparent, ampoules d'éclairage, vaisselle en verre, cristal, ... etc.). Comme avantage, ces déchets de verre peuvent avoir un cycle de recyclage à l'infini si le mélange entre les différents types n'aura pas lieu. C'est, la condition nécessaire dans le processus de recyclage de verre où chaque type doit être collecté et recyclé individuellement vu sa propre composition.(le verre dans les déchets d'emballages ménagers, 1998)

Son processus de recyclage commence après la collecte et le tri des déchets d'emballages verre, il achemine les étapes suivantes :

- Premièrement, il est broyé pour obtenir de calcin.
- Deuxièmes, le calcin est fondu pour donner une pâte de verre (NB : chaque type a son propre température de fonte).
- Dernièrement, la mise en forme de la pâte de verre pour obtenir des bouteilles et pots en verre.

Juste pour voir l'impact de recyclage, nous pouvons gagner 13L de gazole ou suffisamment d'électricité pour éclairer une chambre pendant une année si une quantité de 100kg de verre est recyclée(Le verre, un matériau réutilisable, 2012)

1.6.1.3 Recyclage du plastique

C'est la transformation des déchets plastiques (notamment bouteilles et les flacons) par des moyens physiques (broyage, déchiquetage, lavage, séchage et fusion) pour avoir une nouvelle matière du plastiques sous forme granulat. (al S. M., 30 Août 2013). Ce granulat est introduit en portion dans la fabrication d'article à base de plastique en respectant le type de chaque plastique (al S. M., 30 Août 2013).

1.6.1.4 Recyclage des métaux

Ce déchet très valorisable est scindé en deux types de métaux. Ils sont les métaux ferreux et les métaux non ferreux, recyclables à l'infini sans perdre leurs propriétés (DU, 31 décembre 2014).

- Les métaux ferreux (fer, acier, fonte).
- Les métaux non ferreux (aluminium, cuivre).

Les métaux à recycler sont :

- Boîtes de conserve
- Canettes
- Bombes aérosol et bidons métalliques bien vidés
- Boîtes métalliques

- Couvercles .etc. (DU, 31 décembre 2014).

Lors de recyclage des métaux aussi, il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

1. La séparation des métaux (ferreux et non ferreux) par un tri magnétique.
2. Le transfert des métaux sous forme des balles.
3. La transformation en matière première sous forme de lingots, de barres ou de bobines.
4. L'incorporation de cette dernière dans la création de nouveaux produits finis (DU, 31 décembre 2014).

1.6.1.5 Recyclage des déchets ménagers spéciaux

Ces déchets sont trop dangereux pour l'environnement, ils regroupent les piles et les accumulateurs et ils ont aussi une seconde vie. Pour une valeur ajoutée après leur fin de vie, la rigueur au niveau de tri est obligatoire par le fait qu'ils n'ont pas les mêmes compositions. Après cette étape, chaque classe est broyée puis déchiquetée afin d'extraire trois matières :

- La première c'est le papier plastique qui est destinée pour l'emballage,
- La deuxième c'est la partie métallique.
- La troisième c'est la black mass ou la partie active c'est une poudre noire.

Cette black mass est mélangée avec des réactifs afin d'extraire chaque des matériaux. Ces derniers sont transformés sous forme de solide puis purifier par une machine pour qu'à la fin obtenir soit nickel, aluminium... Etc.(Mortgat, 2000)

1.6.1.6 Recyclage des textiles

Pour le recyclage de textile, il existe deux principaux types de recyclage :

1.6.1.6.1 Recyclage mécanique

Il consiste à récupérer les fibres textiles via différentes séparations et manipulations. Ce type de recyclage consiste à l'utilisation de deux méthodes pour l'incorporation de matières textiles recyclées dans des nouvelles applications : l'effilochage et le compoundage. (al A. e., juin 2009)

1) Effilochage

La technique de l'effilochage permet, de transformer des surfaces textiles en fibres à l'aide des cylindres munis des pointes ou des dents. (al A. e., juin 2009)

2) Compoundage

Le compoundage consiste à développer des granulés de fibres textiles en mélange avec d'autres matières thermoplastiques. (al A. e., juin 2009)

Les secteurs d'application des textiles recyclés en recyclage mécanique sont :

- Le secteur de l'isolation des bâtiments.
- Le secteur automobile (al A. e., juin 2009)

1.6.1.6.2 Recyclage chimique

Le recyclage chimique du textile consiste en la régénération chimique des fibres synthétiques. Cette régénération fait appel à des procédés de dissolution qui permettent de récupérer des fibres, puis des molécules qui sont dépolymérisées. Les fibres obtenues peuvent alors être utilisées en substitution de fibres vierges. Ce type de recyclage ne s'applique qu'aux fibres synthétiques.

Dans ce type de recyclage, deux types des procédés sont utilisés :

- Régénération chimique de fibres polyester.
- Régénération chimique de textiles enduits de PVC. (al A. e., juin 2009)

1) **Régénération chimique de fibres polyester**

Il consiste en une dissolution, cristallisation puis ré-polymérisation de fibres de polyester. Après le recyclage des fibres de même qualité que les fibres vierges de polyester sont obtenus. Ils peuvent être utilisés dans la fabrication de vêtements en substitution de fibres vierges. (al A. e., juin 2009)

2) **Régénération chimique de textiles enduits de PVC**

Il consiste un broyage puis une dissolution sélective du PVC qui permet de séparer les fibres du PVC. Le PVC est ensuite granulé. (al A. e., juin 2009).

1.6.2 Valorisation par transestérification pour les huiles de fritures

La transestérification, qui fait référence à une réaction chimique catalysée impliquant de mélanger les huiles et les graisse de friture avec un alcool pour donner des esters allyliques d'acides gras (biodiesel) et du glycérol. L'opération de transestérification peut être effectuée à froid ou à chaud selon le procédé choisis et les réactifs utilisés. (A. Boulal, Septembre 2016).

Les différentes étapes de la transestérification se performant à travers l'ordre suivant :

1. Le mélange réactionnel de 100ml de l'huile de friture et 50ml d'alcool 1% du catalyseur de NaOH soumis à une agitation continue pendant 1 h à une température de 40°C.
2. Chauffage et d'agitation pendant 60m.
3. Séparation et évacuation de glycérine.
4. Lavage de produit obtenu à l'aide de l'eau distillé ou de l'acide qui sert à éliminer le glycérol et neutraliser le milieu alcalin. (A. Boulal, Septembre 2016).

Pour plus de détail, la figure ci-dessous, explique le processus de transformation des huiles de friture en biodiesel.

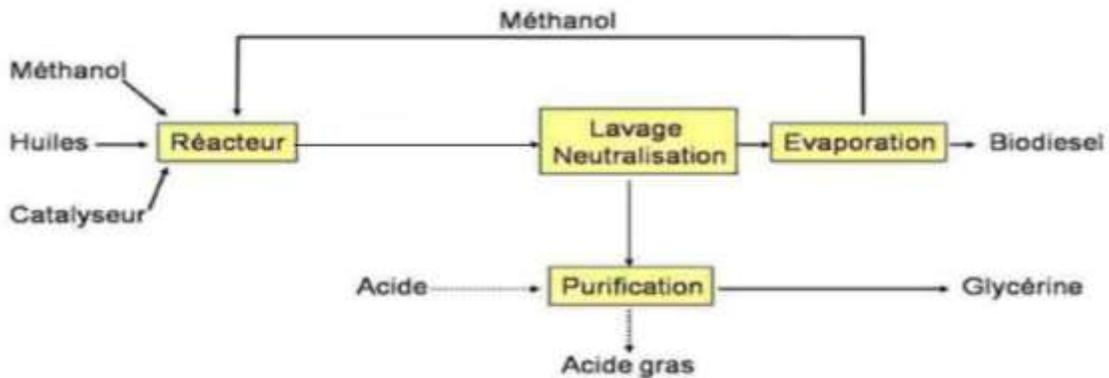


Fig. 1. 2 Etapes de la transestérification (A. Boulal, Septembre 2016).

1.6.3 Incinération

L'incinération est le traitement des déchets par combustion de substances organiques présentes dans les déchets. Il convertit les déchets en chaleur, en gaz de combustion et en cendres, qui sont rejetés dans l'atmosphère sans autre traitement. (Nidoni, 2017)

Les déchets ménagers qui peut être incinérer pour produire l'énergie c'est : le bois, le papier/le carton et le plastique.

Le processus de valorisation énergétique des déchets par incinération est défini comme suit :

1. Stockage des déchets ménagers(le bois fraîchement abattu doit être stockés au minimum deux ans).
2. Le combustible est acheminé vers la chaudière est introduit dans la chambre de combustion ou il brule à plus de 850°C et dégage de la chaleur.
3. La combustion chauffe un l'eau est le transforme en vapeur.
4. La récupération de la vapeur pour :
 - Alimenter un réseau de chaleur urbain.
 - produire de l'électricité après l'introduite dans un turboalternateur. (Bourguignon, 2016)

Les fumées et poussières issues de l'incinération sont traitées par un processus de lavage et de filtrations puis sont évacuées dans l'atmosphère. Les résidus de l'épuration des fumées comme les Poussières ou les résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères (REFIOM) sont considérés comme des déchets ultimes et pouvant être mis en décharge. (Bourguignon, 2016)

Les matières non combustibles issues de l'incinération appelée les mâchefers, sont des résidus solides constitués principalement de métaux, de minéraux et de composés organiques. (Bourguignon, 2016)

Les différents types de mâchefers sont :

- a. Mâchefer à faible fraction lixiviable.
- b. Mâchefer destinés à une période de maturation.
- c. Mâchefer a forte fraction lixiviable.

Le premier et le deuxième type sont utilisés comme un remblai dans les travaux publics, cependant le 3^{ème} type est destiné vers le stockage et enfouissement. (Bourguignon, 2016)

L'énergie issue de l'incinération :

- L'incinération de 170 millions de tonnes de déchets dans le monde produit une énergie équivalente à 220 millions de barils de pétrole, soit 200 000 barils / jour, soit 3% des besoins des Etats-Unis
- Au Japon, 236 centres d'incinération produisent l'équivalent d'une centrale Nucléaire
- En Europe existe 400 centres d'incinération fournissent 27 millions d'habitants en électricité ou 13 millions en chaleur.
- Électricité de France(EDF) indique que la destruction d'une tonne d'ordures ménagères fait économiser 0,2 tonne de pétrole soit 7 millions de barils qui sont préservés en 2008 grâce à l'incinération des déchets en France (Keller, 2009)

1.6.4 Méthanisation

Selon ADME La méthanisation ou la digestion anaérobie est une technologie basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène.

C'est un processus chimique dans lequel la matière organique est décomposée par des micro-organismes en l'absence d'oxygène, ce qui entraîne la génération de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄). (al A. a., 2015 Février)

Elle est applicable pour les déchets verts tels que les résidus agricoles, les tontes de gazon et les bios déchets ménagers (restes de repas, pelures de fruits et de légumes).

Elle déroule dans une enceinte fermée appelée le digesteur dans laquelle les conditions de température et de pH sont contrôlées. Ses procédés se différencient principalement selon :

a. La teneur en matière sèche

- Les procédés à voie humide (la quantité de matière sèche et inférieur a 15%) : Ils sont utilisés pour les déchets solides qui nécessitent une dilution.
- Les procédés à voie sèche (la quantité de matière sèche entre 15% et 14%) : Ils sont utilisés pour les déchets solides.(al A. a., 2015 Février)

b. la température de réaction

- Méthanisation mésophile : la température entre 35-40 °C.
- La méthanisation thermophile : la température entre 50÷65 °C. (al A. a., 2015 Février)

c. les modes d'alimentation et d'extraction des déchets :

- Les procédés continus : Ce type des procédés sont adaptés au traitement des déchets liquides, Ils consistent de faire l'alimentation et la vidange du digesteur en permanence avec une quantité entrante équivalente à celle sortante.
- Les procédés discontinus (batch) : Ce type des procédés consiste à remplir puis vider les digesteurs séquentiellement lorsque la production de biogaz chute ou devient nulle.
- Les procédés semi-continus : Ce type des procédés consistent à remplir les digesteurs graduellement par des charges successives convenablement réparties dans le temps. Dans ces procédés la vidange est réalisée lorsque le volume utile du digesteur est atteint et que la production de biogaz n'est pas suffisante.(al A. a., 2015 Février)

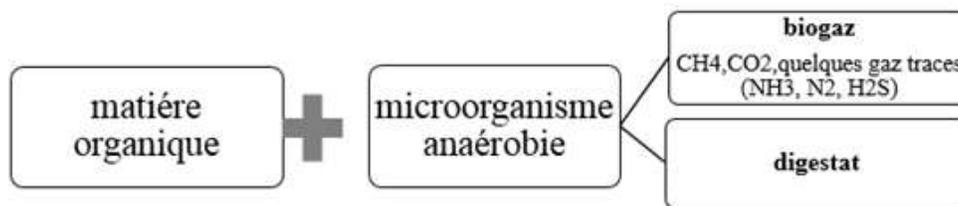


Fig. 1. 3 Processus de méthanisation

Après la réaction chimique, il en résulte deux composants à savoir : le biogaz et le digestat.

a) **Le biogaz** : Il peut être valorisé par cinq méthodes différentes :

- Production de chaleur.
- Production d'électricité.
- Production combinée d'électricité et de chaleur, ou cogénération.
- Carburant véhicule.
- Injection du biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel.

b) **Le digestat** : C'est un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée.

Il y a deux types de valorisation de digestat soit par

- Epannage : est une pratique agricole qui consiste à répandre sur un champ des fertilisants, des amendements, des herbicides ou des pesticides.(Colin, 1997)
- Séparation mécanique de la phase :
 - Solide : dans cette phase, le digestat est utilisé comme un compost.
 - Liquide : dans cette phase le digestat remplace les engrais chimique.(al A. a., 2015 Février)

Pour donner un ordre de grandeur sur la teneur de la méthanisation dans le développement durable, il faut savoir que 1m³ de méthane non liquéfié est équivalent à :

- 1.7 L l'alcool à brûler
- 0.94 m³ de gaz naturel
- 2.1kg de bois
- 1 L fuel.
- 1.15 L d'essence.
- 1.3 kg de charbon.(Moletta, 2012)

1.6.5 Compostage

Le compostage est un processus biologique qui facilite et accélère l'oxydation de la matière organique par fermentation aérobie. Il s'accompagne d'eau, de dioxyde de carbone et de chaleur. S'il est bien mené, il aboutit à la formation d'un résidu sec, désodorisé, hygiène (destruction des micro-organismes pathogènes) et stabilisé appelé compost (matière organique complexe et humifiable). (Debril, 2005) Les déchets qui peuvent être utilisés dans le compostage sont les déchets de cuisine et les déchets de jardinage. Pour avoir à la fin un bon compost, il faut suivre les suivantes étapes :

- La réception des déchets.
- Le stockage des déchets.
- Mélange, homogénéisation.
- Le broyage.
- La phase de fermentation active.
- Maturation et stabilisation du compost.
- Le criblage et le stockage du produit fini.

Comme résultat, le compost peut être utilisé en :

- Agriculture comme amendement rapide organique.
- Horticulture.
- Mélange avec d'autre produit pour produire des engrais naturels.
- Reconstitution du sol ou revégétalisation pour les espaces verts. (Debril, 2005).

1.6.6 Pyrolyse

C'est une voie alternative qui est basée sur la décomposition thermochimique des déchets ménagers en l'absence d'oxygène, par réaction endothermique, dont les produits sont un mélange de gaz légers incondensables, d'hydrocarbures lourds et de coke, en proportion relativement dépendant avec la température et le temps de séjours. (Kiesse, 2013)

La pyrolyse a nombreuses applications comme : déchets très polluants, ordures ménagères, déchets de bois, plastiques, noyau d'olive ... ; c'est-à-dire tous types de matière composée principalement de l'hydrogène et de carbone.

D'un point de vu processus chimique, il existe deux types de la pyrolyse :

1.6.6.1 Pyrolyse lente

Cette pyrolyse est caractérisée à l'échelle industrielle par :

- Temps de séjour élevé environ 60.
- Vitesse de chauffe faible.
- Température base (350-400°C).
- Favorise la production du coke que de gaz. (Kiesse, 2013)

1.6.6.2 Pyrolyse rapide/pyrolyse flash

Cette pyrolyse est caractérisée à l'échelle industrielle par :

- Temps de séjour faible entre 1 à 10 min.
- Vitesse de chauffe élevée.
- Température élevée (500-600°C).
- Favorise la formation de gaz, en minimisant la production de coke. (Kiesse, 2013)

1.6.7 Gazéification

C'est aussi une réaction thermochimique. Elle consiste à chauffer les déchets à une température comprise entre 800 et 1500°C dans une atmosphère réduite d'oxygène, avec un agent de gazéification (air, vapeur d'eau, du gaz carbonique(CO₂), de l'air enrichi en O₂, ou du dioxyde de carbone). Il en résulte que cet ensemble est converti en gaz de synthèse (syngaz) où principalement est constitué de CO₂, H₂, CH₄, et une petite quantité de goudron.

Après épuration, le gaz peut être utilisé comme source de production :

- De chaleur
- D'électricité par l'action du gaz sur des turbines.
- D'hydrogène, méthanol et de méthane par un traitement chimique.
- De carburant de synthèse. (Boigelot, 2012)

D'un point de vu rendement, les pouvoirs calorifiques de ce gaz sont entre 8–12 GJ par tonne de matières. Ainsi le fonctionnement de processus de la gazéification comporte quatre étapes :

- Séchage de la matière première (déchets) pour produire de vapeur d'eau sous une température comprise entre 100-160°C.
- la pyrolyse de la matière séchée à une température entre 120-600 °C, cette opération est dite « auto thermique » parce que elle ne produit ni ne consomme d'énergie. Elle donne du coke, du gaz de pyrolyse, des goudrons et des matières volatiles condensables issues de vapeurs de composés organiques (acides acétiques, aldéhydes).

- Oxydation des gaz de pyrolyse pour générer une chaleur nécessaire aux deux étapes précédentes et à l'étape suivante de la gazéification, cette opération se déroule en présence d'oxygène à une température entre 1200-1500 °C.
- La réduction ou la gazéification du carbone pour produire le gaz de synthèse, cette étape se déroule à une température comprise entre 800 °C et 1200° C et en l'absence d'oxygène. (Boigelot, 2012)

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation généralisée sur les déchets, leurs spécifications ainsi que leurs technologies de récupération pour en donner une valeur ajoutée. Dans une première partie, nous avons présenté des définitions sur les classes de déchets ainsi que leur importance en teneur par rapport à la quantité générées dans les zones urbaines en Algérie. Par la suite dans la deuxième partie, nous avons donné les caractéristiques de revalorisation de déchets par classe par rapport au processus à utiliser ainsi que le résultat obtenu pour chaque type de déchets. Pour la valeur ajoutée issus de la récupération, nous avons spécifiée l'avantage de l'utilisation de chaque résultat dans en terme de sa vision comme matière première.

Etant donné que notre mémoire est basée principalement sur la pyrolyse et la transformation de plastique en source d'énergie, dans le suivant chapitre, nous allons donner plus de détail sur le plastique et sa revalorisation énergétique.

Chapitre 02

Généralité sur le plastique et la méthode de la pyrolyse

2.1 Introduction

En raison de leur légèreté, leur grande stabilité chimique, leur polyvalence et de leur coût relativement faible, les plastiques sont utilisés dans une large gamme d'applications : Les emballages ménagers, l'agriculture, l'automobile à la construction, ...etc.

Malgré les avantages susmentionnés, les plastiques posent des problèmes environnementaux, qui sont directement liés à l'accumulation de ses déchets et cela depuis le début de leur découverte. Ces déchets occupent un grand espace dans les décharges pendant des centaines d'années vu le cycle très lent de leur dégradation.

Dans le but de réduire les effets néfastes des déchets plastiques, des efforts ont été déployés pour promouvoir leur récupération en vue de leur recyclage. Mais toutefois, un pourcentage très faible de déchets est récupéré, le reste étant envoyé aux sites d'enfouissement. À ce stade le monde entier cherche des méthodes et des voies de traitement de ces derniers car les méthodes adoptées actuellement (recyclage, incinération et la mise en décharge) ont leurs limites. Le recyclage chimique est le seule procédé qui est conforme aux principes du développement durable, car il conduit à la formation des matières premières, permettant de récupérer le contenu énergétique du plastique sous forme du liquide et du gaz.

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons définir le plastique, leur procédés de fabrication, leur familles. Ainsi nous allons décrire leur impact sur différentes axes.

Dans la 2^{ème} partie nous allons schématiser les techniques de valorisation des déchets plastiques puis nous allons citer en détailles la voie choisie pour valoriser le plastique.

2.2 Généralités sur le plastique

2.2.1 Définition du plastique :

Le plastique est une matière organique extraite essentiellement du pétrole, elle est composée principalement de polymère qui a la propriété de se mettre facilement en forme.

Il existe deux autres types de plastique, les plastiques naturels (poix, latex, bitume, brai, résines, laques, ambre, écaille, corne, ...etc.) et les plastiques d'origine animale. Les plastiques d'origine animale produite à partir du lait sont utilisés dans la fabrication des produits médicaux. (hammami, 2016)

2.2.2 Procédé de fabrication du plastique

La figure (2.1) illustre les étapes d'extraction du plastique à partir du pétrole :

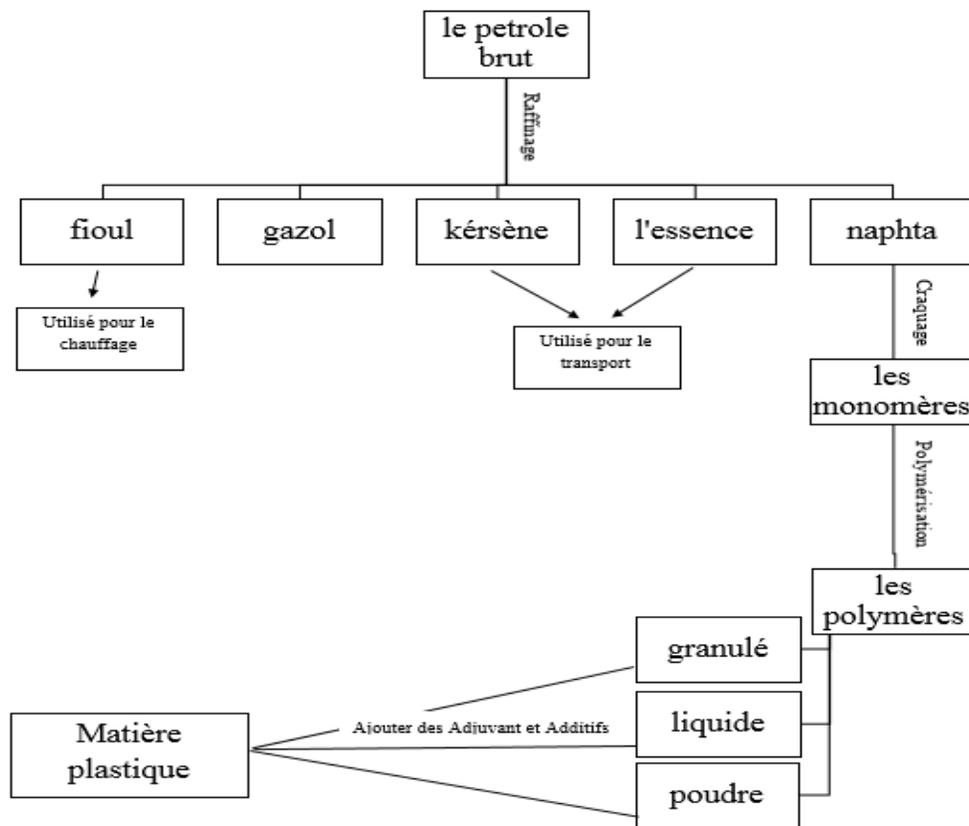


Fig. 2. 1 Extraction du plastique à partir du pétrole.

2.2.3 Polymères

Le polymère représente une grande molécule constituée de monomères reliées par des liaisons covalentes, appelé aussi macromolécules ; il peut contenir plusieurs centaines à plusieurs millions de monomères.

- **PS** : Polystyrène, comprend trois types :
 1. Polystyrène "cristal" transparent.
 2. Polystyrène "choc" (HIPS).
 3. Polystyrène expansé (PSE), inflammable et combustible.

Les PS ont des usages variés tels que : le matériel de bureau, les produits rigides, les bacs à douche, les appareils électriques, les gobelets à café, les tasses et assiettes, l'isolation thermique, emballage (anti choc), ...etc.

- **PC** : Polycarbonate.

Nous pouvons trouver le PC dans le casque de moto, CD et DVD, phare, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses et biberons incassables,...etc.
- **PET** : Polyéthylène téréphtalate.

Les PET sont utilisable dans les bouteilles de l'eau ou gazeuses, les emballages jetables de toute sorte (barquettes alimentaire,...etc.), fibres textiles et rembourrage, ...etc.
- **PVC** : Polychlorure de vinyle.

Nous pouvons trouver le PC dans les panneaux de façade, les jouets d'enfants (poupées Barbie,...etc.), la tuyauterie et les produits de construction de mobilier, les cartes de crédit et de réduction, les volants de voitures, les emballages de médicaments, ...etc.

2.2.5.2 Thermodurcissables

Ce sont des matériaux très durs, non recyclables et très résistants aux agressions chimiques et à la chaleur. (hammami, 2016)

2.2.5.2.1 Types des thermodurcissables :

- **PUR** : Polyuréthanes
Les PUR sont utilisés dans les matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, et les chaussures de ski,...etc.
- **Polyesters insaturé** :
Les Polyesters insaturés sont utilisés dans les cabines de bateaux, piscines et carrosseries d'automobiles, ...etc.
- **PF** : Phénoplastes.
Les PF sont utilisés dans les domaines scientifiques et de réalisation d'objets par exemple téléphones, postes de radio, de fer à repasser, des plaques de revêtement et pour fabriquer les poignées de casserole etc.
- **MF** : aminoplastes, sont les plastiques thermodurcissables les plus utilisés.
Les MF ont des usages variés comme exemple les mobilier de cuisine, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, mélaminés, etc.), plans de travail, moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, bois agglomérés et pièces moulées etc. (hammami, 2016)

2.2.5.3 Élastomères

Les élastomères sont élastiques. Ils ont trois catégories :

- Caoutchoucs.
- Elastomères spéciaux.
- Elastomères très spéciaux.

Les élastomères sont utilisables dans différents domaines sous forme de tuyaux et de joints. (hammami, 2016)

2.2.6 Formes de plastiques

Après la mise en forme de la matière plastique, elle est livrée comme produits finis sous formes multiples :

- Granulés
- Poudre
- Résine
- et des semi-produits (feuilles, films, pastilles et fibres).

2.2.7 Impacts des déchets plastiques

Environ 60 millions de tonnes/an de production de plastique mondialement, ce qui confirme son omniprésence et sa très vaste utilisation à cause de sa longévité ; malgré ses avantages non négligeables il y a plein de soucis après leur utilisation, car de nombreux types de plastique ne sont pas dégradables et resteront dans l'environnement entre 100 et 1000 ans, par exemple :

- Sac en plastique : 20 ans.
- Gobelet en plastique : 20 ans
- Ligne de pêche : 600 ans
- etc.

Donc ces déchets créent une menace majeure pour la vie marine, car leurs quantités sont très importantes, en pourcentage plus élevé (60 ÷ 95%) dans les mers par rapport aux autres types de déchet. 80% de ces déchets sont emportés par le vent et l'eau (source terrestre) et les 20% restantes proviennent de sources marines, telle que : la pêche, le transport marine, ...etc. Des statistiques confirment que d'ici 2025, l'océan va contenir 1 tonne de plastique pour 3 tonnes de poissons et ce nombre pourrait augmenter aux cours des temps (al A. e.2018).

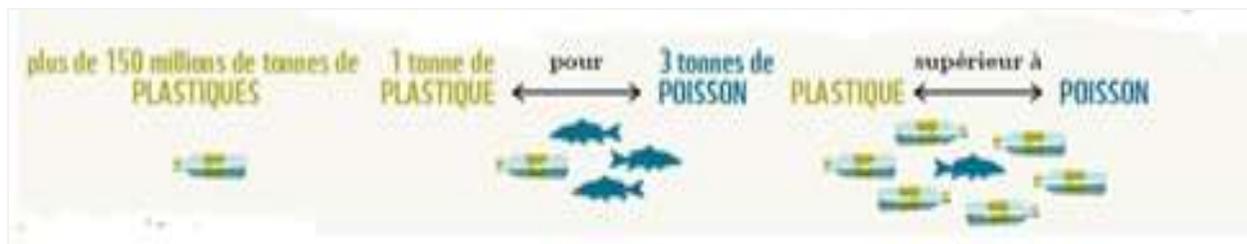


Fig. 2. 2 Nombre des poissons par rapport au plastique (al A. e.2018)

Il y a deux types des déchets plastiques : des macro-plastiques et des micro-plastiques (fragments <5mm), dans la mer on trouve $150 \div 500\ 000$ tonnes de macro-plastiques/ an, avec une quantité de 500 000 tonnes de déchets correspondent à 66 000 bennes à ordures et $70 \div 130\ 000$ tonnes de micro-plastique/an.

Ce micro plastique entrant dans la chaîne alimentaire détruit l'environnement marin et contamine aussi l'air et l'eau, ce que va affecter la vie humaine (maladies dangereuses). En plus de ça, il va y avoir des pertes financières à environ 13 milliards de dollars par an en dommages environnementaux sur les écosystèmes marins. (al A. e., 2018).

Les déchets plastiques notamment des sachets et les bouteilles peuvent engendrer l'obstruction des caniveaux ce qui provoque ultérieurement des inondations et propagation des moustiques et des odeurs.

Les déchets plastiques polluent aussi espace agricoles et baisse leur rendement.(l'UEMOA, 2013).

2.3 Techniques de valorisation des déchets plastiques

La valorisation des déchets plastiques consiste à donner de la valeur aux ces déchets par l'application des différents techniques de traitements qui sont exprimées par le schéma suivant.

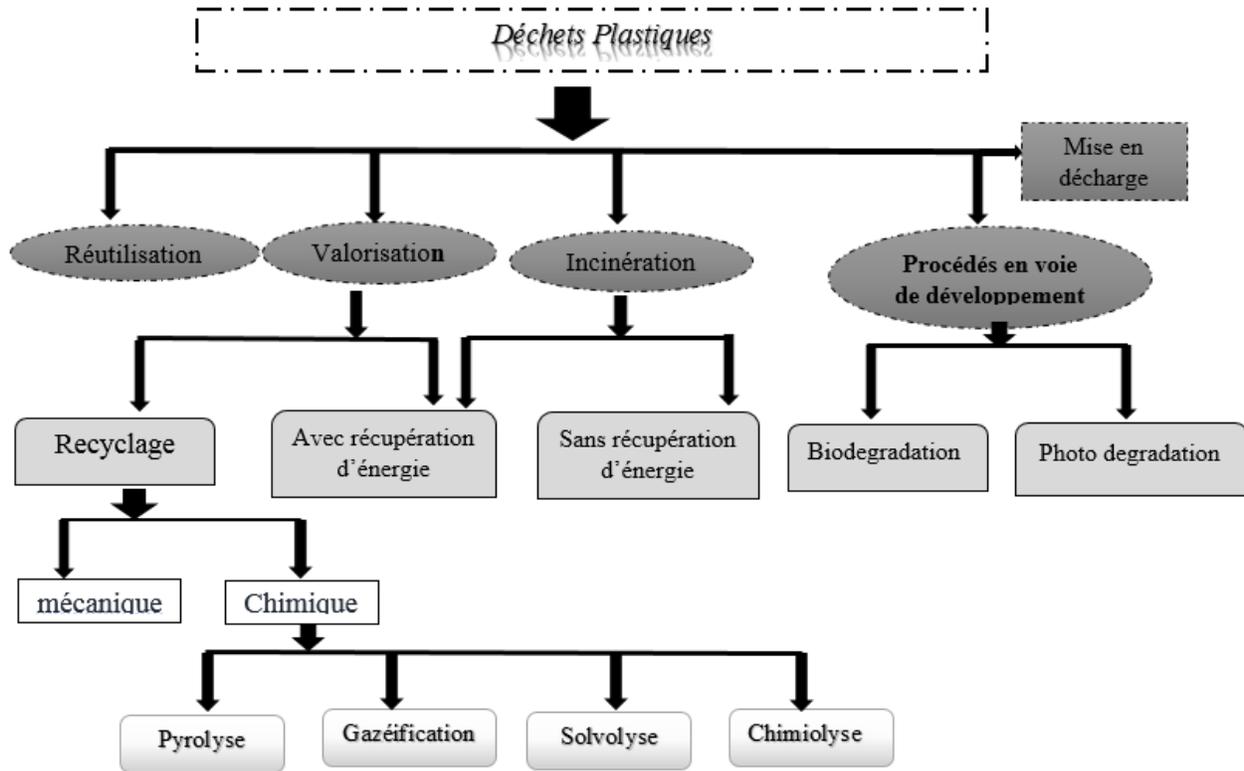


Fig. 2. 3 Différentes techniques de valorisation des déchets plastiques

Pour la technique que nous avons choisi pour valoriser notre déchets en matière plastiques c'est la techniques de pyrolyse.

2.4 Pyrolyse des déchets plastiques

La pyrolyse correspond à la dégradation thermique de la matière organique en l'absence d'oxygène. Elle conduit à la formation des composés solides riches en carbone et des composés gazeux non condensables (CO, CO₂, H₂, CH₄, ...etc.) et une fraction condensables (huile, aromatique, goudrons, H₂O). La pyrolyse débute à un niveau de température relativement bas et se poursuit jusqu'à 1.000 °C environ. Selon la température finale du processus, la distribution des trois produits résultants (gaz, liquide, solide) est différente. (Antonini, juin2004)

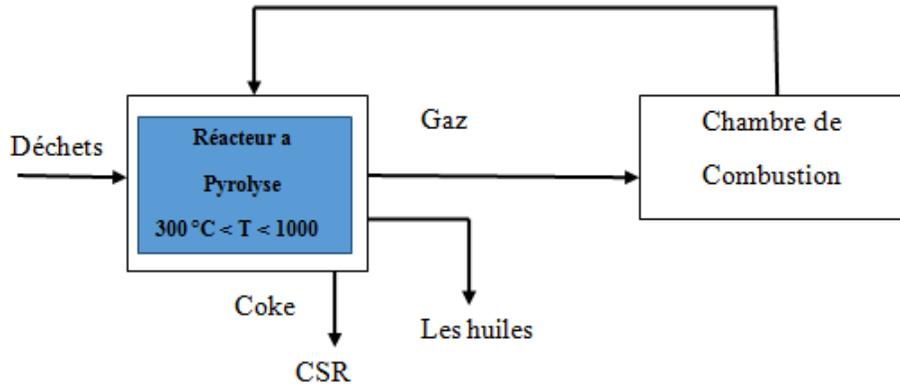
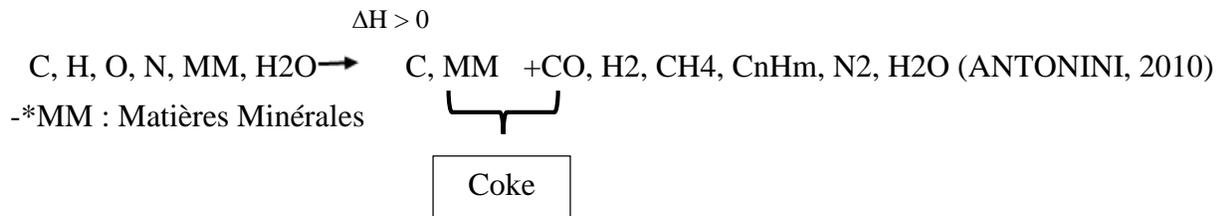


Fig. 2. 4 Schéma d'un procédé de Pyrolyse. (ANTONINI, 2010)

La pyrolyse possède deux procédés essentiels, la pyrolyse catalytique et non catalytique.

2.4.1 Pyrolyse non catalytique

La pyrolyse non catalytique est une pyrolyse qui ne nécessite pas de catalyseur lors du traitement des déchets plastiques. Ce procédé est résumé par une équation comme suit :



La pyrolyse non catalytique composée de la pyrolyse rapide et la pyrolyse lente.

2.4.1.1 Pyrolyse rapide (dépolymérisation)/flash

C'est la décomposition thermique des déchets plastiques, plus particulièrement les déchets plastiques très contaminés et hétérogènes, en absence d'oxygène, à haute température (600÷900°C) avec un temps de séjour (1-10min) et une vitesse de chauffe entre 300 et 550°C/min, en favorisant la formation du gaz et en minimisant la production de coke, dont les produits sont :

- La vapeur qui va être refroidie pour avoir l'huile pyrolytique (diesel).
- Le gaz non condensable.
- Les cokes.

Le gaz non condensable et les cokes peuvent être utilisés comme source de chauffage pour le réacteur pyrolyse, comme on peut utiliser le gaz après son épuration dans moteurs ou des turbines à gaz.(Antonini, juin2004)

2.4.1.2 Pyrolyse lente

Ce procédé traite les déchets à une plage de température de 400÷500°C, dans un temps de séjour important estimé à 60min, avec une vitesse de chauffe faible, il favorise la production de coke que du gaz, donc on obtient :

- Un gaz combustible (typiquement 570kg par tonne de déchets traités sur sec), composé d'un mélange complexe d'incondensables tels que : l'hydrogène, le monoxyde de carbone, le méthane,...etc. (380 kg par tonne) et d'hydrocarbures lourds ou goudrons (190 kg par tonne de déchets traités).
- Un solide appelé « coke » ou « charbon » (430 kg par tonne de déchets traités).

Si ce coke n'est pas trop chargé en éléments polluants, on le considère comme combustible secondaire, mais si l'inverse i.e. le coke est trop chargé, il est lavé / décentré pour pouvoir le gazéifier dans un dispositif séparé.(Antonini, juin2004)

2.4.2 Pyrolyse catalytique

C'est le contact direct du plastique avec un catalyseur, afin de produire un carburant liquide de meilleure qualité et qui peut être utilisé comme carburant de qualité supérieure dans les systèmes de moteur de transport. La pyrolyse se réalise dans un réacteur à deux étapes.

La pyrolyse catalytique apparait pour pallier les défauts de pyrolyse non catalytique.

Il existe de nombreux catalyseurs, les plus utilisables sont les zéolites et les aluminosilicates poreux, l'utilisation de ces catalyseurs permet de :

- Réduire la température et d'améliorer l'efficacité du système de traitement, lors du traitement thermochimique des déchets plastiques.
- Réduire les impuretés dans l'huile produite, si le catalyseur utilisé est à base de zéolite.(Breyer, 2016).

Ce traitement se fait dans réacteur à deux étapes comme montre schéma ci-dessous :

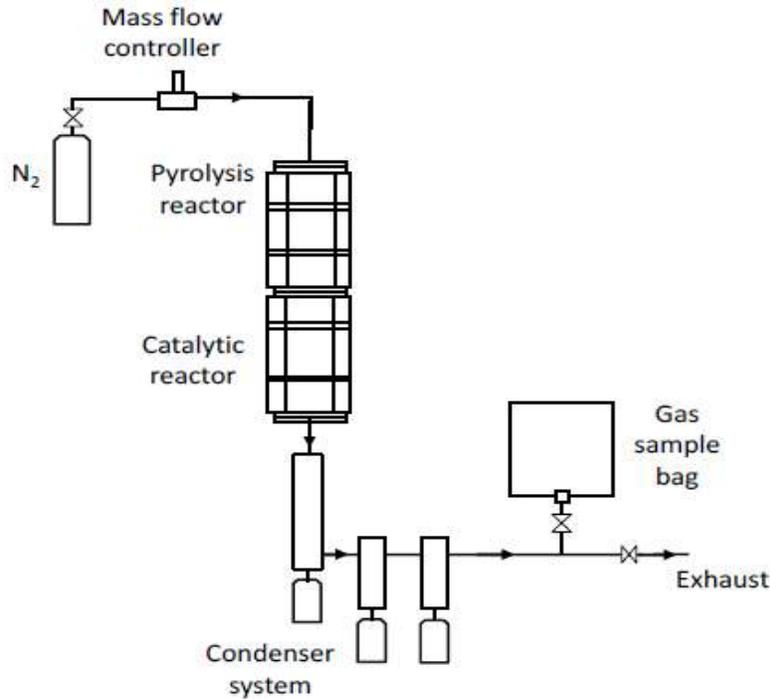


Fig. 2. 5 Schéma de principe du réacteur à lit fixe à pyrolyse-catalyse à deux étages (Breyer, 2016).

Des études faites montrent que la pyrolyse des plastiques donne en moyenne de 45 à 50% d'huile hydrocarbure, 35 à 40% du gaz et 10 à 20% du goudron mais ces statistiques dépendent de la technologie de pyrolyse utilisée. Par la pyrolyse catalytique le rendement est élevé (83,15% en poids d'huile hydrocarbure).

En outre, il y a plusieurs paramètres qui jouent un rôle majeur dans l'optimisation du rendement et de la composition du produit en pyrolyse, tels que : la vitesse de chauffe et la température finale de chauffe qui sont les plus importants, le type de réacteurs, la pression, le temps de séjour et la sélection du catalyseur.

Pour chaque type de plastique comme, PET, HDPE, LDPE, PP et PS, il y a une température de dégradation thermique correspondante, cette température débute à 350°C, sauf pour le PVC qui est de 220°C. Et parmi ces types, le PS était le meilleur type du plastique pour la pyrolyse, car il produisait la plus grande quantité d'huile liquide, il est très facilement dégradé sans aucun catalyseur pour accélérer la réaction et que 97% en poids d'huile ont été produites. Par contre le PVC n'était pas préféré dans la pyrolyse, car il produisait l'acide chlorhydrique nocif et donne un très faible rendement en huile liquide. (al S. D., 2018)

Des expériences ont été faites sur tous les types des plastiques en variant les paramètres critiques de la pyrolyse comme montre le tableau (2.1).

Tableau 2. 1 Résumé des études sur la pyrolyse des plastiques. (Sharuddin, 2016)

Type du plastique	Paramètres du processus						
	Température	Pression	Taux de chauffage	Durée	Huiles %poids	Gaz Poids%	Solide Poids%
PET	500	-	10	-	23.1	76.9	0
PET	500	1 atm	6	-	38.89	52.13	8.98
HDPE	350	-	20	30	80.88	17.24	1.88
HDPE	400	1 atm	7	-	82	16	2
HDPE	450	-	-	60	74.5	5.8	19.7
HDPE	450	1 atm	25	-	91.2	4.1	4.7
HDPE	500	-	-	60	85	10	5
HDPE	550	-	5	-	84.7	16.3	0
HDPE	650	-	-	20-25	68.5	31.5	0
PVC	500	-	10	-	12.3	87.7	0
PVC	520	2 KPa	10	-	12.79	0.34	28.13
LDPE	425	0.8-4.3MPa	10	60	89.5	10	0.5
LDPE	430	-	3	20	75.6	8.2	7.5
LDPE	500	1 atm	6	-	80.41	19.43	0.16
LDPE	500	-	10	-	95	5	0
LDPE	550	-	5	-	93.1	14.6	0
LDPE	600	1 atm	-	-	51.0	24.2	0
PP	300	-	20	-	69.82	28.84	1.34
PP	380	1 atm	3	-	80.1	6.6	13.3
PP	400	1 atm	7	-	85	13	2
PP	450	1 atm	25	-	92.3	4.1	3.6
PP	500	1 atm	6	-	82.12	17.76	0.12
PP	740	-	-	-	48.8	49.6	1.6
PS	400	1 atm	7	-	90	6	4
PS	425	0.31-1.6MPa	10	60	97	2.50	0.5
PS	500	-	-	150	96.73	3.27	0
PS	581	-	-	-	89.5	9.9	0.6

2.4.3 Produits de pyrolyse du plastique

Les produits issus de la pyrolyse des déchets plastiques sont divisés en fraction gazeuse non condensable, fraction liquide (constituée de paraffines, d'oléfines, de naphènes et de composés aromatiques) et en fraction solide.

De la fraction liquide peuvent être récupérés des hydrocarbures dans les domaines de l'essence (C₄ à C₁₂), du diesel (C₁₂ à C₂₃), du kérosène (C₁₀ à C₁₈) et de l'huile de moteur (C₂₃-C₄₀) à différents points d'ébullition. Par exemple la température de distillation du diesel est entre 170÷390°C et l'essence entre 20÷210°C. Les gaz peuvent être liquéfiés sous forme de carburants ou utilisés comme combustibles pour chauffer le réacteur de pyrolyse. (Almeida, 2015)

2.4.4 Pouvoir calorifique

La production de combustible liquide serait une meilleure alternative, car le pouvoir calorifique des plastiques est comparable à celui des combustibles, soit environ 40 MJ/kg.

Par exemple le pouvoir calorifique de quelque carburants comme :

- L'essence (super, super sans plomb) : 42700 kJ/kg.
- Gazole: 42600 kJ/kg.

Et le pouvoir calorifique de quelque matière plastique :

- PS : 31700 à 41200 kJ/kg.
- PE : 33900 à 46000 kJ/kg. (economie)

Il y a une similitude entre les produits pétroliers et les plastiques, la figure ci-dessous montre que la composition atomique de la plupart des plastiques est semblable à celle de l'essence et du diesel dérivés du pétrole brut.

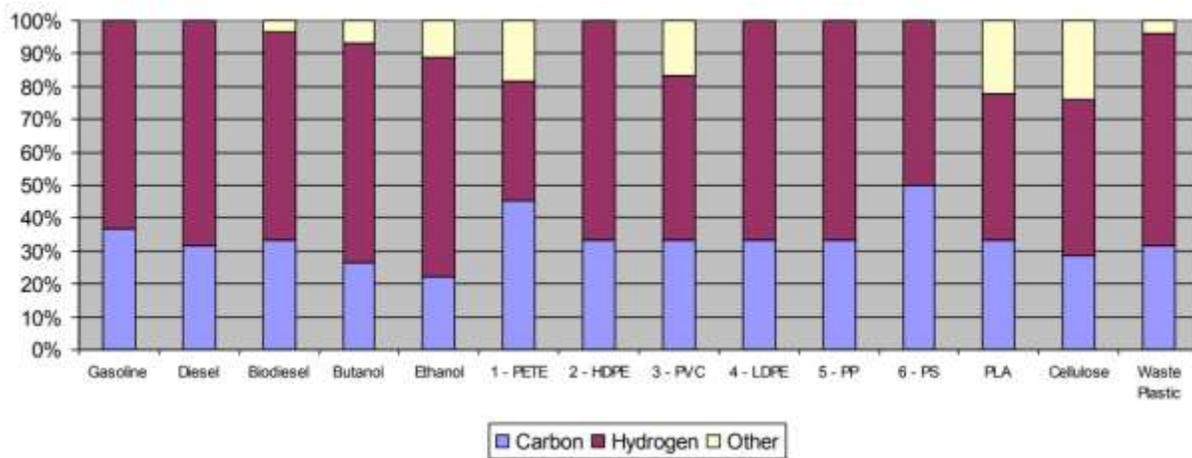


Fig. 2. 6 Composition atomique des carburants et des matériaux plastiques (PAWAR, 2016)

Cela confirme la possibilité d'avoir des carburants à partir des déchets plastiques.

2.4.5 Utilisation des produits de la pyrolyse des plastiques

Les produits générés de la pyrolyse des déchets plastiques, nous les utilise dans :

1. Une turbine à gaz.
2. Des générateurs d'air chaud.
3. Les chaudières, les turbines et les moteurs diesel sans nécessiter de mise à niveau ou de traitement. (Sharuddin, 2016)
4. Le liquide de la pyrolyse peut être utilisé carburant de transport. (Miandad, Barakat, Aburiazaiza, Rehan, & Nizami, 2016).

2.4.6 Applications industrielles

Il existe plusieurs entreprises qui exploitent des usines dans le monde pour produire des carburants à partir de déchets plastiques par recyclage chimique.

- Klean Industries a construit en 2000 au Japon une usine de pyrolyse de plastique entièrement commerciale, possède trois installations en activité au Japon, en Allemagne et au Canada.
- Agilyxa était fondée en 2004 et elle est entrain de procéder à la construction d'une installation de production de 10 tonnes par jour près de Portland, Oregon.(Kassargy, 2018).
- Qingdao Xingfu Boiler Thermopower Devices Co., Ltd, est spécialisée dans la fabrication d'installations de pyrolyse.
- Kaewprom. en 2010. Le premier projet d'énergie polymère de la Thaïlande et de l'Asie du Sud-Est. (Wong, Ngadi, Abdullah, & Inuwa, 2015).

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini la meilleure voie pour la valorisation des déchets plastiques qui est la pyrolyse. Généralement, trois principales fractions sont produites : un résidu solide (le coke), des gaz légers non condensables (H_2 , CO , CO_2 , H_2O et CH_4) et une fraction condensable (huiles et goudrons).

Le prochain chapitre, nous entamerons l'optimisation de la localisation des bacs de récolte des déchets plastiques au niveau de la zone d'étude « Boudjlida ».

Chapitre 03

Optimisation de la localisation des bacs de collecte des déchets - zone de Boudjlida

3.1 Introduction

Le tri sélectif des déchets est une étape importante dans l'organisation de la gestion des déchets. Il permet de préserver les ressources naturelles par suite de la création d'une économie circulaire. Aussi indirectement, il est possible de créer d'autres sources d'économie de l'énergie. Cependant, pour assurer l'application de cette étape il faut l'engagement de toutes les personnes impliquées à travers la sensibilisation et le respect des instaurations juridiques.

Dans ce chapitre, nous présentons les détails de notre contribution qui concerne la mise en valeurs de l'organisation du réseau de positionnement des poubelles dans la zone urbaine de Boudjlida dans la wilaya de Tlemcen en Algérie. Pour en savoir, cette zone est peuplée d'un nombre qui avoisine les 26000 habitants dispersés sur une surface de moins de 10 km². Et la question à répondre c'est comment techniquement et psychologiquement valider la concrétisation d'un réseau d'installation intelligent de la collecte des déchets en se basant sur l'internet des objets comme une suite à notre étude. Pour ce faire, notre principal objectif est à caractère logistique en premier lieu et qui s'agit de mettre en évidence une architecture optimale de la localisation des poubelles dans la zone de Boudjlida en se basant sur les outils de la recherche opérationnelles inspirés de l'approche stratégique de localisation-allocation. Ainsi un dimensionnement judicieux de la norme de la taille de poubelles sera déduit. En seconde position nous parlerons sur notre vision de l'action des habitants pour les maitres positivement dans la nouvelle configuration du réseau de la collecte des déchets urbains.

Cette partie pratique est présentée selon la suivante configuration. Dans la première étape, nous décrivons brièvement les logiciels utilisés à savoir le système d'information géographique QGIS (Quantum geographic information system) et le solver d'optimisation des classes de modèle de programmation en nombre entier LINGO (linear integer global optimization) et définir la zone d'étude Boudjlida.

Dans la 2^{ème} étape nous allons proposer 7 modèles mathématiques puis nous allons implémenter ces modèles dans le solver lingo afin de résoudre le problème de localisation des bacs dans la zone de Boudjlida. Les résultats obtenus sont interprétés et représentés sur le SIG QGIS et Google EARTH. De même la meilleure configuration du réseau parmi les sept scénarios sera choisie comme un prototype pour mettre le grand réseau avec la considération du tri sélectif. Ceci dit que la configuration de base sera dédiée juste au déchet organique dégradable et par la suite les autres types de déchets seront collectés par classe de bac mais installé dans le réseau de bac de ce déchet dominant.

Entre autres, certains déchets à faible quantité comme le textile et même d'autre à caractère dangereux pour l'environnement tels que les piles, les déchets électroniques l'approche de classification Promethee II est utilisée pour juger le meilleurs emplacement du seule bac dans la zone de Boudjlida.

Dans la 3^{ème} étape nous allons proposer des méthodes et des démarches de sensibilisation pour motiver et pousser les citoyens à appliquer le tri sélectif. Ces méthodes sont inspirées de la psychanalyse pour encourager les citoyens à participer dans la réussite de ce nouveau réseau configuré.

3.2 Logiciels utilisés

3.2.1 Système d'information géographique SIG

Dans la pratique des études géographiques, le SIG est défini selon :

- David Cowen (1988) comme un « système d'aide à la décision qui place des données géo référencées dans un contexte de résolution de problèmes » (D.J., 1988).
- Denègre et Salgé (1996) définissent un SIG comme «un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion » (F, 1996).

En pratique plusieurs logiciels SIG existent dont le QGIS c'est le seul en open source :

QGIS est un logiciel SIG libre (open source). Il a été conçu en juin 2002, Depuis 2007, il a été développé par Open Source Geospatial Foundation (**OSGeo**).

QGIS est distribué sous la licence **GNU GPL** (General Public License). Ceci permet aux utilisateurs de le partager et de le modifier librement (modifier le code source), tout en ayant la garantie d'avoir accès à un programme SIG non onéreux et librement modifiable.

QGIS est compatible avec tous les systèmes d'exploitation, Linux, les logiciels d'exploitation androïdes.

Il a subit plusieurs version pour une amélioration permanente de ses fonctionnalités, qui englobent notamment : la création de données, l'édition, la manipulation, l'analyse, le stockage et la représentation visuelle. (RAZAK, 2018).

3.2.2 Solver LINGO

LINGO est un outil simple permettant d'utiliser la puissance de l'optimisation linéaire et non linéaire afin de résoudre des problèmes d'optimisation de modèles de programmation mathématique en nombre entier. Cette optimisation peut aider les scientifiques et les décideurs à trouver la réponse qui donne le meilleur résultat de plusieurs objectifs économiques, temporels ou autres. Souvent, ces problèmes impliquent l'utilisation optimale de vos ressources, notamment de l'argent, du temps, des machines, du personnel, des stocks, etc. Principalement il est utilisé dans l'optimisation de problème mono-objectif sous contraintes.

3.3 Résolution du problème de localisation des bacs dans la zone urbaine de Boudjlida

Dans cette partie nous allons expliquer l'adaptation du problème de localisation-allocation sur notre cas d'étude d'optimisation des installations des poubelles dans la zone de Boudjlida. Afin de faciliter la collecte des déchets dans un environnement propre tout en assurant une meilleure visibilité pour les citoyens ainsi que les collecteurs, les modèles de base de P-median et FCFL (fixed charge facility location) se sont améliorés et ajustés par rapport à notre cas d'étude.

La modélisation basée sur la location-allocation est un ensemble de techniques fréquemment utilisées pour résoudre divers problèmes stratégiques d'emplacement. Son application consiste à localiser des installations en sélectionnant un ensemble de sites parmi un plus grand ensemble de sites candidats. Sa procédure de sélection dépend de l'optimalité en termes d'affectation de la demande ou couverture des sites sélectionnés.

Parmi, les modèles de localisation-allocation le plus courant est la p-médiane : les sites d'installation sont choisis parmi un ensemble de sites candidats afin de minimiser les déplacements globaux de chaque point de demande à l'installation la plus proche. Les sites de demande sont donc alliés au site d'installation le plus proche et le résultat d'une solution p-médiane est un ensemble de sites et de leurs zones de service associées. (Fotheringham, 1995).

Par la suite nous allons expliquer l'adaptation de notre cas d'installations des bacs dans la zone d'étude de Boudjlida.

3.3.1 Définition de la zone d'étude

La zone d'étude Boudjlida qui nomme actuellement ABED MIMOUNE BENALI est située à 1 km au nord de la commune de Tlemcen, elle est bordée à l'Ouest par le quartier d'El-Kodia et à l'est par le quartier d'Oujlida. Sa superficie est de 120 ha et est peuplée d'environ 26 000 habitants répartis sur 5200 logements projetés.

En plus, Boudjlida renferme davantage d'équipements projetés, certains possèdent une valeur régionale (conservatoire de music et théâtre – musée – centre des arts et métiers ...). Pour plus de visibilité la figure (3.1) illustre la zone étudiée.

Principalement les logements dans la zone de Boudjlida se classent en quatre catégories :

- R+5 c'est à dire 10 logements par bâtiment et 2 logements par étage.
- R+9 c'est 36 logements par bâtiments, 4 logements par étage.
- R+7 c'est 14 logements par bâtiment 3 logement par étage.
- Villa.



Fig. 3. 1 Carte de Boudjlida sur Google map

Nous avons choisi la zone Boudjlida comme zone d'étude car c'est un nouveau quartier et ne contient aucuns bacs.

3.3.2 Collecte des données

Sachant que cette étude reste la premier en Algérie, notre rapprochement auprès du service concerné de la commune de Tlemcen nous a donné le peu d'informations tels que :

- Chaque personne jette environ 0.45 kg des déchets sur la base de la moyenne de 5 personnes par famille revient à 2.25 kg de déchets par jour
- Aussi, il existe deux types de bac standard de 240 L et de 630 L ayant successivement les prix de 4000 DA et 6000 DA.

Pour trouver une solution et mettre en œuvre un modèle qui peut être corrigé une fois les informations sont plus correctes sur la quantité journalière de déchets ménagers jetée par nous avons inspiré les statistiques de l'agence ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise

de l'Energie) en Europe. Selon ADME, en France la quantité générée par habitant par an est de 360 kg dont les pourcentages des différents déchets ménagers jetés sont montrés dans la figure (3.2).

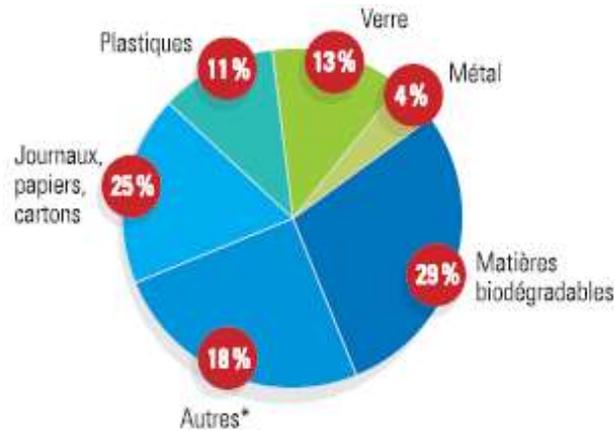


Fig. 3. 2 Pourcentages des déchets ménagers en France selon ADEME (ADEME)

En s'appuyant sur ces statistiques, nous avons fait le bilan suivant, relatif au rejet des déchets au niveau de la zone urbaine de Boudjlida par bâtiment (*Notons que nous avons assimilé que les bâtiments sont tous de la classe 1*) :

Déchets plastiques	: 39.6 kg/p/an	⇒	0.01 kg/p/jour	⇒	5 kg/bâtiment/jour
Déchets verre	: 46.8 kg/p/an	⇒	0.12 kg/p/jour	⇒	6 kg/bâtiment/jour
Déchets organiques	: 104.40 kg/p/an	⇒	0.28 kg/p/jour	⇒	14 kg/bâtiment/jour
Déchets de carton	: 90 kg/p/an	⇒	0.24 kg/p/jour	⇒	12 kg/bâtiment/jour
Déchets métaux	: 14.4 kg/p/an	⇒	0.039 kg/p/jour	⇒	0.195 kg/bâtiment/jour
Autre déchets	: 64.80 kg/p/an	⇒	0.17 kg/p/jour	⇒	8.5 kg/bâtiment/jour

Après cette approche de calcul approximatif de la quantité des déchets qui peut être générés par bâtiment, dans la partie suivante nous allons présenter la partie technique de la visualisation géographique de notre problème ainsi que les différentes approches d'optimisation d'installation des bacs.

3.3.3 Modèles proposés pour résoudre le problème de localisation des bacs dans la zone de Boudjlida

Pour la résolution de ce problème, et afin de réduire l'espace de recherche des sites candidats, nous avons fait un maillage de 50m dont chaque point de maillage est un site candidat de localisation

d'un point de jeté des déchets. D'après la figure (3.3) de configuration de réseau des sites candidats obtenu à l'aide du système d'information géographique QGIS obtenu à l'aide d'un maillage de 50 m, le nombre de sites de localisation revient à 620 points.

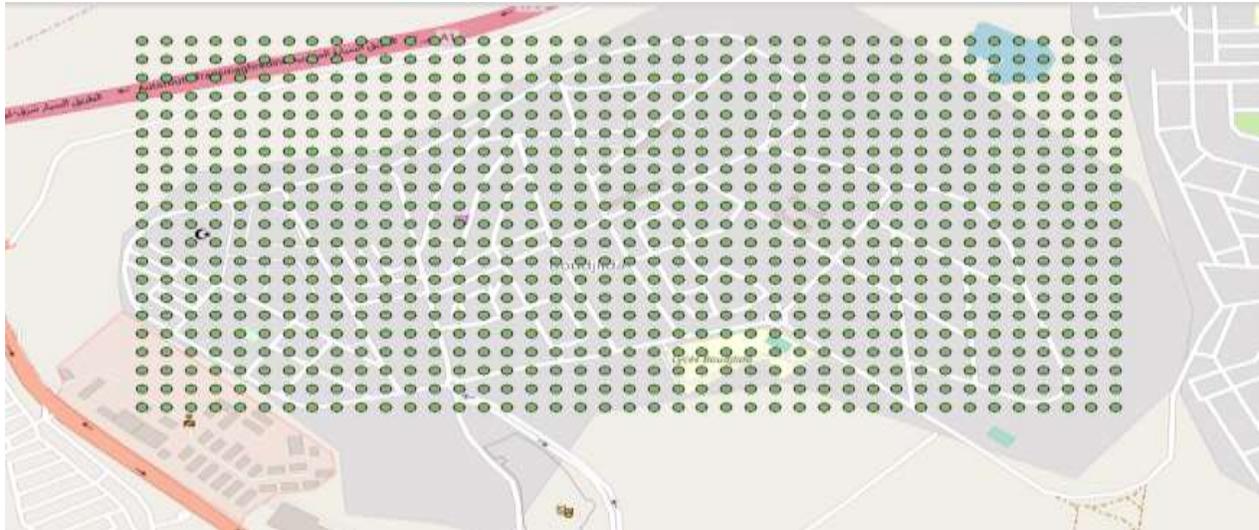


Fig. 3. 3 Maillage de 50m sur la zone Boudjlida sur QGIS

Afin d'aider les décideurs sur le choix de la localisation des bacs dans une zones urbaines, nous avons proposé sept configurations d'installations. Dans ce qui suit chaque configuration est détaillée individuellement avec la modélisation, la présentation des résultats et l'interprétation.

3.3.3.1 Présentation et analyse du modèle 1

Dans la configuration de ce modèle, nous assumons que la taille de bac sera définie qu'après l'optimisation. Ceci dit que notre objectif sera de répondre à la question suivante : qu'elle est le nombre de bacs à installer pour qu'un individu de chaque bâtiment ne déplace pas plus de 80 pour jeter ses ordures. Pour ce faire nous avons noté le cas de ce modèle par le cas de minimisation des bacs sans considération de la taille et le cout des bacs sous les contraintes de respecter des barrières de distance entre les bâtiments et les bacs.

La configuration du modèle relatif au problème de localisation-allocation c'est que nous avons 498 bâtiments (i) dont chaque bâtiment doit être affecté à un seul site d'emplacement de bac (j). L'optimisation de ce problème revient à trouver le nombre réduit de bac parmi 620 points candidats d'installation. Ainsi la modélisation du problème est la suivante ;

1) Les paramètres du problème

a) les indices

i : indice des bacs, $i \in I$.

j : indice des bâtiments, $j \in J$.

$I = \{1 \dots 620\}$.

$J = \{1 \dots 498\}$.

b) Les données

x_1, y_1 : Position géométrique de bac i .

x_2, y_2 : Position géométrique de bâtiment j .

Distance i, j : la distance entre les bacs et les bâtiments.

$$\text{Distance } i, j = \sqrt{(x_{1i} - x_{2j})^2 + (y_{1i} - y_{2j})^2} ;$$

c) Les variables de décision

$P : \{ 1, \text{ si le bac est localisé au site } j$
 $0, \text{ sinon} \}$

$A : \{ 1, \text{ si le bâtiment est affecté au bac } i \}$

d) La fonction objectif

Le but de ce modèle est la minimisation des nombres de bacs.

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^n P_i$$

e) Les contraintes

• $\text{distance}_{i,j} * A_{i,j} \leq P_i * 80 \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J$ (1)

• $A_{i,j} \leq P_i \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J$ (2)

• $\sum_{i=1}^n A_{i,j} = 1 \quad \forall j \in J$ (3)

• $A_{i,j} \in \{0,1\}. \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J$ (4)

• $P_i \in \{0,1\}. \quad \forall i \in I$ (5)

- Contrainte (1) : Contrainte de la distance maximale entre un bac i et le bâtiment j pour assurer la localisation

- Contrainte (2) : Affectation de j vers i aura lieu si le bac i est localisé.

- Contrainte (3): Chaque bâtiment j doit être affecté à un seul bac i

- Contrainte (4) et (5) : Définissent la nature des variables de décisions.

2) Résolution du modèle 1

Après l'implémentation du modèle 1 sur le Solver Lingo, nous avons constaté que le problème contient au total 308760 contraintes dont le temps d'exécution tient moins d'une minute avec un résultat de localisation de 39 points sur 620.

Pour plus de détail, les résultats obtenus sont représentés dans la figure (3.4) et le tableau (3.1).

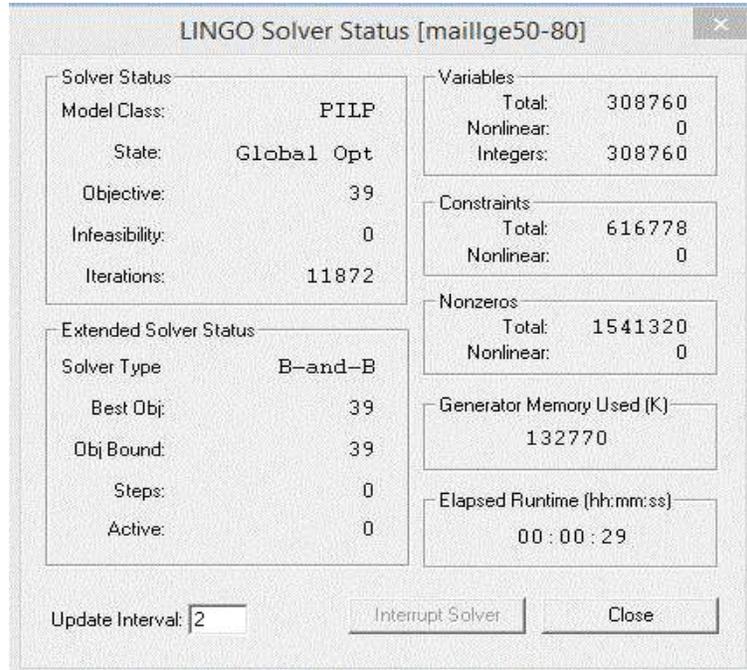


Fig. 3. 4 Solutions données par LINGO de 1ier modèle.

Tableau 3. 1 Résultats du 1ère modèle

P(50)	1.000000	P(376)	1.000000
P(52)	1.000000	P(379)	1.000000
P(78)	1.000000	P(405)	1.000000
P(107)	1.000000	P(412)	1.000000
P(143)	1.000000	P(415)	1.000000
P(172)	1.000000	P(420)	1.000000
P(201)	1.000000	P(421)	1.000000
P(258)	1.000000	P(424)	1.000000
P(263)	1.000000	P(429)	1.000000
P(265)	1.000000	P(457)	1.000000
P(269)	1.000000	P(470)	1.000000
P(283)	1.000000	P(473)	1.000000
P(297)	1.000000	P(478)	1.000000
P(299)	1.000000	P(489)	1.000000
P(302)	1.000000	P(491)	1.000000
P(319)	1.000000	P(531)	1.000000
P(344)	1.000000	P(554)	1.000000
P(352)	1.000000	P(566)	1.000000
P(357)	1.000000	P(587)	1.000000
P(366)	1.000000		

Pour mieux visualiser géographiquement l'emplacement des 39 bacs nous avons introduit leurs coordonnées (x,y) sur le SIG QGIS et GOOGLE EARTH. Ainsi les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.5) et (3.6).



Fig. 3. 5 Emplacement des bacs de 1ier modèle dans QGIS

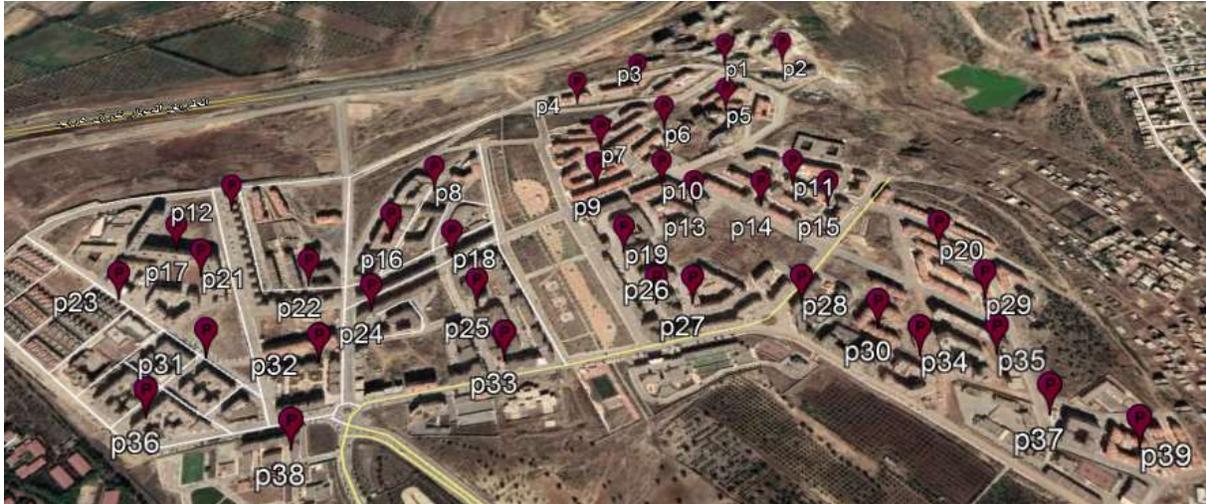


Fig. 3. 6 Emplacement des bacs de 1ier modèle dans Google Earth.

3.3.3.2 Présentation et analyse du modèle 2

En plus du premier modèle, dans cette deuxième approche, nous considérons la localisation unique des bacs de type de 240kg avec les contraintes de la distance de (80m) et la capacité de remplissage de 240kg de déchets tous types confondues. Il revient alors dans la fonction objectif à minimiser le cout globale d'installation des bacs tel que le prix unitaire de bac est 4000DA.

Ainsi nous avons noté le cas de ce modèle par : *cas de minimisation des bacs sous les contraintes de la distance(80m) et la quantité des déchets et le taux de remplissage des bacs avec la considération de la taille des bacs qui égale à 240 kg et le prix qui égale 4000 DA*

Les paramètres du modèle deux : elles ont les mêmes paramètres du premier modèle en plus de l'ajout de :

- Le Cout : c'est le cout de bac.
- La Quantité : la quantité du déchet organique jeté par chaque bâtiment par jour.
- La Taille : c'est taille du bac pour ce modèle est 240L.
- Le Taux : c'est le taux de remplissage des bacs.

a) La fonction objectif

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^n P_i * \text{cout}_i$$

b) Les contraintes : On a ajouté :

- $\sum_{j=1}^n \text{quantite}_{i,j} * A_{i,j} \leq P_i * \text{taille}_i \quad \forall i \in I \quad (7)$

- $\text{taux}_i = \sum_{j=1}^n \text{quntite}_j * A_{i,j} / \text{taille}_i \quad \forall i \in I \quad (8)$

- Contrainte (7) : Impose que la quantité des déchets organiques ne dépasse pas la taille du bac i .
- Contrainte (8) : Permet de calculer le taux i de remplissage du bac.

2) Résolution du modèle 2

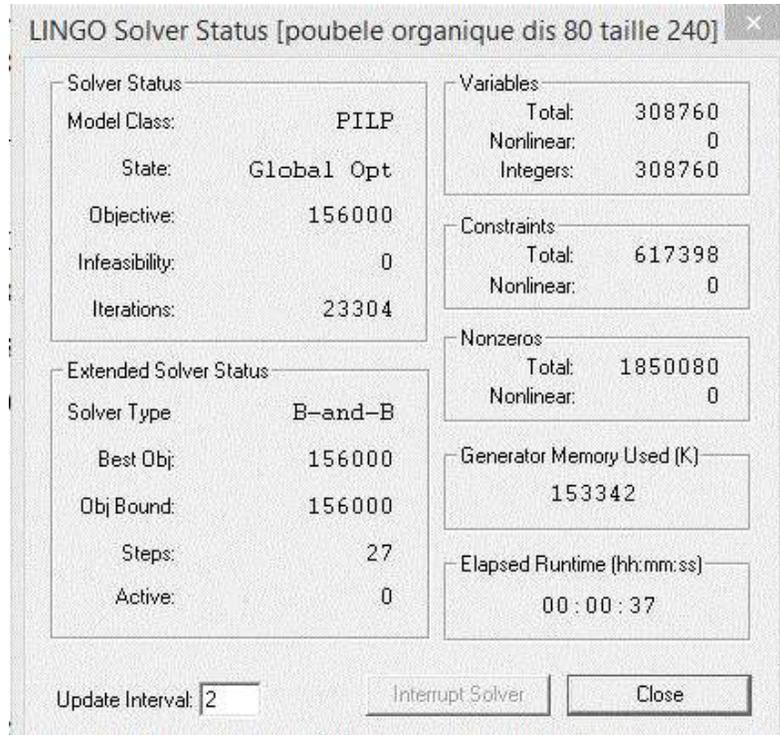


Fig. 3. 7 Résultats donnés par lingo du 2eme modèle.

Tableau 3. 2 Résultats du 2^{ème} modèle

Numéro du bac	Les bacs localisés	Taux de remplissage	Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage
p50	1.000000	0.2916667	p377	1.000000	0.9333333
p52	1.000000	0.2916667	p379	1.000000	0.7583333
p78	1.000000	0.5833333	p398	1.000000	0.9333333
p138	1.000000	0.8166667	p406	1.000000	0.9916667
p143	1.000000	0.8750000	p412	1.000000	0.8166667
p172	1.000000	0.9333333	p415	1.000000	0.7000000
p201	1.000000	0.8750000	p420	1.000000	0.5833333
p233	1.000000	0.9333333	p422	1.000000	0.9916667
p238	1.000000	0.2916667	p455	1.000000	0.4666667
p258	1.000000	0.9916667	p457	1.000000	0.9916667
p283	1.000000	0.7000000	p460	1.000000	0.9916667
p293	1.000000	0.5833333	p473	1.000000	0.7583333
p296	1.000000	0.9333333	p478	1.000000	0.7583333
p299	1.000000	0.9333333	p489	1.000000	0.7000000
p302	1.000000	0.8166667	p501	1.000000	0.9916667
p319	1.000000	0.9333333	p531	1.000000	0.5833333
p343	1.000000	0.4666667	p554	1.000000	0.1750000
p352	1.000000	0.8166667	p566	1.000000	0.4666667
p357	1.000000	0.9916667	p587	1.000000	0.8750000
p366	1.000000	0.4666667			

D'après les résultats du modèle 2, nous constatons que le nombre des bacs à localiser reste aussi 39 comme le premier modèle mais avec un changement des sites d'emplacement bien sûr. Quant au indicateur du taux de remplissage des bacs, il varié entre 0.1750000 et 0.9916667 mais cela

indique que : 4 bacs sont remplis à moins de 50%, trois bacs entre 58% et 70% et le reste dépassent les 70% de remplissage. Sachant que la distance maximale de déplacement d'individu sortant de bâtiment est de 80m, le coût global de bacs revient à 156000DA. Ainsi les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.8) et (3.9).



Fig. 3. 8 Emplacement des bacs du 2^{ème} modèle



Fig. 3. 9 Emplacements des bacs du 2^{ème} modèle dans Google Earth

3.3.3.3 Présentation et analyse du modèle 3

Cette troisième approche, nous considérons la localisation unique des bacs de type de 630 kg avec les contraintes de la distance de (80m) et la capacité de remplissage de 630 kg de déchets tous types confondus. Il revient alors dans la fonction objective à minimiser le cout globale d'installation des bacs tel que le prix unitaire de bac est 6000 DA.

Ce cas porte la définition cas de minimisation des bacs sous les contraintes de la distance(80m) et la quantité des déchets et le taux de remplissage des bacs avec la considération de la taille des bacs qui égale à 630 kg et le prix qui égale 6000 DA.

Pour les paramètres de ce modèle reste les mêmes paramètres comme le modèle précédent sauf la taille et le cout des bacs qui vont changer à 630kg et 6000DA.

1) Résolution du modèle 3

Après l'implémentation de ce modèle dans le solver LINGO, nous avons obtenu les résultats suivants :

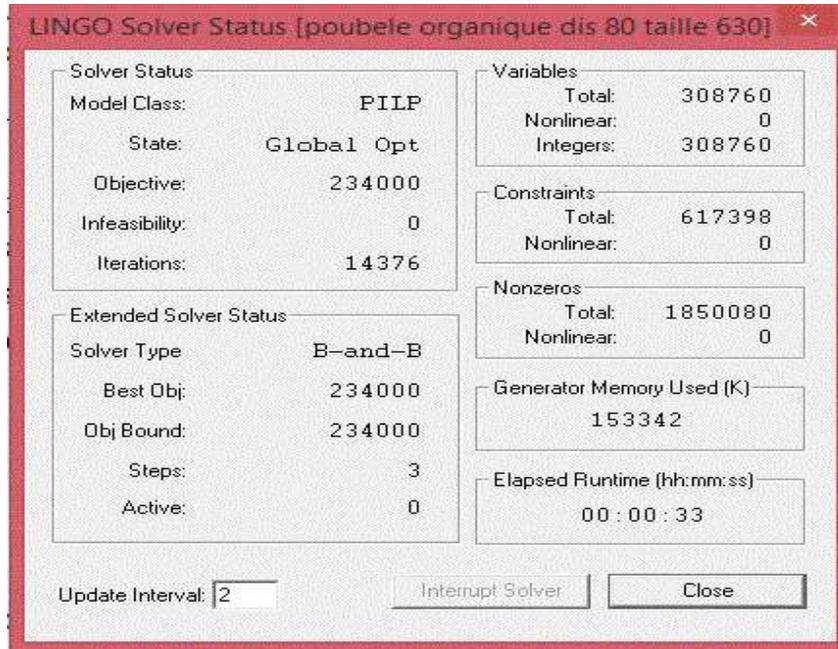


Fig. 3. 10 Résultats du solver lingo du 3^{ème} modèle

Tableau 3. 3 Résultats de 3^{ème} modèle

Numéro du bac	Les bacs localisés	Taux de remplissage	Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage
p50	1.000000	0.6666667E-	p376	1.000000	0.4444444
p52	1.000000	010.1111111	p378	1.000000	0.6666667E-01
p76	1.000000	0.6666667E-01	p398	1.000000	0.1777778
p110	1.000000	0.2444444	p412	1.000000	0.3333333
p139	1.000000	0.2888889	p415	1.000000	0.1555556
p144	1.000000	0.3111111	p420	1.000000	0.4888889
p200	1.000000	0.4222222	p422	1.000000	0.3555556
p203	1.000000	0.5333333	p424	1.000000	0.4222222
p238	1.000000	0.1111111	p437	1.000000	0.2888889
p258	1.000000	0.2222222	p457	1.000000	0.3111111
p263	1.000000	0.2888889	p460	1.000000	0.3333333
p283	1.000000	0.2666667	p473	1.000000	0.2222222
p296	1.000000	0.3555556	p478	1.000000	0.2444444
p299	1.000000	0.3555556	p489	1.000000	0.1777778
p302	1.000000	0.3111111	p501	1.000000	0.2666667
p319	1.000000	0.5111111	p531	1.000000	0.2888889
p343	1.000000	0.2222222	p554	1.000000	0.4000000
p352	1.000000	0.1555556	p566	1.000000	0.5777778
p357	1.000000	0.3111111	p587	1.000000	0.1555556
p366	1.000000	0.1777778			

D'après les résultats du modèle 2, on constate que le nombre des bacs à localiser reste aussi 39 comme les deux modèles précédents mais avec un changement des sites d'emplacement bien sûr. Quant au indicateur du taux de remplissage des bacs, il varié entre 0.1111111 et 0.6666667E-01 mais cela indique que : 33 bacs sont remplis à moins de 50%, six bacs entre 51% et 66% .Sachant

que la distance maximale de déplacement d'individu sortant de bâtiment est de 80m, le coût global de bacs revient à 234000DA. Ainsi les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.11) et (3.12).



Fig. 3. 11 Emplacements des bacs du troisième modèle dans QGIS



Fig. 3. 12 Emplacements des bacs du troisième modèle dans Google Earth.

Suite à une comparaison entre le modèle 2 et le modèle 3, nous constatons que le modèle de taille de bac de 240 kg est le plus favorable par rapport au données de la collecte des déchets organiques tous types confondus.

3.3.3.4 Présentation et analyse du modèle 4

Dans cette configuration nous allons refaire le modèle 2 avec la limite de la distance entre un individu sortant de son bâtiment et le point de localisation de bac qui ne dépasse pas 120 m.

C'est noté comme cas de minimisation des bacs sous les contraintes de la distance de (120m) et la quantité des déchets et le taux de remplissage des bacs avec la considération de la taille des bacs qui égale à 240 kg et le prix qui égale 4000 DA.

De même les paramètres qui subissent le changement sont la distance, la taille et le coût. Successivement, ils deviennent 120 m, 240 kg et 4000 DA.

1) Résolution modèle 4

Après l'implémentation de ce modèle dans le solveur LINGO, nous avons obtenu les résultats suivants figurant dans le tableau 04 et la figure III.13 :

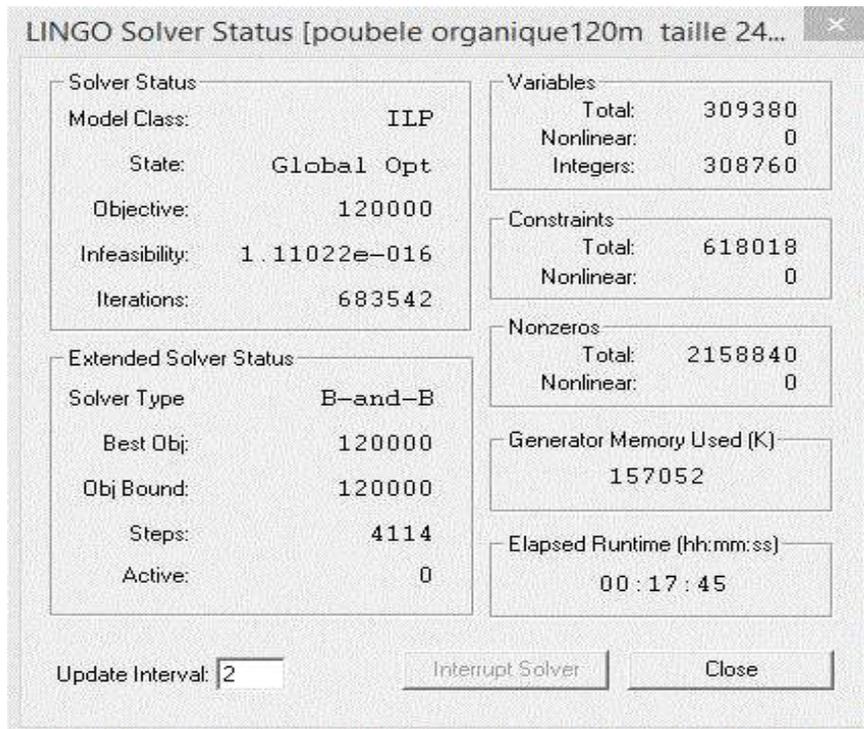


Fig. 3. 13 Résultats donnés par LINGO de 4^{ème} modèle

Tableau 3. 4 Résultats de 4^{ème} modèle

Numéro du bac	Les bacs localisés	Taux de remplissage	Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage
p51	1.000000	0.8750000	p350	1.000000	0.9916667
p139	1.000000	0.9916667	p351	1.000000	0.9916667
p142	1.000000	0.9916667	p367	1.000000	0.9916667
p171	1.000000	0.9916667	p436	1.000000	0.9916667
p202	1.000000	0.5833333	p442	1.000000	0.9916667
p232	1.000000	0.9916667	p446	1.000000	0.9916667
p233	1.000000	0.8166667	p449	1.000000	0.9916667
p259	1.000000	0.9916667	p453	1.000000	0.9916667
p271	1.000000	0.9916667	p455	1.000000	0.9916667
p300	1.000000	0.9916667	p459	1.000000	0.9916667
p314	1.000000	0.9916667	p489	1.000000	0.9916667
p326	1.000000	0.9916667	p490	1.000000	0.9916667
p327	1.000000	0.9916667	p532	1.000000	0.9916667
p345	1.000000	0.9916667	p534	1.000000	0.9916667
p349	1.000000	0.9916667	p618	1.000000	0.9333333

D’après les résultats du 4eme modèle, nous constatons que pour une distance de 120m le nombre de bacs à localiser de manière optimale se réduit à 30 bacs, avec les majorités des bacs sont remplis auteur de 99 %. Sachant que la distance maximale de déplacement d’individu sortant de bâtiment est de 120m avec une taille de bac 240kg, le coût global de bacs revient à 1200000DA. Ainsi les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.14) et (3.15).



Fig. 3. 14 Emplacements des bacs du 4^{ème} modèle dans QGIS



Fig. 3. 15 Emplacements des bacs du 4^{ème} modèle dans Google earth.

3.3.3.5 Présentation et analyse du modèle 5

Dans ce cas, nous allons changer la taille des bacs par les plus grande c'est-à-dire le volume de 630 litres et comparer le résultat avec le modèle 4. C'est noté comme cas de minimisation des bacs sous les contraintes de la distance(120m) et la quantité des déchets et le taux de remplissage des bacs avec la considération de la taille des bacs qui égale à 630 kg et le prix qui égale 6000 DA.

- 1) **Résolution modèle 5** : après l'implémentation de ce modèle dans le solveur Lingo nous avons obtenu les résultats suivants :

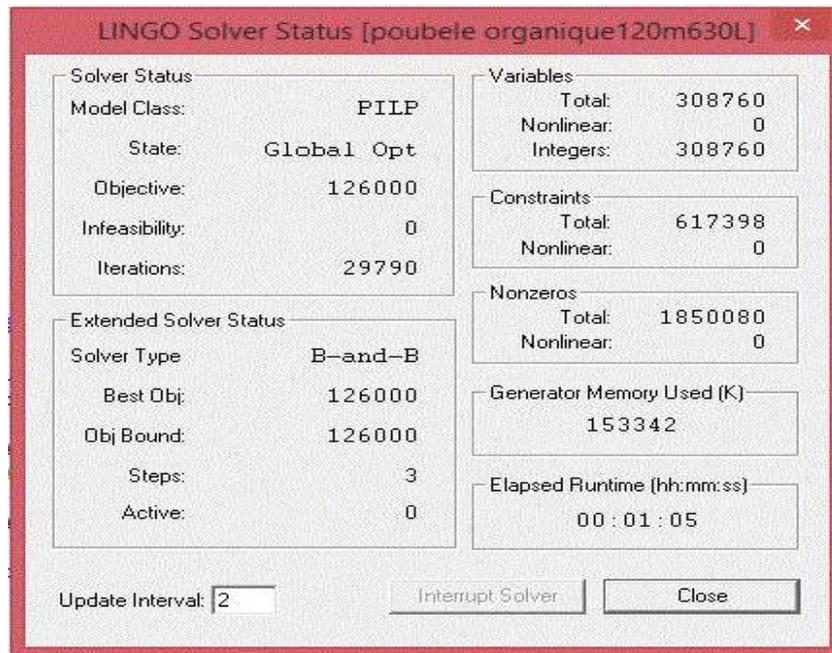


Fig. 3. 16 Résultat de solver LINGO du 5^{ème} modèle

Tableau 3. 5 Résultats de 5^{ème} modèle

Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage	Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage
p51	1.000000	0.1777778	p398	1.000000	0.5555556
p138	1.000000	0.6444444	p411	1.000000	0.7333333
p142	1.000000	0.9111111	p415	1.000000	0.4000000
p232	1.000000	0.5111111	p421	1.000000	0.7333333
p269	1.000000	0.6222222	p456	1.000000	0.3333333
p283	1.000000	0.2444444	p477	1.000000	0.5333333
p289	1.000000	0.7111111	p490	1.000000	0.8666667
p327	1.000000	0.7333333	p500	1.000000	0.4666667
p365	1.000000	0.1555556	p534	1.000000	0.5555556
p374	1.000000	0.4444444	p618	1.000000	0.3555556
p378	1.000000	0.3555556			

L'interprétation des résultats du m et une taille 630 kg. Comme avantage, nous constatons que le nombre des bacs localisés est bien réduit à 21 bacs par rapport aux résultats trouvés dans les modèles précédents et de même que le taux de remplissage des bacs n'atteint pas le maximum pour la plupart des bacs, il varié entre 17% et 91%. Les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.17) et (3.18).



Fig. 3. 17 Emplacements des bacs du 5^{ème} modèle dans QGIS



Fig. 3. 18 Emplacements des bacs du 5^{ème} modèle dans Google Earth.

3.3.3.6 Présentation et analyse du modèle 6

Cette partie concerne la modélisation et l'optimisation du problème de minimisation des coûts des installations des bacs pour des considérations mixtes de type de bac.

C'est le modèle de localisation sous les contraintes de la distance (80) et la quantité des déchets et le taux de remplissage des bacs avec la considération de deux taille différentes des bacs(240,630) et le prix de chaque type de bacs(4000,6000). Ainsi la modélisation du problème est comme suit :

1) Les paramètres du modèle

a) Les indices

- i : indice de site, $i \in I$.
- j : indice des bâtiments, $j \in J$.
- k : indice de taille de bac, $k \in K$.
- $I = \{1 \dots 620\}$.
- $J = \{1 \dots 498\}$.
- $K = \{1 \dots K\}$.

b) Les données

- x_1, y_1 : Position géométrique de site i .
- x_2, y_2 : Position géométrique de bâtiment j .
- $\text{Cout}(k)$: c'est le cout de chaque type de bac i .
- Quantité : la quantité du déchet organique jeté par chaque bâtiment j par jour.
- Taille : c'est taille du bac i pour ce modèle est 630L et 240 L.
- Taux : c'est le taux de remplissage du bac i .
- Distance i, j : la distance en les bacs i et les bâtiments j .

$$\text{Distance } i, j = \sqrt{(x_{1i} - x_{2j})^2 + (y_{1i} - y_{2j})^2}$$

c) Les variables de décision

- $P_i : \{ 1, \text{ site est localisé} \\ 0, \text{ sinon} \}$
- $A_{ij} : \{ 1, \text{ si le bâtiment } j \text{ est affecté au site } i \\ 0, \text{ inon} \}$
- $A_{ik} : \{ 1, \text{ si le type de bac est affecté au site } i \\ 0, \text{ inon} \}$

d) La fonction objective

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n A_{i,k} * \text{cout}_k$$

e) Les contraintes

- $Distance_{i,j} * A_{i,j} \leq P_i * 80 \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J$ (1)

- $\sum_{j=1}^n quantite_j * A_{i,j} \leq \sum_{k=1}^n A1_{i,k} * taille_k \quad \forall i \in I$ (2)

- $A_{i,j} \leq P_i \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J$ (3)

- $\sum_{i=1}^n A_{i,j} = 1 \quad \forall j \in J$ (4)

- $\sum_{k=1}^n A1_{i,k} = P_i \quad \forall i \in I$ (5)

- $taux_i = \sum_{j=1}^n quantite_j * A_{i,j} / \sum_{k=1}^n taille_k * A1_{i,k} \quad \forall i \in I$ (6)

- $A_{i,j} \in \{0,1\}. \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J$ (7)

- $A1_{i,k} \in \{0,1\}. \quad \forall i \in I \text{ et } \forall k \in K$ (8)

- $P_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I$ (9)

Tels que les conditions de la modélisation sont :

- Contrainte (1): permet de vérifier la distance maximale d'éloignement d'un bâtiment j à un bac i s'il localisé.
- Contrainte (2): permet la sélection de la taille k du bac à localiser dans le localise i
- Contrainte (3): permet de vérifier que l'affectation d'un bâtiment i à un bac j ne peut ce faire si ce dernier n'est pas localisé.
- Contrainte (4): vérifié l'unicité d'affectation d'un bâtiment j à un bac i
- Contrainte(5) : vérifie l'unicité de choisir un seul type de bac dans un site j
- Contrainte(6) : permet de calculer le taux de remplissage du chaque type de bac i si il est localisé.

Les contraintes (7) et (8) (9) : Définissent la nature binaire des variables de décisions

2) Résolution du modèle 6 :

Après l'implémentation de ce modèle dans le solver LINGO, les résultats sont groupés dans le tableau ainsi que schématisés dans les suivants :

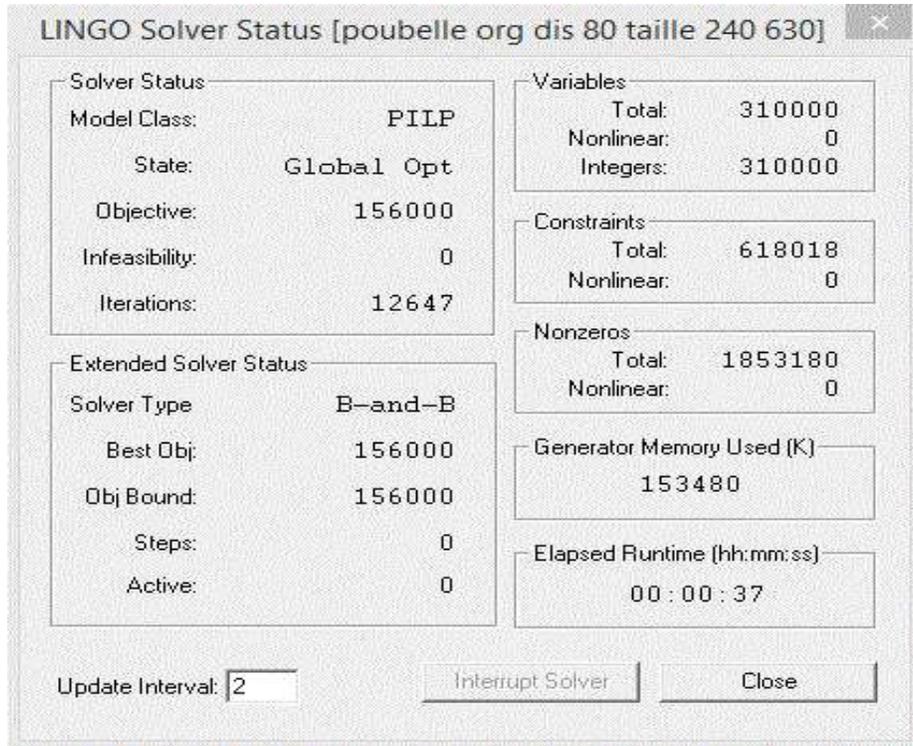


Fig. 3. 19 Résultats du solver lingo 6^{ème} modèle

Tableau 3. 6 Résultats de 6^{ème} modèle

Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage	Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage
p50	1.000000	0.4083333	p377	1.000000	0.9916667
p52	1.000000	0.1750000	p379	1.000000	0.7583333
p78	1.000000	0.5833333	p406	1.000000	0.8750000
p138	1.000000	0.7583333	p412	1.000000	0.8750000
p143	1.000000	0.8750000	p415	1.000000	0.7000000
p172	1.000000	0.9333333	p420	1.000000	0.7583333
p201	1.000000	0.9333333	p422	1.000000	0.9333333
p233	1.000000	0.8166668	p424	1.000000	0.3500000
p238	1.000000	0.4666667	p429	1.000000	0.9916667
p258	1.000000	0.9916666	p457	1.000000	0.9916666
p283	1.000000	0.6416667	p470	1.000000	0.7000000
p293	1.000000	0.7000000	p473	1.000000	0.7000000
p296	1.000000	0.9916667	p478	1.000000	0.7583334
p299	1.000000	0.8166667	p489	1.000000	0.9333333
p302	1.000000	0.7583333	p491	1.000000	0.2333334
p319	1.000000	0.9916667	p531	1.000000	0.9333333
p343	1.000000	0.4666667	p554	1.000000	0.2333333
p352	1.000000	0.7583334	p566	1.000000	0.4666667
p357	1.000000	0.9916667	p587	1.000000	0.7583333
p366	1.000000	0.9916667			

Tableau 3. 7 Affectation de la taille des bacs

A1(1, 1)	1.000000	A1(15, 1)	1.000000
A1(2, 1)	1.000000	A1(16, 1)	1.000000
A1(3, 1)	1.000000	A1(17, 1)	1.000000
A1(4, 1)	1.000000	A1(18, 1)	1.000000
A1(5, 1)	1.000000	A1(30, 1)	1.000000
A1(6, 1)	1.000000	A1(31, 1)	1.000000
A1(7, 1)	1.000000	A1(32, 1)	1.000000
A1(8, 1)	1.000000	A1(33, 1)	1.000000
A1(9, 1)	1.000000	A1(34, 1)	1.000000
A1(10, 1)	1.000000	A1(35, 1)	1.000000
A1(11, 1)	1.000000	A1(36, 1)	1.000000
A1(12, 1)	1.000000	A1(37, 1)	1.000000
A1(13, 1)	1.000000	A1(38, 1)	1.000000
A1(14, 1)	1.000000	A1(39, 1)	1.000000

A partir de ces résultats, nous pouvons dire que dans ce modèle pour une distance de 80m le nombre des bacs à localiser est de 39 bacs tels que tous sont de type (1) i.e. de taille 240 kg. Cependant, le type de bac de (630kg) n'est pas pris en considération car les bacs n'atteignent pas le seuil de débordement. Ainsi les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.20) et (3.21).



Fig. 3. 20 Emplacements des bacs du sixième modèle dans QGIS



Fig. 3. 21 Emplacements des bacs du sixième modèle dans Google Earth.

Suite à une comparaison entre le modèle 2 et le modèle 6, nous remarquons que le nombre des bacs à localiser pour les deux modèles est 39 avec les mêmes sites d'emplacement sauf six emplacements différents. Mais un changement de taux de remplissage pour quelques sites d'emplacement. C'est une confirmation à notre comparaison entre les modèles 2 et 3 i.e. pour une distance de 80 m constatons que le modèle de taille de bac de 240kg est le plus favorable

3.3.3.7 Présentation et analyse du modèle 7

Idem que le modèle précédent dont le changement n'est fait que juste pour la distance d'éloignement maximale entre un bâtiment et un bac qui de 120 m. C'est noté par cas de minimisation des bacs sous les contraintes de la distance (120) et la quantité des déchets et le taux de remplissage des bacs avec la considération de deux taille déférentes des bacs(240,630) et le prix de chaque type de bacs(4000,6000).

1) Résolution du modèle 7

Après l'exécution, nous avons trouvé les suivant résultats :

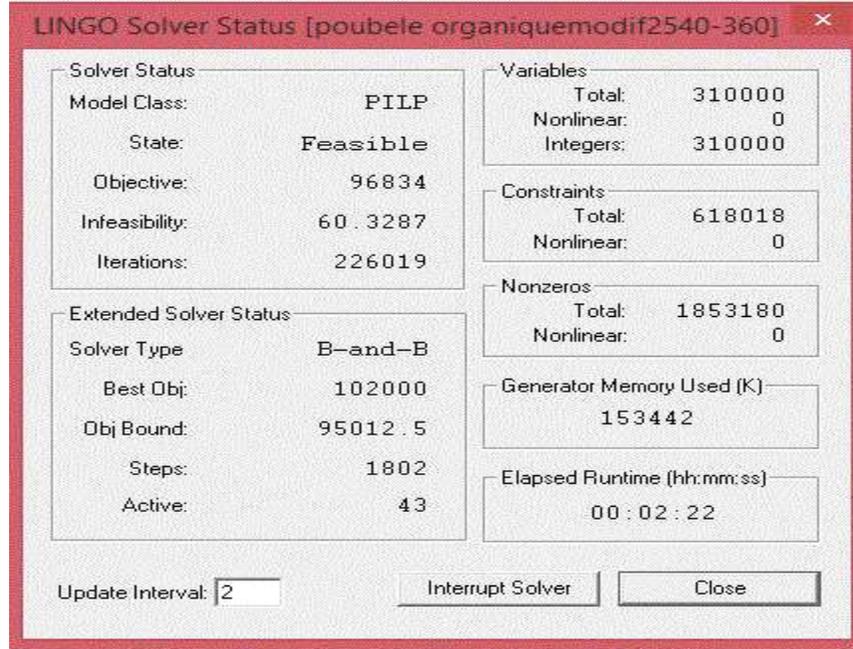


Fig. 3. 22 Résultats du solver lingo du 7^{ème} modèle

Tableau 3. 8 Résultats de 7^{ème} modèle.

Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage	Numéro du bac	Bacs localisés	Taux de remplissage
p51	1.000000	0.9916667	p414	1.000000	0.6444444
p138	1.000000	0.7555555	p421	1.000000	0.8749999
p142	1.000000	0.9333333	p424	1.000000	0.7000001
p232	1.000000	0.6888889	p428	1.000000	0.8444444
p269	1.000000	0.9916667	p469	1.000000	0.8750001
p290	1.000000	0.8750000	p472	1.000000	0.9916667
p304	1.000000	0.9916667	p477	1.000000	0.7000002
p314	1.000000	0.7111111	p520	1.000000	0.9333336
p327	1.000000	0.9555555	p564	1.000000	0.9333333
p349	1.000000	0.6666666	p618	1.000000	0.9333333
p375	1.000000	0.7333333		1.000000	
	1.000000				

Tableau 3. 9 Affectation de la taille des bacs

A1(1, 1)	1.000000	A1(12, 2)	1.000000
A1(2, 1)	1.000000	A1(13, 2)	1.000000
A1(3, 2)	1.000000	A1(14, 1)	1.000000
A1(4, 2)	1.000000	A1(15, 2)	1.000000
A1(5, 2)	1.000000	A1(16, 1)	1.000000
A1(6, 1)	1.000000	A1(17, 1)	1.000000
A1(7, 1)	1.000000	A1(18, 1)	1.000000
A1(8, 1)	1.000000	A1(19, 1)	1.000000
A1(9, 2)	1.000000	A1(20, 1)	1.000000
A1(10, 2)	1.000000	A1(21, 1)	1.000000
A1(11, 2)	1.000000		

Comme synthèse, nous pouvons dire que pour une distance de 120m le nombre des bacs localisés est égal à 21 où les deux types sont localisés dont 12 bacs sont de types 1 (240 kg) et 9 bacs sont de type 2(630 kg). Mais comme désavantage, nous devons signaler que le modèle n’a pas fini l’exécution pendant 3 jours et nous avons juste bien que le solver LINGO a trouvé la bande inférieure optimale. Ainsi les emplacements des bacs sont représentés dans les figures (3.23) et (3.24).



Fig. 3. 23 Emplacements des bacs du 7^{ème} modèle dans QGIS



Fig. 3. 24 Emplacements des bacs du 7^{ème} modèle dans Google Earth.

3.3.3.8 Interprétation Générale

En analysant, les résultats obtenus des sept modèles, notre choix est porté sur le modèle quatre pour localiser les bacs au niveau de la zone Boudjlida d'une manière optimal. En effet, suivant les indicateurs de mesure, le taux de remplissage des bacs est équilibré pour tous les bacs localisés. De même la dispersion des bacs est homogène sur la surface étudiée tels que nous avons trouvé que le nombre 17 bâtiments par bac reste presque identique pour la totalité des bacs localisés après l'optimisation de l'emplacement par ce modèle. Ainsi pour une distance de 120 m entre les bâtiments et les bacs et une taille de 240 kg à un prix de 4000DA, la configuration des bacs dans la zone Boudjlida sera présentée d'une manière définitive comme s'est montré dans la figure (3.25).

Après implémentation des bacs sur QGIS et GOOGLE EARTH du quatrième modèle nous avons obtenu quelque mauvais emplacement des bacs (soit sur bâtiment ou loin de la route).

A cause de ça nous avons ajusté l'emplacement des bacs à l'aide de GOOGLE EARTH, en respectant la distance entre les bacs et les bâtiments ; comme montre la figure ci-dessous. Pour information les épingles portant la notation PN c'est-à-dire nouveau point sont celle déplacées par quelques mètres (moins de 10 m) par rapport au point représentés dans la figure (3.15). Par conséquent tous présentés sur la figure sont localisée à côté de la voie de passage des véhicules destinés à la collecte des déchets.



Fig. 3. 25 Nouveaux emplacements des bacs

Notre visualisation par google earth afin d’obtenir une vision réelle et claire. Aussi dans le cas où le déplacement des points vers les voies de passage de véhicule n’est pas facile, l’utilisation de l’une des méthodes MCDM est indispensable, avec les critères suivants :

- La visibilité du bac, le stationnement du camion, extension, esthétique.

3.3.3.9 Configuration du réseau à tri sélectif

Pour finaliser la structure global du réseau dédié à la collecte suivant le tri sélectif, les décisions du modèle quatre sont utilisées pour l’emplacement des autres bacs spécifiques aux autres types des déchets (plastique, verre, métaux, carton et autres déchets).

Pour cela, nous nous sommes intéressées à choisir la taille du bac le plus convenable pour chaque type de déchet tels que :

- Pour une taille de 240 L du bac, le taux de remplissage trouvé pour la collecte des déchets organiques est égale à 0.9916667 ce qui est équivalent à 238 kg. Afin d’éviter l’apparition de phénomène de débordement des bacs, nous avons proposé de changer la taille du bac au 630 L au lieu 240L en gardant l’emplacement de modèle 4. Ceci dit que le phénomène de débordement pendant les jours chargés en mois de Ramadhan est éliminé.
- Aussi en raison que pour la totalité des bacs installés dans le modèle quatre, servent 17 bâtiments alors nous avons aussi déduit les résultats suivants en se basant sur les statistiques publiées par ADME.
 1. Les déchets plastiques sont une quantité moyenne égale à 5 kg/bâtiment/jour, la somme totale pour 17 bâtiments est 85 kg ($283.3m^3$).

2. Le verre est une quantité moyenne égale à 6 kg/bâtiment/jour, la somme totale pour 17 bâtiments est 102 kg.
3. Le carton et papier sont à une quantité moyenne égale à 12 kg/bâtiment/jour, la somme totale pour 17 bâtiments est 204 kg (680m³).
4. Les métaux sont à une quantité moyenne égale à 0.195kg/bâtiment/jour, la somme totale pour 17 bâtiments est 3.315 kg.
5. Les autres déchets sont à une quantité moyenne égale à 8.5 kg/bâtiment/jour, la somme totale pour 17 bâtiments est 144.5 kg.

Les tailles des bacs par rapport les quantités maximales calculés au-dessus et par rapport aux tailles disponible sur le marché sont :

- Pour déchets plastiques : 240 L
- Verre : 240 L
- Carton et papier : 240L
- Les Métaux : 240 L

Par ailleurs à l'échelle mondiale, il existe plusieurs tailles des bacs qui varient entre 120 L à 1000 L(RAJA , s.d.), ce qui donne une variété de choix. Par rapport aux quantités maximales des déchets que nous avons déduits pour chaque type, les tailles des bacs par rapport à chaque type des déchets des bacs sont alors :

- Les déchets organiques : 360 L
- déchets plastiques : 240L
- Verre : 120L
- Carton et papier : 240L
- Les Métaux : 120 L

3.3.4 Localisation des bacs des autres déchets

Pour pallier à la collecte de la plus part des déchets ménagers quotidiens issus des zones urbaines, nous avons proposé en premier lieu la structure de la localisation des bacs pour couvrir la collecte de cinq types des déchets (plastique, organique, carton, verre et métaux). Entre autre, nous avons proposé une approche MCDM pour localiser le sixième type de bac restreint aux déchets occasionnels et qui présente des risques sur les citoyens. Comme gestion de prévention nous allons proposer à localiser un seul bac des autres déchets au niveau de la zone Boudjlida, en choisissant un site candidats d'emplacement parmi deux sites candidats. Pour plus de détail, soit le première site candidat du coordonnées géographiques (34.918508269, -1.34871606937) qui situe à l'entrée de la zone Boudjlida et le deuxième site candidat du coordonnées géographiques (34.9219500571, -1.34629398046) qui est au milieu de la zone (voir figure 3.26). Pour se faire nous avons utilisé la méthode qui aide à la décision multicritères promethee II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations).



Fig. 3. 26 Sites candidats pour localiser les autres déchets

3.3.4.1 Définition MCDM

Les MCDM (**M**ultiple-**c**riteria **d**ecision-**m**aking) ou MCDA (**m**ultiple-**c**riteria **d**ecision **a**nalysis) a été l'un des domaines de la recherche opérationnelle (OR). Le MCDM traite souvent avec le classement de nombreuses alternatives concrètes des meilleurs aux pires ou la sélection des meilleures alternatives basé sur plusieurs critères contradictoires. Le MCDM est également préoccupé par la théorie et la méthodologie qui peut traiter problèmes complexes rencontrés dans la gestion, les affaires, l'ingénierie, la science et d'autres domaines de l'activité humaine. Il existe deux familles de méthodes pour traiter les Problème MCDM. L'un est basé sur l'utilitaire multicritère une fonction. L'autre est les méthodes de sur-classement. ELECTRE (Élimination et choix traduisant en la réalité) et PROMETHEE sont les représentants du sur-classement méthodes. (Sun zhaoxu, 2010)

3.3.4.2 Pourquoi PROMETHEE

De nombreuses méthodes d'aide multicritères de décision ont été proposées. Toutes ces méthodes partent du même tableau d'évaluation, mais elles varient en fonction des informations supplémentaires demandées. Les méthodes PROMETHEE nécessitent des informations très claires, faciles à obtenir et à comprendre par les décideurs et les analystes.

La méthode PROMETHEE présente des avantages importants par rapport aux autres approches MCDM, par ex. théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) et AHP. La méthode PROMETHEE permet de classer les solutions de rechange difficiles à comparer en raison d'une relation de compromis entre les normes d'évaluation et les solutions de rechange non comparables. Il est assez différent de AHP en ce qu'il n'est pas nécessaire de refaire une comparaison par paire lorsque des alternatives comparatives sont ajoutées ou supprimées. (V. M., 2010)

3.3.4.3 Définition de la méthode PROMETHEE

La méthode PROMETHEE est une approche décisionnelle interactive multicritères conçue pour traiter des critères quantitatifs et qualitatifs avec des alternatives discrètes. Dans cette méthode, une comparaison par paire des alternatives est effectuée pour calculer une fonction de préférence pour chaque critère. Sur la base de cette fonction de préférence, un indice de préférence pour la variante a par rapport à i est déterminé. Cet indice de préférence est la mesure qui corrobore l'hypothèse voulant que la variante i soit préférée à b. (V. M., 2010)

La méthode PROMETHEE (**P**reference **R**anking **O**rganisation **M**éthodes for **E**nrichement **E**valuation) est proposée en 1982 par **Jean Pierre Brans**, c'est un type de méthode basée sur la relation de sur-classement entre des paires d'alternatives. La méthode de sur-classement compare d'abord des paires d'alternatives sur chaque critère. La méthode PROMETHEE induit la fonction préférentielle à décrire la différence de préférence entre les paires d'alternatives sur chaque critère. Ainsi, les fonctions de préférence concernant la différence numérique entre des paires d'alternatives sont conçues pour décrire la déférence des préférences du point de vue du décideur. La valeur de ces fonctions va de 0 à 1. Plus la valeur de la fonction est grande, plus la différence entre les préférences est grande. Lorsque la valeur est zéro, il n'y a pas de différence préférentielle entre paire d'alternative. Au contraire, lorsque la valeur est un, un des alternatives est strictement supérieure à l'autre. (Sun zhaoxu, 2010)

La méthode PROMETHEE II est composée de six étapes détaillées ci-après :

Étape 1 : Normaliser la matrice de décision ($x_{i,j}$) en utilisant l'équation suivante :

$$R_{i,j} = [x_{i,j} - \min (x_{i,j})] / [\max (x_{i,j}) - \min (x_{i,j})] \dots\dots\dots (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m$$

Où X_{ij} est la mesure de performance de la variante en ce qui concerne le critère.

Pour les critères non bénéfiques, équation (1) peut être réécrit comme suit :

$$R_{i,j} = [\max (x_{i,j}) - x_{i,j}] / [\max (x_{i,j}) - \min (x_{i,j})] \dots\dots\dots (2)$$

Étape 2 : Cette étape calcule pour chaque paire de décisions possibles et pour chaque critère la valeur du degré de préférence. Soit $g_j(a)$ la valeur d'un critère j pour une décision a. On note $d_j (a, b)$, la différence de valeur d'un critère j pour deux décisions a et b.

$$d_j (a, b) = g_j (a) - g_j (b) \dots\dots\dots (3)$$

$P_j (a, b)$ est la valeur du degré de préférence d'un critère j pour deux décisions a et b. Les fonctions de préférence utilisées pour calculer ces degrés de préférence sont définies telles que :

$$P_j(a, b) = 0 \text{ si } Ra_j \leq Rb_j \dots\dots\dots (4)$$

$$P_j(a, b) = (Ra_j - Rb_j) \text{ si } Ra_j > Rb_j \dots\dots\dots (5)$$

Étape 3 : Cette étape consiste à agréger les degrés de préférence de tous les critères pour chaque paire de décisions possibles. Pour chaque paire de décisions possibles, nous calculons un indice de préférence global. Soit C l'ensemble des critères considérés et w_j le poids associé au critère j. L'indice de préférence global pour une paire de décisions possibles a et b est calculé comme suit :

$$\Pi (a, b) = [\sum_{j=1}^m w_j * P_j(a, b) / \sum_{j=1}^m w_j] \dots\dots\dots (6)$$

Étape 4 : La troisième étape, qui est la première qui concerne le classement des décisions possibles, consiste à calculer les flux en surnombre. Pour chaque décision possible a, nous calculons le flux de sur-classement positif $\phi + (a)$ et le flux de sur-classement négatif $\phi - (a)$. Soit A l'ensemble des décisions possibles et n le nombre de décisions possibles. Le flux positif d'une décision possible est calculé à l'aide des formules suivantes :

$$\phi + (a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b=1}^n \Pi (a, b) \quad (a \neq b) \dots\dots\dots (7)$$

Le flux négatif indirect d'une décision possible a est calculé à l'aide des formules suivantes :

$$\phi - (a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b=1}^n \Pi (b, a) \quad (a \neq b) \dots\dots\dots (8)$$

Étape 5 : La dernière étape consiste à utiliser les flux de sur-classement pour établir un classement complet entre les décisions possibles. Le classement est basé sur les flux de sur-classement nets. Celles-ci sont calculées pour chaque décision possible à partir des flux de sur-classement positifs et négatifs. Le flux net de sur-classement (a) d'une éventuelle décision est calculé comme suit :

$$(a) = \phi + (a) - \phi - (a) \dots\dots\dots (9)$$

Plus la valeur du flux net de sur-classement pour une décision est élevée, meilleure est la décision. (Patrick Taillandier, 2011)

Étape 6 : Déterminez le classement de toutes les solutions envisagées en fonction des valeurs de (a). Ainsi, la meilleure alternative est celle ayant la plus haute (a) valeur. (V. M., 2010).

Pour démontrer l'applicabilité et l'efficacité de la méthode PROMETHEE II en tant qu'outil de MCDM nous allons utiliser pour sélectionner le meilleur emplacement d'installation pour un bac des autres déchets.

3.3.4.4 Application de la méthode

Echelle verbale	Echelle numérique
Un élément est plus important que l'autre	5
Un élément est un peu plus important que l'autre	3
Importance égale des deux éléments	1

Les critères : Nous avons choisi 4 critères afin de pouvoir évaluer l’emplacement du bac des autres déchets.

1. **La visibilité :** la visibilité du bac des autres déchets devrait être une priorité dans la prise de décision. Puisque nous voulons localiser un seules bac au niveau de la zone Boudjlida, la visibilité du bac est très importante pour que les citoyens puissent voir le bac clairement afin de jeter leurs déchets au bac convenable.
2. **Le stationnement :** Les camions de collecte sont garées à proximité bac pour collecter les déchets et les gens pour jeter leur déchets. Ce critère assurant la facilitation de la circulation des véhicules de collecte sans gêner les pistes cyclables. Assurer aussi que l’endroit de stationnement ne constitue en aucun cas une entrave à la collecte ou un risque pour le personnel de collecte.
3. **L’éloignement du bac au regroupement urbain :** Prévenir les dangers des déchets de ce bac.
4. **Extension :** ce critère est moins important que les autres critères, vu qu’un seul bac doit être localisé et plus tard la zone de Boudjlida pourra avoir une croissance démographique ce que génère une augmentation des déchets au de la ce critère assure que nous avons la possibilité d’agrandir la taille du bac afin d’éviter le problème de débordement du bac.

Tableau 3. 10 Matrice originale

Poids (Wj) →		0,35	0,25	0,25	0,15
		Critères			
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension
Point1	34.918508269, -1.34871606937	5	3	5	5
Point2	34.9219500571, -1.34629398046	3	5	3	3

1^{ère} étape :

Normaliser la matrice d’évaluation (la matrice de la décision).

Dans cette étape nous construisons la matrice d’évaluation afin de normaliser la matrice en utilisant les relations ci-dessous :

$$R_{i,j} = \frac{x_{i,j} - \min(x_{i,j})}{\max(x_{i,j}) - \min(x_{i,j})} , \quad \text{Pour les critères bénéfiques.}$$

$$R_{i,j} = \frac{\max(x_{i,j}) - (x_{i,j})}{\max(x_{i,j}) - \min(x_{i,j})} , \quad \text{Pour les critères non bénéfiques.}$$

Au premier lieu nous devons identifier les critères bénéfiques et les critères non bénéfiques.

- Les critères bénéfiques : la visibilité, stationnement et l'éloignement.
- Les critères non bénéfiques : extension.

Tableau 3. 11 Calcul de la normalisation de matrice d'évaluation

Poids (Wj) →		0,35	0,25	0,25	0,15
		Critères			
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension
Point1	34.918508269, -1.34871606937	(5-3)/2	(3-3)/2	(5-3)/2	(5-5)/2
Point2	34.9219500571, -1.34629398046	(3-3)/2	(5-3)/2	(3-3)/2	(5-3)/2

Tableau 3. 12 Résultat de calcul de la normalisation de matrice d'évaluation

Poids (Wj) →		0,35	0,25	0,25	0,15
		Critères			
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension
Point1	34.918508269, -1.34871606937	1	0	1	0
Point2	34.9219500571, -1.34629398046	0	1	0	1

2^{ème} étape :

Calcul des différences d'évaluation de l'ième alternative par rapport à d'autres alternatives.

Tableau 3. 13 Différence d'évaluation

Poids (Wj) →		0,35	0,25	0,25	0,15
		Critères			
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension
D(M1-M2)	34.918508269, -1.34871606937	1-0	0-1	1-0	0-1
D(M2-M1)	34.9219500571, -1.34629398046	0-1	1-0	0-1	1-0

Tableau 3. 14 Résultat la différence d'évaluation

Poids (Wj) →		0,35	0,25	0,25	0,15
		Critères			
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension
D(M1-M2)	34.918508269, -1.34871606937	1	-1	1	-1
D(M2-M1)	34.9219500571, -1.34629398046	-1	1	-1	1

3^{ème} Etape :

Calcul de la fonction de préférence : Mesurer l'intensité de préférence $P_j(a, b)$ de l'une par rapport à l'autre sur chaque critère au moyen d'une fonction $D(M)$ ou M représente la différence des évaluations $M(a)-M(b)$ sur le critère.

$$P_j(a, b) = 0 \text{ si } R_{aj} \leq R_{bj} \text{ i.e. } D(Ma-Mb) \leq 0.$$

$$P_j(a, b) = R_{aj} - R_{bj} \text{ si } R_{aj} \geq R_{bj} \text{ i.e. } D(Ma-Mb) \geq 1$$

Tableau 3. 15 Calcul de la fonction de préférence

Poids(W_j) →		0,35	0,25	0,25	0,15
		Critères			
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension
P(M1,M2)	34.918508269, -1.34871606937	1	0	1	0
P(M2,M1)	34.9219500571, -1.34629398046	0	1	0	1

4^{ème} Etape :

Calcul de la préférence agrégée :

Cette étape consiste à calcul de l'indicateur de préférence $\pi(a, b) = \sum_{j=1}^m W_j * P_j(a, b) / \sum_{j=1}^m W_j$.

- 4-1 : Calcul de $\sum_{j=1}^m W_j * P_j(a, b)$:

Tableau 3. 16 Calcul de $\sum_{j=1}^m W_j * P_j(a, b)$

Poids (W_j) →		0,35	0,25	0,25	0,15	
		Critères				$\sum_{j=1}^m W_j * P_j(a, b)$
Point	Coordonnés	Visibilité	Stationnement	Eloignement	Eextension	
WJ*P(M1,M2)	34.918508269, -1.34871606937	0,35	0	0,25	0	0.6
WJ*P(M2,M1)	34.9219500571, -1.34629398046	0	0,25	0	0,15	0.4

- 4-2 : Calcul de $\sum_{j=1}^m W_j * P_j(a, b) / \sum_{j=1}^m W_j$.

Nous avons $\sum_{j=1}^m W_j = 1$

Tableau 3. 17 Calcul de la fonction de la préférence agrégée

	$\sum_{j=1}^m W_j * P_j(a, b) / \sum_{j=1}^m W_j$
WJ*P(M1,M2)	0.6
WJ*P(M2,M1)	0.4

- 4-3 : Comparaison entre chaque alternative selon l'indicateur de la préférence agrégée :

L'étape 4-3 est une comparaison entre chaque alternative selon l'indicateur de la préférence agrégée.

Tableau 3. 18 Comparaison entre chaque alternative selon l'indicateur de la préférence agrégée

	Point1	Point2
Point1	-	0,6
Point2	0,4	-

5^{ème} Etape :

Déterminer les flux sortants et entrants.

Le flux sortant (positif) $\omega+$ pour a ème alternative :

$$\omega+ = \frac{1}{m-1} * \sum_{b=1}^m \pi(a, b) , \quad a \neq b$$

Le flux entrant (négatif) $\omega-$ pour a ème alternative :

$$\omega- = \frac{1}{m-1} * \sum_{b=1}^m \pi(b, a) , \quad a \neq b$$

Tableau 3. 19 Calcul du flux sortant et flux entrant

	Point 1	Point 2	$\omega+$
Point 1	-	0,6	0,6
Point 2	0,4	-	0,4
$\omega-$	0,4	0,6	

Tableau 3. 20 Normalisation du flux sortant et entrants correspond au chaque critère.

	$\omega+$	$\omega-$
Point1	0,6	0,4
Point2	0,4	0,6

Etape 6 :

Calculer la valeur du flux net de surclassèrent pour chaque alternative.

$$\omega(a) = \omega+(a) - \omega-(a).$$

- ◆ ω (point 1) = 0.6 – 0.4 = 0.2.
- ◆ ω (point 2) = 0.4 – 0.6 = –0.2.

Tableau 3. 21 Valeur du flux net de surclassèrent pour chaque alternative

	$\omega+$	$\omega-$	rang
Point 1	0,6	0,4	1
Point 2	0,4	0,6	2

Interprétation du résultat :

A travers les résultats que nous avons obtenu dans l'étape six le flux du point 1 est 0.2 et le flux du point 2 est -0.2 i.e. ω (point 1) > ω (point 2) implique la préférence du point 01 sur point 2.

Pour synthétiser, nous allons proposer de localiser le bac des autres déchets au premier site candidat des coordonnées géographiques (34.918508269, -1.34871606937). Avec une taille de 1000 L mais ce conteneur est décomposé en trois classes.

3.4 Sensibilisation sur le tri sélectif des déchets

Après avoir fait l'étude logistique de la localisation des bacs, nous devons par la suite passer à la sensibilisation de tous les acteurs de la chaîne et notamment les citoyens qui jettent fréquemment leurs déchets. Pour ce faire un nouveau dimensionnement de la taille des bacs supplémentaire relatifs à chaque classe de déchets a été bien analysé dans la partie de tri sélectif par rapport à la référence d'obligation de localiser un bac propre aux déchets ménagers.

3.4.1 Pourquoi le tri sélectif

- pour recycler et valoriser des déchets afin d'économiser les ressources naturelles.
- pour protéger et préserver l'environnement et aussi la vie personnelle contre plusieurs maladies.
- Pour créer de l'emploi.
- pour limiter et réduire la quantité des déchets. (Duchain, 1983)

3.4.2 Différents bacs de tri sélectif

Après la résolution du problème de localisation des bacs dans la zone urbaine de Boudjlida et après le choix du meilleure modèle parmi les sept modèles, nous avons généralisé les résultats de ces modèles pour tous les types des déchets en proposant à disposer différents couleur bacs à cette zone pour trier ses déchets, à savoir : le bac bleu, le bac rouge, le bac gris, le bac jaune, le bac blanc et le bac noir. Qui sont représentés comme suit :

1. Le bac bleu : dans ce conteneur on jette toute sorte des déchets plastiques :

- Bouteilles et flacons.
 - Pots en plastique.
 - Barquettes en polystyrène.
 - Films et sacs plastiques.
 - Etc.
2. Le bac rouge : dans ce conteneur on jette tous les déchets organiques et déchets verts :
- Matières fermentescibles : épluchure de légume, de fruit...etc.
 - Déchet vert.
 - Bois.
 - Etc.
3. Le bac gris : ce bac est réservé pour les métaux :
- Emballages métalliques.
 - Boite de conserve.
 - Etc.
4. Le bac jaune : dans ce conteneur on jette les cartons et papiers :
- Journaux, magazine...etc.
 - Emballage cartonné.
 - Papier.
 - Etc.
5. Le bac blanc : ce conteneur contient le verre :
- Bouteilles de verre.
 - Vaisselle, faïence, porcelaine.
 - Pot et bocaux.
 - Ampoules.
 - Vitre ou verre brisé.
 - Etc.
6. Le bac noir : dans ce conteneur on jette textile et autres :
- Vêtement.
 - Chaussures
 - Tous produits électriques ou électroniques
 - Boites des produits toxiques
 - Etc.

3.4.3 Bonnes humeurs de tri

Afin de réussir ce système de collecte sélectif certaines obligations opérationnelles doivent être faites par les citoyens

- 1- Il faut aplatir les cartons, les bouteilles en plastique, les briques alimentaire...etc. cela pour gagner de la place et cela permette aussi d'éviter débordement du bac.
- 2- Il faut déposer chaque types de déchets dans les bacs qui correspondants.
- 3- Surement il faut d'abord trier à la maison, par ramassage de chaque type de déchets dans son panier ou sac qui le convient.

3.4.4 Sensibilisation

La réussite de cette démarche égale l'implication de tous, car le tri sélectif c'est la faire de tous. A ce stade il faut fournir des efforts considérables et penser un notre génération future.

- le premier pas c'est de l'engagement de l'état par établissement des normes et des lois et des programmes concernant le tri, la gestion et la valorisation des déchets ménagers.
- En assurant et en suivant l'application de ces lois juridiques et institutionnelles.
- Ainsi encourager et aider des startups à voir des entreprises de recyclage, de valorisation, de tri et collecte des déchets.

Le deuxième pas du citoyen. C'est pour ça nous avons proposé quelques démarches :

- Faire apprendre le tri comme lire et écrire dans les écoles, i.e. faire une matière éducative.
- Faire des publicités sur :
 - Panneaux publicitaires
 - dans les médias et de communication en faisant des émissions de sensibilisation.
 - Réseaux sociaux.
 - Des affiches.

Cela pour que les gens soit conscient sur l'importance de tri et leur avantages non négligeable sur toutes les axes.

- faire un contrat avec les entreprises de recyclage et de valorisation des déchets afin de récompenser les gens de quartier, cette action a deux but le premier à court terme est de motiver les gens à trier et le deuxième but à long terme c'est de faire habituer les gens à faire cette action.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé sept modèles pour la résolution du problème de la localisation optimale des bacs dans la zone de Boudjlida afin de choisir les meilleurs emplacements restreints à la collecte de déchets selon une norme de tri sélectif. Sur les sept résultats, nous avons choisi le modèle quatre le plus convenable pour résoudre ce problème en terme de nombre de bacs et taille ainsi que le nombre de bâtiments affecté à chaque emplacement.

De plus l'emplacement des bacs dédiés à une classe de déchets à faible quantité tels que les déchets électrique, électronique, les batteries et même le tissu est réalisé à l'aide de la méthode MCDM Promethee. A la fin une étude de sensibilisation est proposée avec un facteur motivation et obligation dans le but de faire entrer en ordre tous les participants dans la mise en marche de ce processus de collecte selon un tri sélectif des déchets en se basant sur une sensibilisation sur l'importance du tri sélectif.

Notons que le plastique tient une teneur importante dans le pourcentage de déchets, dans le prochain chapitre, nous allons présenter notre étude de la réalisation du prototype de la pyrolyse du plastique pour le transformer en huile hydrocarbure.

Chapitre 04

Réalisation d'un prototype de la pyrolyse du plastique

4.1 Introduction

Ce chapitre explique la réalisation pratique du réacteur à pyrolyse afin de démontrer le cas de possibilité de transformer les déchets plastiques en hydrocarbures. En 1^{ère} étape de conception, nous décrivons brièvement le logiciel de la conception utilisé SolidWorks. Par la suite, nous montrons les étapes de conception de chaque composant utilisé dans le montage de notre prototype ainsi que leur assemblage final. Et comme 2^{ème} étape, la partie expérimentale du fonctionnement de la pyrolyse du plastique, est présentée en expliquant les démarches de l'expérience et en interprétant les résultats obtenus.

4.2 Qu'est-ce qu'un SolidWorks

SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

Le logiciel SolidWorks a plusieurs fonctionnalités comme :

- La conception des objets en 2D et 3D.
- La création des animations des objets 3D.
- L'estimation de cout de fabrication des objets.
- etc. (Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, 1995-2013)

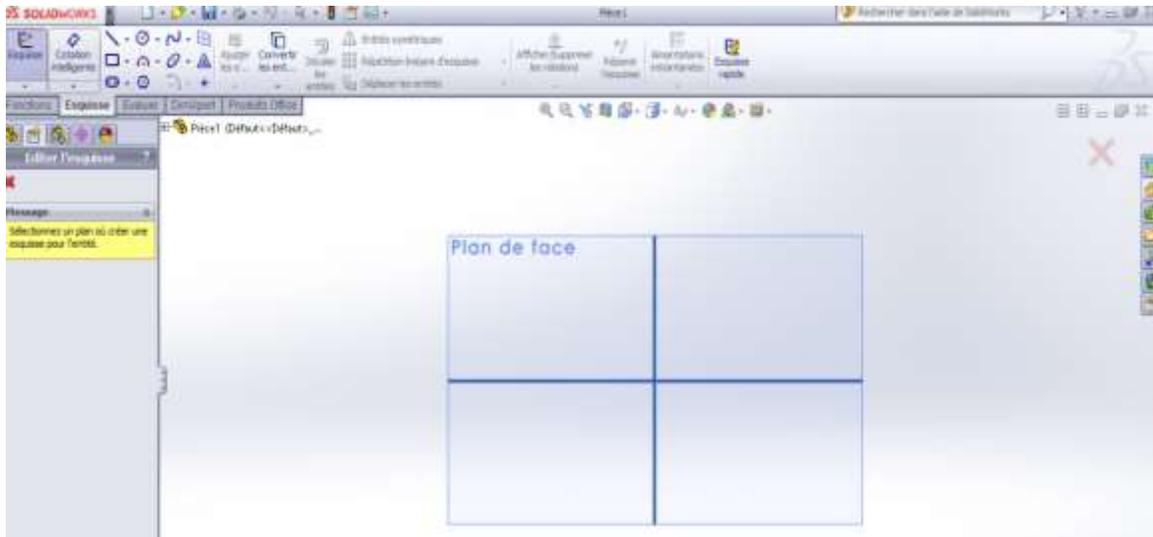


Fig. 4. 1 Fenêtre du logiciel SolidWorks

4.3 Exemple d'un système de la pyrolyse du plastique

Il existe plusieurs procédés de pyrolyse du plastique, parmi ces procédés nous illustrons le procédé présenté par la figure (4.1).



Fig. 4. 2 Prototype d'un système de la pyrolyse du plastique

(Miandad, et al., Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil, 2017)

4.3.1 Description du système

La matière première est broyée en petits morceaux (environ 2 cm²) pour obtenir le mélange homogène. Un petit réacteur de pyrolyse pilote est mis en service et est utilisé pour la conversion des déchets plastiques en huile liquide et en carbonisation.

Le réacteur est en acier inoxydable et recouvert d'une boucle d'un appareil de chauffage électrique permettant d'atteindre une température maximale de 600°C. La hauteur du réacteur est de 360 mm avec un diamètre de 310 mm et une capacité de 20 L.

Un condenseur de type tubulaire d'une longueur de 860 mm couplé à un refroidisseur d'eau est installé à l'extrémité du réacteur catalytique. Les vapeurs organiques produites à haute température dans la chambre de chauffage sont condensées en une huile liquide dans le condenseur.

Un refroidisseur à circulation d'eau avec un liquide de refroidissement est utilisé pour réduire la température du condenseur afin de condenser au maximum les vapeurs organiques en une huile liquide dans le condenseur.

Les vapeurs organiques condensées (huile liquide) sont collectées à partir de l'ensemble collecteur d'huile situé au bas du système. Alors que les produits non condensables (gaz) provenant du même tuyau de pétrole liquide sont épuisés à l'extérieur.(Miandad, et al., Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil, 2017)

4.4 Conception de la réalisation

4.4.1 Conception du réacteur

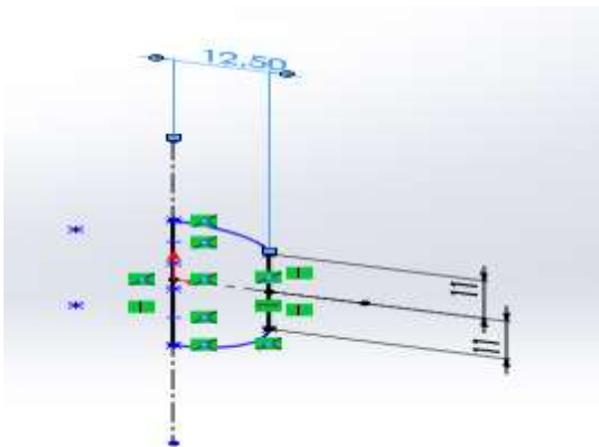


Fig. 4. 3 Conception du réacteur

4.4.2 Conception de la bride

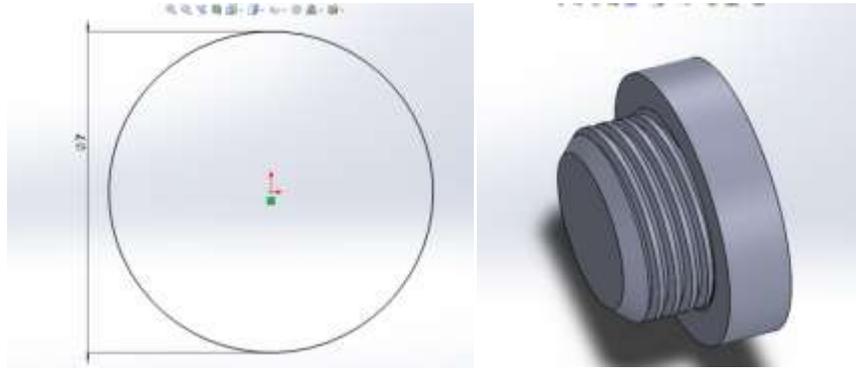


Fig. 4. 4 Conception de la bride

4.4.3 Conception du raccord



Fig. 4. 5 Conception du raccord

4.4.4 Conception du tube



Fig. 4. 6 Conception du tube (liaison Réacteur – Condenseur)

4.4.5 Conception du condenseur

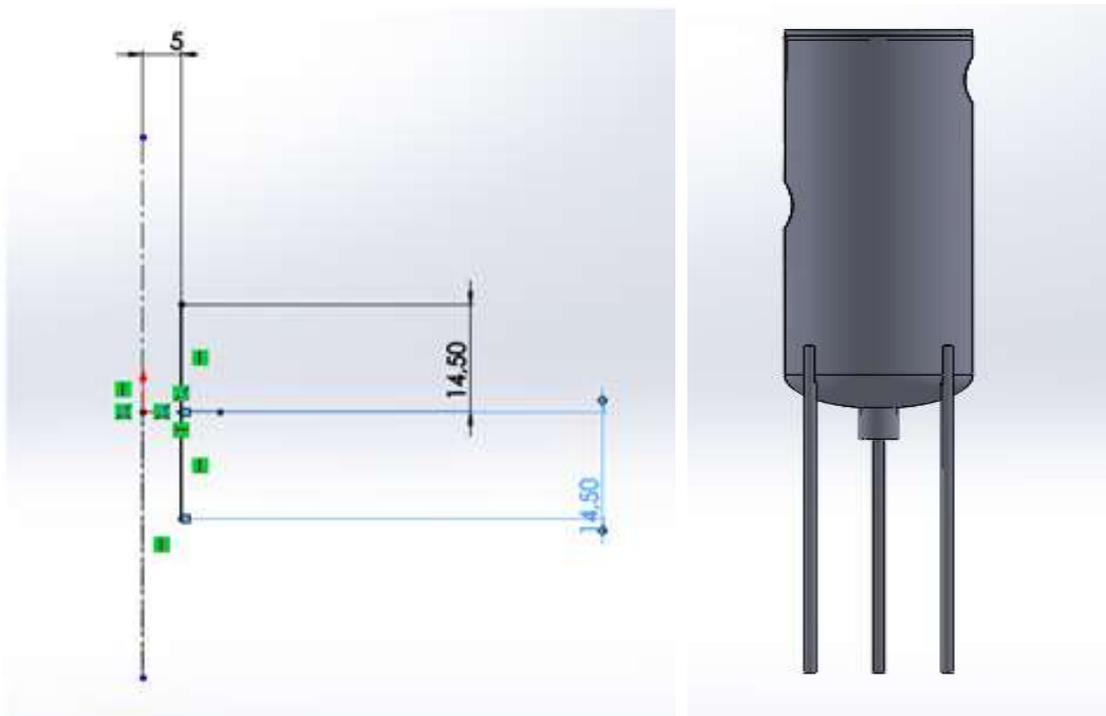


Fig. 4. 7 Conception du condenseur

4.4.6 Conception du tube



Fig. 4. 8 Conception du tube (Sortie du 1^{er} Condenseur)

4.4.7 Conception du tube



Fig. 4. 9 Conception du tube (Entrée 2^{ème} Condenseur)

4.4.8 Conception du coude



Fig. 4. 10 Conception du coude

4.4.9 Assemblage final



Fig. 4. 11 Assemblage final



Fig. 4. 12 Procédé de pyrolyse réalisé dans l'atelier

La réaction se déroule dans un réacteur qui est une bouteille de gaz du propane en acier et recouvert d'une bride filetée, les dimensions du réacteur sont les suivantes : 22 mm de hauteur et 25 mm de diamètre extérieur. Les vapeurs, introduites dans un cylindre, c'est un extincteur 29mm de hauteur 10 mm de diamètre extérieur, à travers un tube de jonction, C'est un tube galvanisé de diamètre intérieur 15mm, de diamètre extérieur 21 mm et de longueur 68 mm. Une grande partie de ce vapeur est récupéré dans le cylindre et le reste est passe à travers deux tubes de jonctions galvaniser l'un a longueur 23 mm et l'autre a longueur 17 mm pour ensuite condenser

dans un 2^{ème} condensat. Le refroidissement se fait manuellement ainsi l'étape de récupération du gaz n'est pas prise en considération.

Tableau 4. 1 Composants de prototype

Composant	Rôle	Quantité
Une bouteille de gaz	Réacteur à pyrolyse	1
Extincteur	1 ^{ère} condensat	1
Bouteille	2 ^{ème} condensat	1
Tube	Canal du transport	3
Réchaud à gaz	Source de chaleur	1

4.5 Etapes de l'expérience

1. Collecter une quantité mixte de déchets plastiques
2. Les déchets sont nettoyés puis découpés en petits morceaux.
3. On va s'introduire ces déchets dans le réacteur à pyrolyse.
4. Dans cette étape on va chauffer les déchets plastiques dans une atmosphère inerte qui va permettre de dépolymériser la longue chaîne de molécules et obtenir une petite chaîne.
5. Ces petites molécules vont se transformer en vapeur.
6. Puis on va distiller la vapeur et la faire refroidir pour obtenir du carburant liquide

4.6 Expériences

Nous avons fait l'étude expérimentale de la pyrolyse des déchets plastiques sur dispositif expérimental basique permette de récupérer les produits de pyrolyse. Une étude paramétrique est menée en faisant varier la pression.

Tableau 4. 2 Paramètres des expériences

Numéro d'expérience	Paramètre	Refroidissement	Quantité des déchets
1	Trou 3.5 mm	Par l'eau	414 g
2	Trou 10 mm	Par l'eau	414 g
3	Trou 14 mm	Par l'eau	414 g

La figure (4.13) montre les types des déchets plastiques utilisés sont : PS-PET-PEHD-PP-PEBD.

- PS : 7 Pots de yaourts du 100g plus 2 gobelets.
- PEBD : 5 Sachets plus 11 sachets d'emballages.
- PP : Une boîte de vaseline de 50g plus boîte des glaces de 350g.
- PET : Une bouteille de 0.5 L.



Fig. 4. 13 Déchets plastiques utilisés

4.6.1 Interprétation des résultats

Nous avons mené trois expériences avec refroidissement manuel par l'eau.

a) Première expérience

Consiste à faire un trou de 3.5 mm pour augmenter la pression dans réacteur, après environ une heure et quarante-cinq minutes le résultat c'est un liquide « un hydrocarbure » de quantité 0.46 L et une petite quantité de coke.

b) Deuxième expérience

Consiste à faire un trou de 10 mm pour voir une pression moins que la première expérience, elle prend environ une heure et cinquante –cinq minutes, les résultats comme la première expérience.



Fig. 4. 14 Liquide de la première et deuxième expérience



Fig. 4. 15 Coke noir de carbone

c) Troisième expérience

Consiste à faire un trou de 14 mm pour voir une pression moins que les deux précédentes expériences. Elle dure une heure et quarante-six minutes. Elle donne la même quantité que les deux premières expériences mais la couleur du produit liquide diffère.



Fig. 4. 16Liquide de la troisième expérience



Fig. 4. 17 Brûlure du liquide



Fig. 4. 18Coke en demi-réaction.

Comme synthèse des trois expériences, nous constatons qu'il y avait deux différents liquides pour les deux premières expériences qui ont la même couleur noir. Par contre, pour la troisième expérience le liquide a une couleur du miel d'où, ce qui conduit à déduire que la qualité du produit n'est pas la même.

Pour voir le rapport de la qualité, nous avons mené des investigations qui ont montré que le produit de la troisième expérience est de meilleure qualité.

Plusieurs paramètres influencent le rendement et la qualité du produit, nous citons :

- La température qui est l'un des paramètres de fonctionnement les plus importants de la pyrolyse, car elle contrôle la fissuration
- Le temps de séjour
- La pression
- Le type de refroidissement
- Le type des déchets plastiques utilisés et leur proportion.

4.7 Analyse FTIR-ATR

4.7.1 C'est quoi FTIR-ATR

FTIR-ATR est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau. (Krevelen & Nijenhuis, 2009)

Afin de vérifier la nature des produits de l'expérience, nous avons une analyse FTIR-ATR (Fourier Transform InfraRed - Attenuated Total Reflectance ou en français Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier - Réflexion Totale Atténuée) au niveau du laboratoire de recherche de catalyse et synthèse en chimie organique(LCSCO) d'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen (Fig. 4.19).



Fig. 4. 19 Appareil FTIR-ATR du Laboratoire de catalyse et synthèse en chimie organique

Nous avons obtenu :

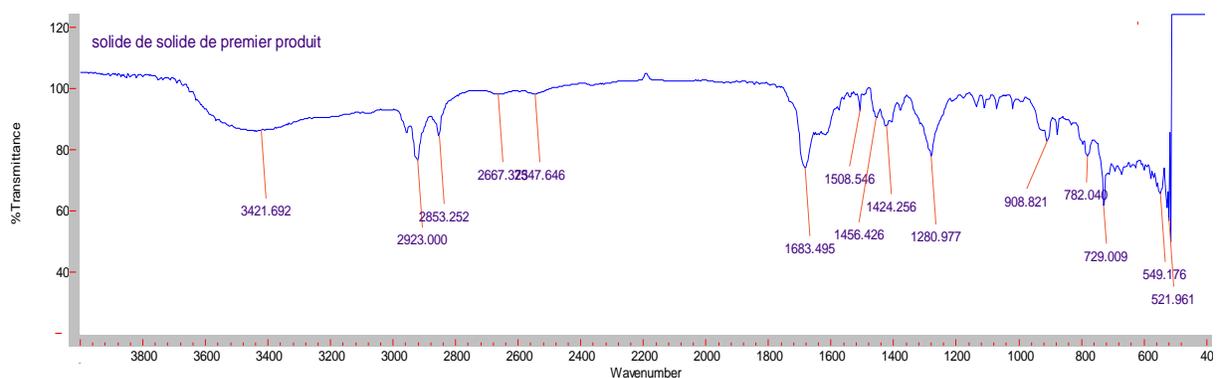


Fig. 4. 20 Graphe du coke de la 1^{ère} expérience

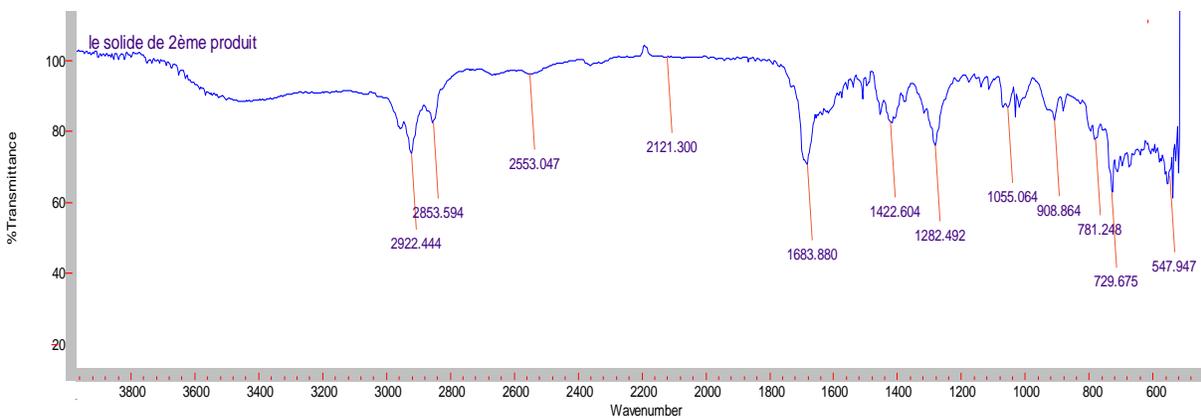


Fig. 4. 21 Graphe du coke de la 2^{ème} expérience

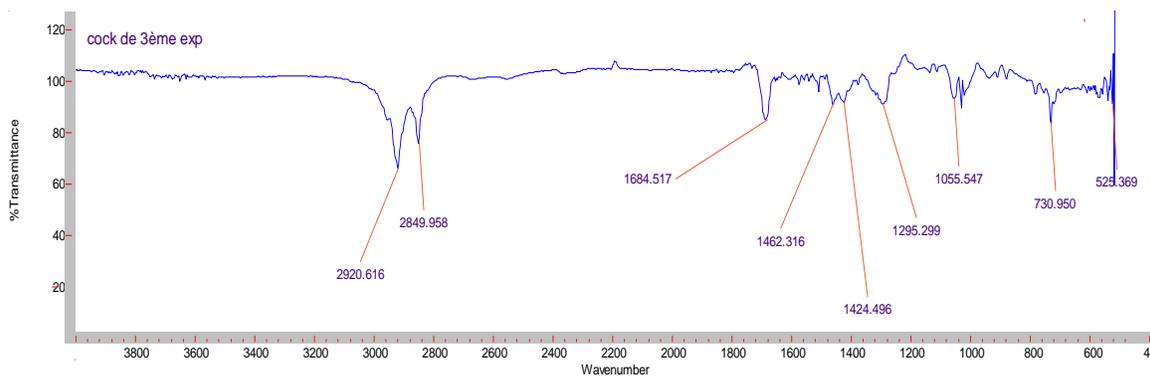


Fig. 4. 22 Graphe du coke de la 3^{ème} expérience

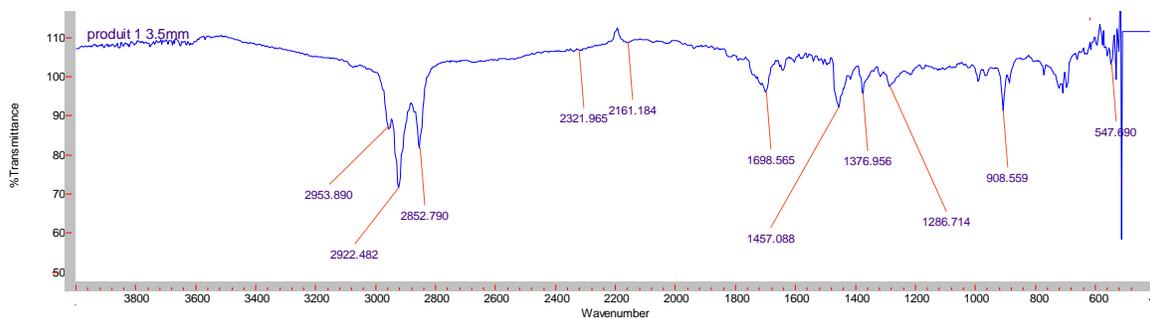


Fig. 4. 23 Graphe du produit 1 de la 1^{ère} expérience

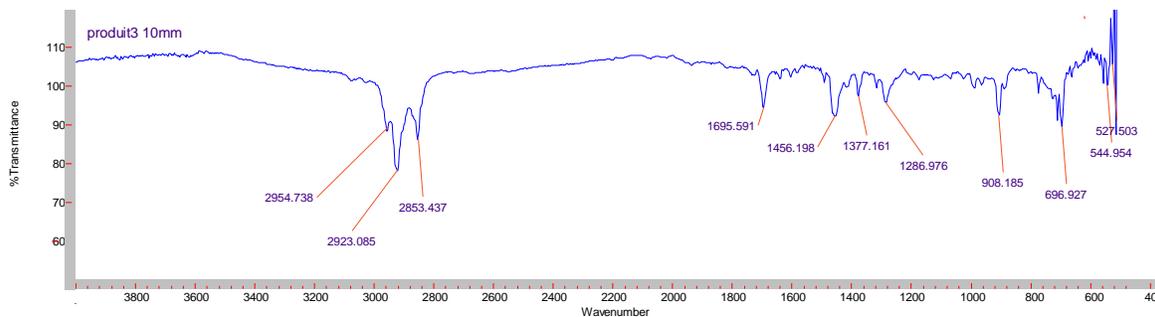


Fig. 4. 24 Graphe du produit 1 de la 2^{ème} expérience

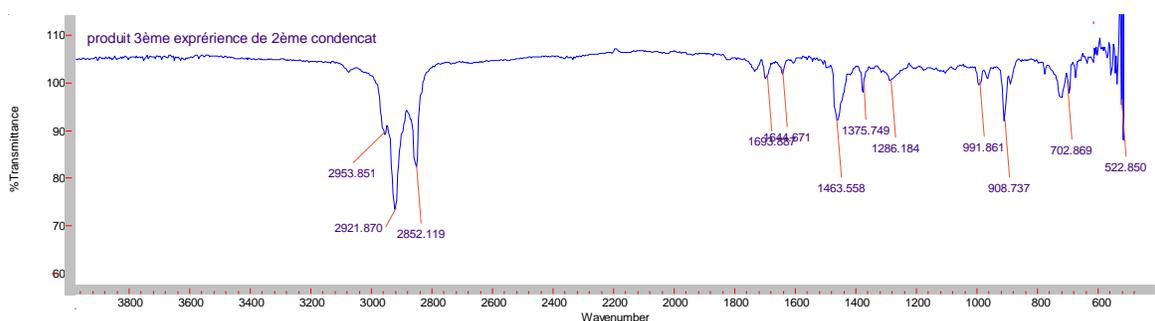


Fig. 4. 25 Graphe du produit 1 de la 3^{ème} expérience

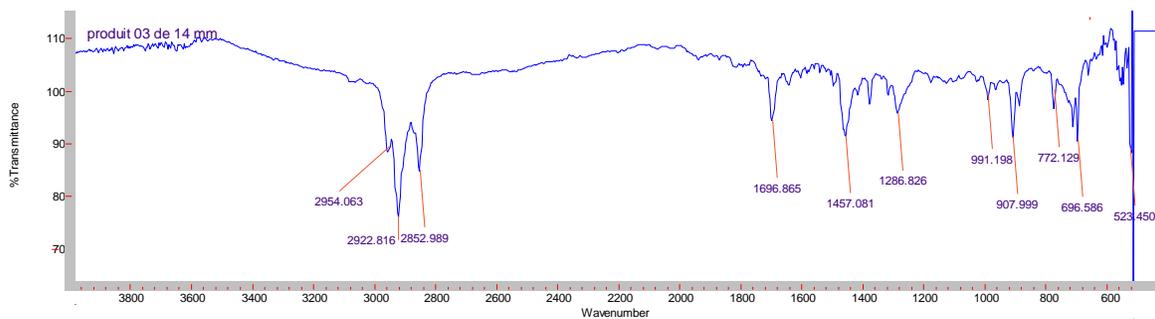


Fig. 4. 26 Graphe du produit 2 de la 3^{ème} expérience

L'analyse des spectres montrent la présence d'une bande caractéristique de l'adsorbant et de la phase adsorbée d'une molécule, cette bande qui apparaît aux environs de 2849-2954 cm^{-1} dans toutes les courbes présentées ci-dessus. D'après le tableau (4.3), ces spectres IR ont confirmé qu'il y a présence d'un mélange d'hydrocarbures (carbone et hydrogène) dans nos produits, car d'après la table Le domaine infrarouge des alcanes est entre 2840-3000 cm^{-1} cela confirme que ce sont des hydrocarbures.

Tableau 4. 3 Tableau d'absorption par spectroscopie infrarouge

Infrared Spectroscopy Absorption Table

3000-2500 cm ⁻¹						
3333-3267	strong	sharp	C-H	stretching	alkyne	
3100-3000	medium		C-H	stretching	alkene	
3000-2840	medium		C-H	stretching	alkane	
2830-2695	medium		C-H	stretching	aldehyde	doublet
2600-2550	weak		S-H	stretching	thiol	
2400-2000 cm ⁻¹						
2349	strong		O=C=O	stretching	carbon dioxide	
2275-2250	strong	broad	N=C=O	stretching	isocyanate	
2260-2222	weak		C≡N	stretching	nitrile	
2260-2190	weak		C≡C	stretching	alkyne	disubstituted
2175-2140	strong		S-C≡N	stretching	thiocyanate	
2160-2120	strong		N=N=N	stretching	azide	
2150			C=C=O	stretching	ketene	
2145-2120	strong		N=C=N	stretching	carbodiimide	
2140-2100	weak		C≡C	stretching	alkyne	monosubstituted
2140-1990	strong		N=C=S	stretching	isothiocyanate	
2000-1900	medium		C=C=C	stretching	allene	

4.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons mené une expérience de la technique à base de la pyrolyse. Elle permet de transformer les déchets plastiques en huiles d'hydrocarbures précieux. Nous pouvons être satisfaits des premiers résultats, vu que c'est la première expérience menée au niveau de notre faculté. Toutefois, le développement et l'amélioration des performances de cette méthode dans le futur pourrait étendre les diverses limites du recyclage des plastiques.

Conclusion Générale

Tout au long de la préparation de notre projet de fin cycle, nous avons essayé de mettre en pratique les connaissances acquises durant nos études universitaires et cela afin de faire au premier axe une étude de la revalorisation énergétique des déchets ménagers cas de transformation des plastiques en diesel par la pyrolyse et au deuxième axe une étude d'optimisation d'emplacement des bacs dans la zone de Boudjlida.

Pour ce faire :

1. Pour le premier axe, la pyrolyse des déchets plastiques a été étudiée expérimentalement par notre réalisation. D'après cette expérience on a constaté que plusieurs facteurs (pression et température) ont un effet significatif sur les réactions et le produit.
2. Pour le deuxième axe, on s'est appuyé sur l'outil graphique sig et sur le logiciel d'optimisation LINGO 10 pour la résolution séquentielle de ce problème.

On a construit 7 modèles de localisation des bacs :

- Le premier modèle consiste à la localisation des bacs en termes de distance entre bac et les bâtiments
- Les six modèles consistent à minimiser le cout de la localisation des bacs en considérants la distance entre bac et les bâtiments, la quantité des déchets, le taux de remplissage des bacs et la taille et le prix des bacs, dont le deuxième et troisième modèle on a introduit une distance 80 m et on varier la taille des bacs une fois 240 et l'autre 630, quatrième et cinquième modèle on a changé la distance 120 m par rapport les modèles précédents,. Et pour les deux derniers modèles on a introduit les deux tailles mais on a vari la distance (80-120m).

Parmi ces modèles on a choisi le quatrième modèle afin de localiser les bacs de manière harmonise dans la zone de Boudjlida.

Les objectifs inscrits dans ces deux axes ont été atteints. L'option de traitement thermique avancé de la pyrolyse des déchets plastiques, permet un régime de recyclage valorisant ces déchets plastiques résiduels sous forme de carburants et d'énergies de substitution. Par exemple, nous

produisons un diesel synthétique qui peut être utilisé pour des applications de transport et qui atténue les émissions de carbone qui seraient associées au processus d'extraction et de raffinage du pétrole pour produire du diesel traditionnel, ce qui contribue à la lutte contre le réchauffement planétaire et le changement climatique associé.

Comme proposition, nous souhaitons proposer de faire la tournée de véhicule pour la collecte des déchets comme suit :

- chaque jour pour les déchets organiques.
- Trois fois par semaine pour les déchets plastiques.
- Trois fois par semaine pour les cartons et papiers.
- Trois fois par semaine pour les déchets verre.
- Une fois par semaines pour les déchets métalliques.

Comme perspective, nous souhaitons pour les prochains projets de fin d'étude d'élargir notre travail sur le système de pyrolyse en :

- Intégrant des appareils de mesure (thermocouple de types K ou S, manomètre) pour mesurer la température et la pression à l'intérieur de réacteur.
- Utilisant une source de chaleur qui permet d'augmenter la chaleur à 400°C ou plus.
- Intégrant un système de refroidissement automatique.
- Intégrant un système qui permet de faciliter la récupération du coke qui existe dans le réacteur après la fin de la réaction.
- Intégrant un système automatique qui permet de récupérer le gaz non condensable pour utiliser comme une source de chaleur dans le système.

Bibliographie

- A. Boulal, M. K. (Septembre 2016). *Synthèse du biodiesel par transestérification des huiles de friture usées (HFU)*. algerie.
- ADEME. (2016). *Chiffres clés*. france: edition.
- ADEME(agence d'environnement et de la maitrise del'energie. (1992). Consulté le 10 10, 2018, sur <https://www.ademe.fr/entreprises-monde...cout-dechets/.../dechets/quest-quun-dechet>
- AILE. (2015, octobre 13). La valorisation énergétique des déchets verts : les freins, les opportunités et les perspectives. Saint-Brieuc.
- al, A. a. (2015 Février). *BASTIDE Guillaume - Service Prévention et Gestion des Déchets*.
- al, A. e. (2018). *Pollution plastique en Méditerranée*. Rome, Italie: WWF Initiative Marine Méditerranéenne. Récupéré sur wwf.fr/mediterranee-pollution-plastique
- al, A. e. (juin 2009). *State of art of sorting out and recycling of end of life clothing textiles*,. france.
- al, M. P. (2004). *le guide de recyclage ooreka*. france: fine media.
- al, S. D. (2018). pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource . *IOP conf.series:materials Science and engineering 334 012001*.
- al, S. M. (30 Août 2013). *Etude sur le renforcement de l'objectif de recyclage mécanique des plastiques*. europe.
- Almeida, D. M. (2015). Thermal and Catalytic Pyrolysis of Polyethylene Plastic Waste in Semi. 26, 1–8.
- Antonini, G. (juin2004). *Pyrolyse-Gazification des déchets plastiques*. Etude ADEMEPROCEDIS.
- AURELIE. (2011). *Les poubelles*.
- Boigelot, R. (2012). *Gazéification de déchets organiques dans un réacteur à flux entraîné : impact des inorganiques sur le fonctionnement du réacteur et choix des céramiques réfractaires*. Université d'Orléans.

- Bourguignon, D. (2016). *Valorisation énergétique des déchets: opportunités et défis*.
- Breyer, S. H. (2016). *étude du procédé de co-pyrolyse de déchets plastiques et d'huiles de lubrification usagées dans le but de produire un combustible liquide alternatif*.
- Colin, A. (1997). (Doctoral dissertation, Compiègne) *Etude du procédé d'épandage centrifuge d'engrais minéraux*.
- D.J., C. (1988). *GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences? In: (Vol. 54)*.
- Dassault Systèmes SolidWorks Corporation. (1995-2013). *Introduction à SolidWorks*.
- Debril, J. R. (2005). *Gestion des déchets de Jussie par le compostage*". DIREN des Pays de la Loire.
- Devy K.Ratnasari, M. A. (2016). Catalytic Pyrolysis of Waste Plastics using Staged. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*.
- Diabaté, P. e. (2009, 11 18). *Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du Sud*.
- DR R Valcke, L. (2001). *le recyclage des plastiques. Mens*.
- DU, V. D. (31 décembre 2014). *RAPPORT PNGMDR*.
- Duchain, M. (1983). Tri, sélection, échantillonnage. A propos de deux manuels et d'une circulaire. *La Gazette des archives, 120(1)(41-50)*.
- durable, d. e. (s.d.). *Le dictionnaire de l'environnement*. Récupéré sur https://www.dictionnaire-environnement.com/tri_selectif_ID2329.html
- econologie*. (s.d.). Récupéré sur Carburants_petroliers: https://www.econologie.com/file/technologie_energie/Carburants_petroliers.pdf
- Ella Schieber, C. F. (2018). *Le portefeuille d'activités de la GIZ en Algérie*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- elwatan*. (2018, 10 10). Consulté le 10 12, 2018, sur <https://www.elwatan.com/edition/actualite/lagence-nationale-des-dechets-lance-une-etude-10-10-2018>
- F, D. J. (1996). *Les systèmes d'information géographique*. Paris.
- hammami, T. (2016, 8 5). *introduction- generalite sur matieres plastiques. cours de PMF des matieres plastiques*.
- Kassargy, C. (2018, 8 9). *Contribution à l'étude de la valorisation énergétique des résidus de plastique par craquage catalytique. Engineering Sciences* .
- Keller, T. (2009). *La valorisation énergétique des déchets par incinération*.

- Kiesse, S. E. (2013). *Valorisation énergétique des déchets de bois traités par voies thermochimiques (pyrolyse et hydroliquéfaction) : Application aux bois traités aux sels de CCB (cuivre-chrome-bore)*.
- Krevelen, D. v., & Nijenhuis, K. t. (2009). Properties of polymer. Their correlation with chemical structure; their. *elseiver*.
- l'UEMOA, m. d. (2013). *ETUDE SUR LA GESTION DES DECHETS PLASTIQUES DANS L'ESPACE UEMOA*.
- le verre dans les dechets d'emballages menagers. (1998, juillet).
- Le verre, un matériau réutilisable. (2012, 11 7). Récupéré sur www.feve.org - www.friendsofglass.org - www.verre-avenir.fr
- Liebenberg, c. (2007). *waste recycling in developing countries in africa: barriers to improving reclamation rates*.
- Miandad, R. B. (2017). *Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil*. International biodeterioration & biodegradation.
- Miandad, R., Barakat, M., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., & Nizami, A. (2016, 6 20). Catalytic Pyrolysis of Plastic Waste: A Review. *elseiver*, 45. doi:10.1016
- Miandad, R., Barakat, M., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I., & Nizami, A. (2017). *Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil*. International Biodeterioration & Biodegradation. doi:10.1016
- Moletta, R. (2012, 9 12). La méthanisation. Université d'été « Sauvons le climat » L'ABER WRAC'H 7 .
- Mortgat, B. (2000). *Procédés de recyclage du lithium des piles et accumulateurs*. Environnement & technique.
- Nidoni, P. G. (2017). INCINERATION PROCESS FOR SOLID WASTE MANAGEMENT AND EFFECTIVE UTILIZATION OF BY PRODUCTS. *International Research Journal of Engineering and Technology(IRJET)*.
- PAWAR, M. S. (2016). *WASTE PLASTIC PYROLYSIS*.
- Sharuddin, S. D. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy conversion and management*(115), 308-326.
- TUMU, S. (2007, 1 4). *lingo user's guide*. Chicago.
- Wiess, P. (2010). *la chimie des polymères*.
- Wong, S., Ngadi, N., Abdullah, T., & Inuwa, I. (2015, 8 5). Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel_ A review. *elseiver*.

ملخص

بعد ما كانت النفايات مصدر ازعاج للجميع أصبحت الان مصدر ثورة للدول التي تقوم بتسيير نفاياتها بشكل جيد. الجزائر من ضمن الدول التي مازالت تعرف تأخر في هذا المجال وبهذا الصدد قمنا في هذا البحث باقتراح نماذج لوضع القمامات بطريقة مثالية في منطقة بوجليدة واقتراح طرق فعالة لتحسيس وتحفيز المواطنين للقيام بعناية الفرز الانتقائي للنفايات المنزلية. ومن أكثر النفايات المنزلية التي لقي العالم صعوبة في تدويرها وأصبحت تعد من أكثر المواد تلويثا في العالم لكثرة استعمالها وصعوبة تحللها في الطبيعة هي النفايات البلاستيكية.

وفي ظل التطورات التي يعرفها العالم في مجال معالجة وتثمين النفايات تم بابتكار عدة تقنيات لمعالجة هذا النوع من النفايات من أفضلها تقنية التحلل الحراري التي تقوم بتحويل البلاستيك الى وقود تحت درجة حرارة عالية وفي غياب غاز الاكسجين ولهذا الغرض قمنا في هذا البحث بإنشاء مجسم للقيام بعملية التحلل الحراري للبلاستيك.

الكلمات المفتاحية: النفايات المنزلية، النفايات البلاستيكية، القمامات، تخصيص الموقع، الانحلال الحراري.

Résumé

Depuis longtemps, les déchets étaient une source de nuisance pour tous et constituent à présent une source de révolution pour les pays qui gèrent bien leurs déchets, L'Algérie parmi les pays qui est encore retard dans ce domaine. À cet égard, nous avons proposé des modèles pour la localisation optimale des bacs dans la zone de boujlida et des démarches pour sensibiliser et motiver les citoyens à effectuer un tri sélectif des déchets ménagers.

Un des déchets ménagers les plus courants, difficile à recycler et qui est devenu l'une des substances les plus polluantes au monde pour ses nombreuses utilisations, et la difficulté de les décomposer dans la nature sont les déchets plastiques.

Avec le développement du monde dans le traitement et la valorisation des déchets plusieurs techniques ont été développées pour traiter ce type de déchets, la meilleure technique parmi eux on trouve la pyrolyse du plastique qui consiste à la décomposition des matériaux plastiques par l'action de la chaleur en absence d'oxygène pour obtenir un hydrocarbure que l'on a démontré expérimentalement par un prototype.

Les mots clé : Dechets managers, les déchets plastiques, les bacs, localisation allocation, pyrolyse.

Abstract

A long time ago, wastes were a source of nuisance for all, but for now they represent a source of revolution for countries that are managing them well. Algeria is among the countries that are still behind in this area. In this regard, we proposed models for the optimization of bins location in the zone of boujlida, and procedures as to raise awareness and motivate citizens to adopt the selective sorting of their household wastes.

One of the most common household wastes, hard to recycle and have become one of the most polluting substances in the world due to their many uses and the difficulty of their decomposing in the nature; are plastic wastes.

With the development of the world in the field of wastes treatment and recovery, several techniques have been developed to treat this type of wastes. The best technique among them is the Pyrolysis of plastic, which consists in the decomposition of plastic materials by the action of the heat in the absence of Oxygen to obtain a hydrocarbon. We demonstrated that last process experimentally by a prototype.

Keywords: Household waste ,plastic waste, bins, location allocation, pyrolysis.