



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel

Spécialité : management industriel et logistique

Présenté par :

Amar ALLOUN  
Issam BELACHOUI

Thème

**Adoption de l'architecture 4.0 dans la  
collecte des déchets ménagers urbains**

Soutenu publiquement, le 26 / 09 / 2021, devant le jury composé de :

M. Mohammed El Amine MKEDDER	Ingénieur en R&D	Président
M. Mustapha Anwar BRAHAMI	MCB	Encadreur
M. Mohammed BENNEKROUF	MCB	Co-Encadreur
M. Fouad MALIKI	MCB	Examineur 1
M.Mehdi SOUIER	Professeur	Examineur 2

## **Remerciement**

*Au terme de ce travail nous tenons compte à exprimer nos sincère gratitude et profonde reconnaissance à :*

*Notre encadreur Mr BRAHAMI, et notre Co-encadreur Mr BENNEKROUF d'avoir acceptés de diriger ce mémoire et pour leurs soutien, leur précieux conseils et orientations qu'ils nous avaient adressé durant toute la période de réalisation de ce modeste travail et nous vous sommes très reconnaissantes de bien vouloir porter intérêt à ce travail.*

*Aux membres de notre jury, pour le grand honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce modeste travail.*

*A l'ensemble de nos enseignants qui ont contribué dans L'efficacité de notre formation et tout le personnel administratif de l'ESSAT.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont Participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.*

**Issam Belachoui**

## ***Dédicace***

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce  
modeste*

*Travail de fin d'étude à :*

*Mes chers parents; qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et  
m'ont  
Éclairé le chemin par leurs conseils judicieux, que dieu leur prête  
bonheur et longue vie.*

*A mes très chers frères et sœur que j'aime beaucoup et je leur  
souhaite le bonheur et de chance.*

*A tous mes amis qui me sont aidé je leur souhaite également tout le  
succès qu'ils méritent.*

*A toutes personne qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes  
études.*

*A toute ma famille*

*À mes amis et particulièrement les plus proches, en témoignage des  
moments inoubliables,*

*Mes amis, mes camarades de génie industriel promo 2018/2021*

*À mon cher binôme **Alloun Amar,***

***Issam Belachoui***

## ***Remerciement***

*Au terme de ce travail nous tenons compte à exprimer nos sincère gratitude et profonde reconnaissance à :*

*Notre encadreur Mr BRAHAMI, et notre Co-encadreur Mr BENNEKROUF d'avoir acceptés de diriger ce mémoire et pour leurs soutien, leur précieux conseils et orientations qu'ils nous avaient adressé durant toute la période de réalisation de ce modeste travail et nous vous sommes très reconnaissantes de bien vouloir porter intérêt à ce travail.*

*Aux membres de notre jury, pour le grand honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce modeste travail.*

*A l'ensemble de nos enseignants qui ont contribué dans L'efficacité de notre formation et tout le personnel administratif de l'ESSAT.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui ont Participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.*

***Alloun Amar***

## ***Dédicace***

*Je dédié ce modeste travail :*

*A celle qui m'a inséré le goût de la vie et le sens de la responsabilité  
**ma mère** bien aimé.*

*A mon cher père qui a payé des années d'amour et de sacrifice le  
Prix de ma façon de penser, **Papa**, je te remercie d'avoir fais de moi  
Un homme.*

*A mon frère Karim et ma sœur cherifa , sans oublié mon cousin  
et mon frère faouzi pour leurs soutiens et encouragements*

*A ma grande mère et mes tantes pour leurs soutiens et  
Encouragements*

*À mes amis et particulièrement les plus proches, en témoignage des  
moments inoubliables,*

*Mes amis, mes camardes de génie industriel promo 2018/2021*

*À mon cher binôme Belachoui Issam,*

***Alloun Amar***

# Sommaire

## Sommaire :

### Chapitre I : Généralité sur les déchets :

I.1. Notions et généralités sur les déchets.....	4
I.1.1. Définition de déchet. ....	4
I.2. Cadre réglementaire.....	4
I.3. Classification des déchets.....	5
1.3.1. Classification en fonction de l'activité initiale du déchet... ..	5
1.3.1.a. Les déchets ménagers et assimilés.....	5
1.3.1.b. Les déchets industriels.....	5
1.3.1.c. Les déchets agricoles.....	7
1.3.1.d. Les déchets hospitaliers.....	7
1.3.2. Classification selon la nature du déchet.....	8
1.3.2.a. Les déchets dangereux.....	8
1.3.2.b. Les déchets toxiques en petites quantités.....	9
1.3.2.c. Les déchets non dangereux.....	9
1.3.2.d. Les déchets inertes.....	9
1.3.2.e. Les déchets ultimes.....	10
1.3.3. Classification selon le mode de traitement des déchets.....	10
1.3.3.a. Les déchets biodégradables ou décomposables. ....	10
1.3.3.b. Les déchets recyclables.....	11
1.3.3.c. Les déchets ultimes.....	11
1.3.3.d. Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux.....	12
I.4. Nomenclature des déchets.....	12
I.5. La notion de déchet ultime et le cycle de vie des déchets.....	12
I.6. Classification réglementaire et législative des déchets.....	14
I.6.a. Les Ordures ménagères (OM) .....	14
I.6.b. Déchets Industriels Banals (DIB).....	14
I.6.c. Les déchets industriels spéciaux (DIS).....	15
I.6.c. 1 Les déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD).....	15
I.6.c.2. Les déchets à haut risque (DHR).....	15
I.6.c.3. Les déchets d'activité de soins (DAS).....	15
I.7. Généralités sur les sacs composables.....	15
I.8. Déchets ménagers.....	15
I.8.1. Définition.....	16
I.8.2. Composition.....	16
I.8.3. Caractéristiques.....	16
I.9. Gestion des déchets.....	17
I.9.1. Le tri sélectif .....	18
I.9.2. Collecte des déchets.....	18
I.9.2.1. Collecte en mélange « porte à porte ».....	18
I.9.2.2. Collecte sélective par apport volontaire.....	19
I.9.2.3. Collecte sélective « porte à porte ».....	19
I.9.2.4. Collecte par points de regroupement.....	19
I.9.3. Transport.....	19
I.9.4. Stockage.....	19
I.9.5. Installations de collecte et de traitement.....	19

I.9.5.1. Station de transit (centre de transfert).....	19
I.9.5.2. Centre de tri.....	20
I.9.5.3. Centres d'enfouissement technique (CET).....	20
I.9.5.4. Déchetteries.....	20
I.9.6. Valorisation des déchets.....	20
I.9.6.1. Compostage.....	21
I.9.6.2. Méthanisation.....	21
I.9.6.3. Incinération.....	21
I.9.6.4. Thermolyse (Pyrolyse) .....	21
I.9.6.5. Recyclage.....	21
I.10. Conséquences de la mauvaise gestion des déchets.....	21
I.10.1. Impacts environnementaux.....	22
I.10.1.1. Pollution de l'air.....	22
I.10.1.2. Pollution de l'eau.....	22
I.10.1.3. Pollution du sol.....	22
I.10.2. Impacts et risques sanitaires.....	22
I.10.3. Impacts économiques.....	23
I.11.conclusion.....	23

## **Chapitre II : Les Méta-heuristique :**

II.1. Introduction.....	25
II.2. Définition d'un problème d'optimisation.....	25
II.3. Classification d'un problème d'optimisation.....	26
II.4. Définition d'un problème d'optimisation combinatoire.....	26
II.5. Problèmes célèbres en Optimisation Combinatoire.....	26
II.6. Approches de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire.....	27
II.6.1. Méthodes de résolution. ....	28
II.6.1.1. Méthodes exactes.....	28
II.6.1.1.1. Branch and Bound.....	29
II.6.1.1.2. Programmation dynamique.....	29
II.6.1.2. Méthodes approchées.....	29
II.6.1.2.1. Les heuristiques.....	29
II.6.1.2.2. Performance d'une heuristique.....	30
II.6.1.2.3. Les Méta- heuristiques.....	31
II.6.1.2.3.1. Définitions.....	31
II.6.1.2.3.2. Caractéristiques méta-heuristiques.....	31
II.6.1.2.3.3. Classification des méta-heuristiques.....	32

II.6.1.2.3.3.1. Les méta-heuristiques à base de solution unique.....	32
(S-méta-heuristiques) .....	32
II.6.1.2.3.3.2. Les méta-heuristiques à base de population de solutions (P-méta-heuristiques) .....	32
II.6.1.2.3.4. Concepts Communs des Méta-Heuristiques.....	32
II.6.1.2.3.4.a. Modélisation du Problème.....	32
II.6.1.2.3.4.b. Fonctions Objectifs.....	33
II.6.1.2.3.4.c. Contraintes.....	33
II.6.1.2.3.5. Quelques méta-heuristiques.....	34
II.6.1.2.3.5.1. Le recuit simulé.....	34
II.6.1.2.3.5.1.a. Convergence de l'Approche du Recuit Simulé.....	35
II.6.1.2.3.5.1.b. Avantages et Inconvénients de l'Approche du Recuit Simulé.....	35
II.6.1.2.3.5.2. Colonie de fourmis. ....	36
II.6.1.2.3.5.3. Recherche tabou. ....	38
II.7. conclusion.....	44

### **Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :**

III.1. Introduction.....	46
III.2. Présentation du langage de programmation java.....	46
III.3. Description de problème.....	46
III.4. Complexité du problème localisation-allocation.....	47
III.5. Modèle mathématique.....	47
III.5.1. Hypothèses.....	48
III.5.2. Les indices.....	48
III.5.3. Paramètres.....	48
III.5.4. Variables de décision.....	48
III.5.5. Fonction objectif.....	49
III.5.6. Contraintes.....	49

III.5.7. Hypothèses.....	49
III.6. Résolution du problème localisation-allocation.....	49
III.6.1. Les classes utilisées.....	50
III.6.2. Approche Recuit simulé.....	50
III.6.3. Insertion des données.....	51
III.6.4. Des fonctions préliminaires.....	52
III.6.5. Nettoyage de l'espace de recherche. ....	52
III.6.6. Initialisation des attributs.....	52
III.6.7. La solution initiale.....	53
III.6.7.1. Algorithme de La solution initiale.....	53
III.6.7.2 Copie de la solution recuit.....	53
III.6.8. Algorithme du recuit simulé adopté.....	53
III.6.9. Passage de la solution actuelle vers une nouvelle solution voisine.....	54
III.6.9.1. Traitement du 1er cas.....	54
III.6.9.1.1. Définition des bacs a Délocalisé.....	54
III.6.9.1.2. Manipulation des bacs candidats.....	54
III.6.9.1.3. Transformation d'affectation des bâtiments.....	55
III.6.9.2. Traitement du 2er cas.....	55
III.6.9.2.1. La recherche des bâtiments à affecter.....	55
III.6.9.2.2. Annuler l'ancienne affectation des bâtiment stockés.....	55
III.6.9.2.3. Affectation des bâtiments stockés.....	55
III.6.10. Comparaison.....	55
III.6.11. Abaissement de la température.....	56
III.6.12. Critère d'arrêt.....	56
III.7. Exécution des modèles avec les approches de résolution.....	56
III.7.1. Les résultats d'exécution des Modèles. ....	56
III.7.1.1 Affichage du Modèle 1. ....	57
III.7.1.2. Affichage du Modèle 2. ....	57
III.7.1.3. Affichage du Modèle 3. ....	58
III.7.2. Les résultats d'exécution des cas d'études sélectionnées.....	59
III.7.2.1. Le premier cas d'étude.....	59

III.7.2.2. Le deuxième cas d'étude .....	60
III.7.2.3. L'interprétation des résultats traités sur Lingo et en JAVA.....	61
III.7.2.4. L'interprétation des solutions de problème .....	62
III.7.3. Une fitness Fonction objectif plus performante . .....	64
III.7.4. Les résultats d'exécution des cas d'études sélectionnées avec la nouvelle fitness. ....	65
III.7.4.1. Le premier cas traité avec la nouvelle fitness .....	65
III.7.4.1.1. L'interprétation des solutions de problème .....	65
III.7.4.2. La représentation spectrale .....	66
III.7.4.3. Le deuxième cas traité avec la nouvelle fitness .....	66
III.7.4.3.1. L'interprétation des solutions de problème .....	66
III.8. Conclusion .....	69

## Liste des abréviations :

**AND** : Agence Nationale des Déchets.  
**CET** : Centre d'Enfouissement Technique.  
**C** : carbone.  
**DAS** : Déchets d'Activités de Soins.  
**DIB** : Déchets Industriels Banals.  
**DIS** : Déchets Industriels Spéciaux.  
**DHR** : Déchets à Haut Risque.  
**DTQD** : Déchets Toxiques en Quantités Dispersées.  
**DM** : Déchets Ménagers.  
**JO** : Journal officiel.  
**N** : Azote.  
**OM** : Ordures Ménagers.  
**PCB** : Poly-Chloro Bi-vinyle.  
**PCS** : Le pouvoir Calorifique Supérieur.  
**PCI** : Le pouvoir Calorifique Inférieur.  
**SIG** : Système D'Information Géographique.  
**SN** : Service de nettoyage.  
**H** : Humidité.  
**VRP** : vehicle routing problem (problème de tournée de véhicule).  
**PVC** : problème du voyageur de commerce.  
**TSP** : Travelling Salesman Problem (problème du voyageur de commerce).  
 **$\Pi$**  : Problème d'optimisation.  
**A** : Algorithme de résolution de  $\Pi$ .  
**I** : Instance de  $\Pi$ .  
**A(I)** : Meilleure valeur trouvée par A pour l'instance I.  
**BKS(I)** : (Best Known Solution) Valeur de la meilleure solution connue pour I.  
**OPT(I)** : Valeur de la solution optimale pour l'instance I.  
**PL** : problème linéaire.  
**RO** : recherche opérationnelle.  
**RS** : recuit simulé.  
**NP** : non polynomiale.  
**Max** : maximiser.  
**Min** : minimiser.  
**Cap** : capacité.  
**S** : seconde.  
**M** : mètre.  
**min** : minute.  
**App** : application.  
**T<sub>finale</sub>** : Température finale.

## Liste des figures :

<b>Figure I.1</b> : composition des déchets ménagers.....	6
<b>Figure I.2</b> : Déchets industriels inoffensifs.....	7
<b>Figure I.3</b> : Déchets agricoles.....	7
<b>Figure I.4</b> : déchets hospitaliers.....	8
<b>Figure I.5</b> : Déchets dangereux.....	8
<b>Figure I.6</b> : déchets de piles.....	9
<b>Figure I.7</b> : les déchets inertes.....	10
<b>Figure I.8</b> : les déchets biodégradables.....	11
<b>Figure I.9</b> : les déchets recyclables.....	11
<b>Figure I.10</b> : les déchets spéciaux.....	12
<b>Figure I.11</b> : Cycle de vie du déchet.....	13
<b>Figure I.12</b> : Cycle de vie du déchet.....	13
<b>Figure I.13</b> : Cycle de vie du déchet.....	14
<b>Figure II.1</b> : Classification des méthodes d'optimisation combinatoire.....	28
<b>Figure II.2</b> : les étapes d'exécution de recuit simulé.....	35
<b>Figure II.3</b> : algorithme générale de recherche tabou.....	38
<b>Figure II.4</b> : Exemple de croisement un point.....	40
<b>Figure II.5</b> : Exemple de croisement deux points.....	40
<b>Figure II.6</b> : Exemple de croisement uniforme.....	42
<b>Figure II.7</b> : exemple de mutation.....	42
<b>Figure III.1</b> : Icone JAVA.....	46
<b>Figure III.2</b> : un schéma explicatif du fonctionnement du recuit simulé.....	51
<b>Figure III.3</b> : le résultat affiché par Lingo pour le 1 <sup>er</sup> Modèle.....	57
<b>Figure III.4</b> : le résultat affiché par Lingo du 2 <sup>ème</sup> Modèle.....	58
<b>Figure III.5</b> : le résultat affiché par LINGO du 3 <sup>ème</sup> Modèle.....	59
<b>Figure III.6</b> : le résultat affiché par LINGO.....	60
<b>Figure III.7</b> : le résultat affiché par Lingo.....	61
<b>Figure III.8</b> : Les Emplacements des bacs et les sites du Selon les resultats du programme JAVA sur QGIS selon street map.....	63
<b>Figure III.9</b> : Les Emplacements des sites et des bacs localisés Selon les resultats du programme JAVA sur QGIS selon google Hybrid map.....	64
<b>Figure III.10</b> : la variation de taux de remplissage selon les rayons spectraux.....	66
<b>Figure III.11</b> : Les Emplacements des bacs et les sites du Selon les resultats du programme JAVA sur QGIS selon street map.....	68
<b>Figure III.12</b> : les emplacements des bacs et les sites du Selon les resultats du programmes JAVA sur QGIS.....	69

## Liste des tableaux :

<b>Tableau III.1.</b> Affichage du 1 <sup>er</sup> Modèle.....	57
<b>Tableau III.2.</b> Affichage du 2 <sup>ème</sup> Modèle.....	57
<b>Tableau III.3.</b> Affichage du 3 <sup>ème</sup> Modèle.....	58
<b>Tableau III.4.</b> Affichage du 1 <sup>er</sup> cas d'étude.....	59
<b>Tableau III.4.</b> Affichage du 2 <sup>ème</sup> cas d'étude.....	60
<b>Tableau III.5.1</b> Affichage des bacs localisés avec 630 kg comme capacité et 100 m une distance entre les bacs (Fitness : $\sum$ Coût).....	64
<b>Tableau III.5.2</b> Affichage des bacs localisés avec 630 kg comme capacité et 100 m une distance entre les bacs (Fitness : Coût / Taux de remplissage).....	65
<b>Tableau III.5.3</b> Affichage des bacs localisés avec 630 kg comme capacité et 140 m une distance entre les bacs (Fitness : Coût / Taux de remplissage).....	67

:

## Introduction générale :

Depuis toujours, la façon dont le monde s'est développé a répondu aux attentes et aux besoins des gens. Il aspirait à un développement visant à promouvoir la croissance économique, ce qui a parfois nui à son environnement et à son écosystème. En effet, les besoins humains sont en constante augmentation, ce qui entraîne une dégradation continue de l'environnement, notamment en milieu urbain.

Mais à l'heure actuelle, les questions environnementales sont considérées comme un sujet majeur et la nécessité de la recherche. Personne au monde ne peut le nier. Les gouvernements du monde, les organismes internationaux, les entreprises, les collectivités locales et les organisations non gouvernementales recherchant un traitement optimal, de transport, de tri, de stockage, de recyclage et de valorisation. Ils sont aussi en quête de moyens et de solutions afin d'assurer un développement durable harmonieux et prospère pour notre planète, l'objectif étant de ne pas compromettre les besoins des générations futures.

Aujourd'hui, au niveau national, l'amélioration de la gestion des déchets ménagers est l'axe prioritaire de la politique environnementale du gouvernement. Elle a pour objectif d'introduire des technologies modernes de traitement et de mécanisation de la collecte, et de rechercher des solutions efficaces, moins coûteuses et moins polluantes, puis de Réaliser des évaluations et des tests pour l'intégrer dans un plan global de gestion saine et efficace des déchets ménagers.

Tlemcen, comme la plupart des villes algériennes, L'impact économique affecte directement la quantité de déchets ménagers, Les autorités de cette wilaya ont de grandes difficultés a contenir les quantité de déchets ménagers qui sont de plus en plus augmentante et à éliminer les risques engendré par l'exacerbation des quantité de décharges.

Suite aux travaux d'ingéniorat on a essayé de proposer et combiner entre le méta-heuristique dans la résolution de problème de localisation-allocation des bacs reliés à la collecte des déchets ménagers au niveau de la zone géographique d'Abou tachfine. Ce travail est fait afin d'avoir des résultats faisables en cas d'absence du résultat optimal fourni par le solveur numérique Lingo et pour avoir dépassé la limite Imposer par les solveurs numériques qui nous a obligé à travailler dans des intervalles très limités.

Ainsi et pour mieux visualiser et identifier les problèmes liés à la gestion des déchets ménagers au niveau d'Abou tachfine, on a eu recours aux Systèmes d'Information Géographiques (SIG). Ces derniers constituent des outils d'aide à la décision aux mains des gestionnaires locaux. Ils permettent d'élaborer des stratégies efficaces de collecte, d'évacuation et de traitement des déchets.

# Introduction générale

A cet effet notre mémoire est subdivisé en trois chapitres, nous avons mis en évidence l'étude de la gestion des déchets ménagers : l'état des lieux et des perspectives, Nous avons construit notre travail dans cette recherche en le divisant en trois chapitres comme suit :

Dans la première partie, nous présenterons les différentes notions de base dans le domaine des déchets ménagers.

Dans la deuxième partie, on a consacré le deuxième chapitre intégralement aux approches de résolution de problèmes d'Optimisation Combinatoire. Nous commençons par la présentation de problème d'optimisation et on donne leur classification, après nous expliquons le problème d'Optimisation Combinatoire et nous donnons quelques exemples célèbres de ce problème. Ensuite, nous passons aux méthodes exactes et approchées.

Dans Le troisième chapitre Nous proposons un nouveau modèle de résolution du problème de Localisation-Allocation. Le modèle développé constitue une combinaison entre deux algorithmes Glouton et le Recuit Simulé Adopté par JAVA avec des règles définies et les données utilisées. Et pour illustrer l'applicabilité des approches d'optimisation proposées par le solveur Lingo, nous présentons un panel d'expériences numériques et analyses, où nous comparons les résultats trouvés.

# Chapitre I : Généralité sur les déchets

### I.1-Notions et généralités sur les déchets :

#### I.1.1- Définition de déchet :

Un déchet peut être défini de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état des déchets.

La loi N° 01-19 du 12/12/ 2001 article 3 du journal officiel de la république algérienne N° 77 en 2001, définit le déchet comme : Tout résidu d'un processus de production, de Transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien Meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. La diversité des produits de consommation excède maintenant la biodiversité.

### I.2-Cadre réglementaire :

- **Loi N° 01-19 du 12 décembre 2001**, publiée dans le JO du 15 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, stipule dans son article 2 que « la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets reposent sur les principes suivants :

- La prévention et la réduction de la production et la nocivité des déchets à la source ;
- L'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- La valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;
- Le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- L'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques ». Dans ses articles 29 au 36, cette loi fixe les modalités de gestion des déchets ménagers et assimilés ;

- **Loi N° 03-10 du 19 juillet 2003**, parue dans le JO, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable

- **Loi N° 11-10 du 22 juin 2011**, parue dans le JO de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 03 juillet 2011 portant code communal, stipule dans son article 1 2 3 que « la commune veille, avec le concours des services techniques de l'État, au respect de la législation et de la réglementation en vigueur, relative à la préservation de l'hygiène et de la salubrité publique, en matière, notamment de distribution d'eau potable, d'évacuation et de traitement des eaux usées, de collecte, transport et traitement des déchets solides, lutter contre les vecteurs des maladies transmissibles, d'hygiène des aliments, des lieux et établissements accueillant le public, d'entretien de la voirie communale et de signalisation routière qui relève

de son réseau routier». Cette loi donne de ce fait obligation aux communes de gérer les déchets sur leurs territoires, et donc d'assurer leur collecte et leur traitement ;

- **Décret N° 02-175 du 20 mai 2002**, portant création, organisation et fonctionnement de l'Agence Nationale des Déchets ;

- **Décret exécutif N° 02-372 du 11 novembre 2002**, porte sur les déchets d'emballages. Il stipule notamment dans son article 3 que « le détenteur de déchets d'emballages est tenu ; soit de pourvoir lui-même à la valorisation de ses déchets d'emballages, soit de confier la prise en charge de cette obligation à une entreprise agréée ; soit d'adhérer au système public de reprise, de recyclage et de valorisation, créé à cet effet » ;

- **Décret N° 04-199 du 19 juillet 2004**, fixant les modalités de création, organisation, fonctionnement et de financement du système public de reprise et de valorisation des déchets d'emballages « Eco-Jem » ;

- **Décret exécutif N° 04-210 du 28 juillet 2004**, définit les modalités de détermination des caractéristiques techniques des emballages destinés à contenir directement des produits alimentaires ou des objets destinés à être manipulés par les enfants ;

- **Décret exécutif N° 04-410 du 14 décembre 2004**, fixe les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations ;

- **Décret exécutif N° 07-205 du 30 juin 2007**, fixe les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés ; - **Arrêté interministériel du 6 décembre 2004**, fixe les caractéristiques techniques des sacs plastiques destinés à contenir directement des produits alimentaires.

- **Arrêté interministériel du 6 décembre 2004**, fixe les caractéristiques techniques des sacs plastiques destinés à contenir directement des produits alimentaires.

### 1.3-Classification des déchets :

Quelque soit la nature des déchets (solides, liquides ou gazeux/nocif ou biodégradable); on peut les classer de plusieurs façons:

- Selon leur provenance
- Selon leur composition et leur propriété physique et chimique
- En fonction de l'activité à l'origine du déchet
- En fonction de sa nature
- En fonction de son mode d'élimination

#### 1.3.1-Classification en fonction de l'activité initiale du déchet :

##### a- Les déchets ménagers et assimilés :

Sont les déchets produits par les ménages, les commerçants, les artisans, et même les entreprises et industries à condition qu'ils ne soient pas considérés comme étant dangereux ou polluant (exemple: papiers, cartons, bois, verre, textiles, emballages, etc.). Si l'élimination de

ces déchets ne nécessitent pas une sujétion technique particulière et qu'ils ne représentent pas de risques pour les personnes qui se chargent de leur collecte et ne nuisent pas à l'environnement, ils seront collectés par la commune si non ce sera aux entreprises spécialisées de le faire.



Figure I.1 : composition des déchets ménagers.

### b- Les déchets industriels :

**Déchets industriels inoffensifs :** Il s'agit de déchets d'entreprises inoffensifs, également appelés déchets d'assimilation d'ordures ménagères.

**Déchets industriels dangereux ou spéciaux :** Ce sont les déchets de l'entreprise et ne peuvent être stockés dans des installations de stockage qui reçoivent d'autres types de déchets en raison de leurs caractéristiques dangereuses.



**Figure I.2 :** Déchets industriels inoffensifs.

**c- Les déchets agricoles :**

sont les déchets induit de l'activité agricole .Nous citons quelques exemples de déchets agricoles : déchets organiques (résidus de récolte, déjections animales).



**Figure I.3 :** Déchets agricoles.

**d- Les déchets hospitaliers :**

Il s'agit des déchets des hôpitaux et autres institutions médicales, des laboratoires et centres de recherche, des centres mortuaires et d'autopsie, des banques de sang et des services de collecte de sang.



**Figure I.4 :** déchets hospitaliers

### 1.3.2-Classification selon la nature du déchet :

#### a- Les déchets dangereux :

Si le déchet présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, il est considéré comme dangereux : explosif, oxydant, inflammable, irritant, nocif, toxique, cancérigène, corrosif, infectieux, mutagène, écologique.



**Figure I.5 :** Déchets dangereux.

### b- Les déchets toxiques en petites quantités :

Il s'agit d'une petite quantité de déchets dangereux générés par les ménages et les commerçants (garages, salons de coiffure, studios photo, imprimeries, laboratoires de recherche, etc.). Il peut s'agir de déchets ordinaires sales (chiffons, boîtes, etc.), de piles, de résidus de peinture, etc.



Figure I.6: déchets de piles.

### c- Les déchets non dangereux :

Les déchets non dangereux sont les déchets qui ne présentent aucune des caractéristiques relatives à la dangerosité mentionnées au préalable (toxique, explosif, corrosif, ...). Ce sont les déchets banals des entreprises, commerçants, et artisans (papiers, cartons, bois, textiles, ...) et les déchets ménagers.

### d- Les déchets inertes :

Un déchet inerte est un solide minéral qui ne subisse aucune transformation physique, chimique ou biologique importante comme Pavés, carrelage et gravats. Ces déchets proviennent des chantiers du bâtiment et travaux publics, des mines et des carrières.



**Figure I.7:** les déchets inertes

### **e- Les déchets ultimes**

Les déchets ultimes, qu'ils soient générés par le traitement des déchets ou non, ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques actuelles, notamment en extrayant des pièces recyclables ou en réduisant leur pollution ou leur caractère dangereux.

### **1.3.3-Classification selon le mode de traitement des déchets :**

#### **a- Les déchets biodégradables ou décomposables :**

On parle dans ce cas des résidus verts, boues d'épuration des eaux, restes alimentaires..., ces déchets sont entièrement ou partiellement détruits par la nature « biodégradation » (en général par des micro-organismes tels les bactéries et les champignons, et/ou par des réactions chimiques laissant des produits de dégradation identiques ou proches de ceux qu'on peut trouver dans la nature, parfois néanmoins contaminés par certains résidus) d'une façon relativement rapide.



**Figure I.8 : les déchets biodégradables**

**b- Les déchets recyclables :**

Comme les matières plastiques, verre, métaux. Ces déchets peuvent être réutilisés directement dans d'autres domaines ou recyclés.



**Figure I.9 : les déchets recyclables**

**c- Les déchets ultimes :**

Cette nomenclature englobe l'ensemble des déchets qui ne nécessitent plus un traitement dans les conditions techniques et économiques du moment. Ce sont les seuls déchets à être mis en décharge.

### **d-Les déchets spéciaux et déchets industriels spéciaux :**

Ces déchets comprennent tous les déchets qui représentent une menace capitale (les déchets toxiques, les déchets radioactifs et tous autres déchets nucléaires), ils devront être traités d'une façon particulière parce-que les enjeux dû à leur nocivité sont néfastes.



**Figure I.10 : les déchets spéciaux**

### **I.4-Nomenclature des déchets :**

Dans certains pays (comme la France), tous les déchets sont identifiés par un code à six chiffres. Les deux premiers chiffres désignent la catégorie d'origine, les deux suivants le regroupement intermédiaire et les deux derniers la désignation du déchet. Un astérisque (\*) est ajouté pour distinguer les déchets dangereux.

### **I.5-La notion de déchet ultime et le cycle de vie des déchets :**

La loi du 13 juillet 1992, s'appuyant sur la directive européenne de 1991, a rénové la loi cadre sur les déchets du 15 juillet 1975, en initiant une politique plus ambitieuse axée en particulier « sur le développement de la prévention, de la valorisation et du recyclage, avec pour corollaire la limitation du stockage des déchets ». A partir du 1er juillet 2002, ce stockage est réservé aux seuls déchets ultimes,

C'est à dire « ceux qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions économiques et techniques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ». Le déchet ultime constitue une référence importante pour le traitement. En effet, la loi du 13 juillet 1992 (article 2-1) stipule qu'à partir de juillet 2002, seuls les déchets ultimes seront admis dans les sites de stockage.

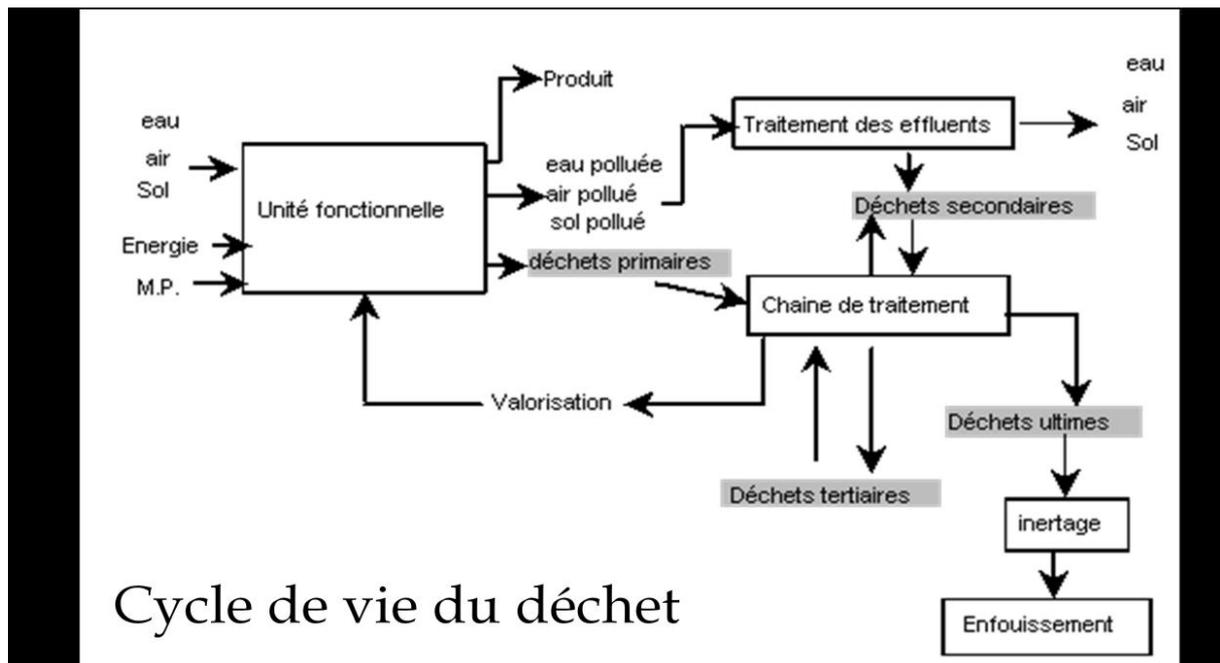


Figure I.11 : Cycle de vie du déchet

Source : Revue n°01 « Environnement et vie ».

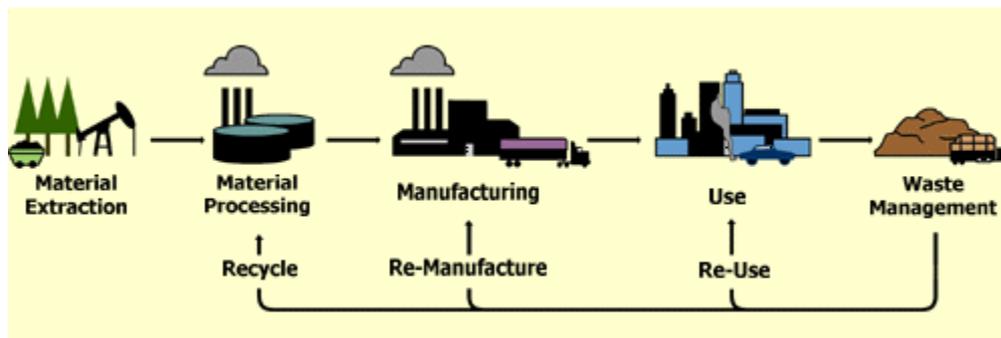


Figure I.12 : Cycle de vie du déchet

Source : Revue n°01 « Environnement et vie ».

Des déchets sont générés à tous les stades de la fabrication et de l'utilisation d'un produit.

C'est tout au bout du cycle de vie des produits que se situent les déchets ultimes

3-Les modes de collecte

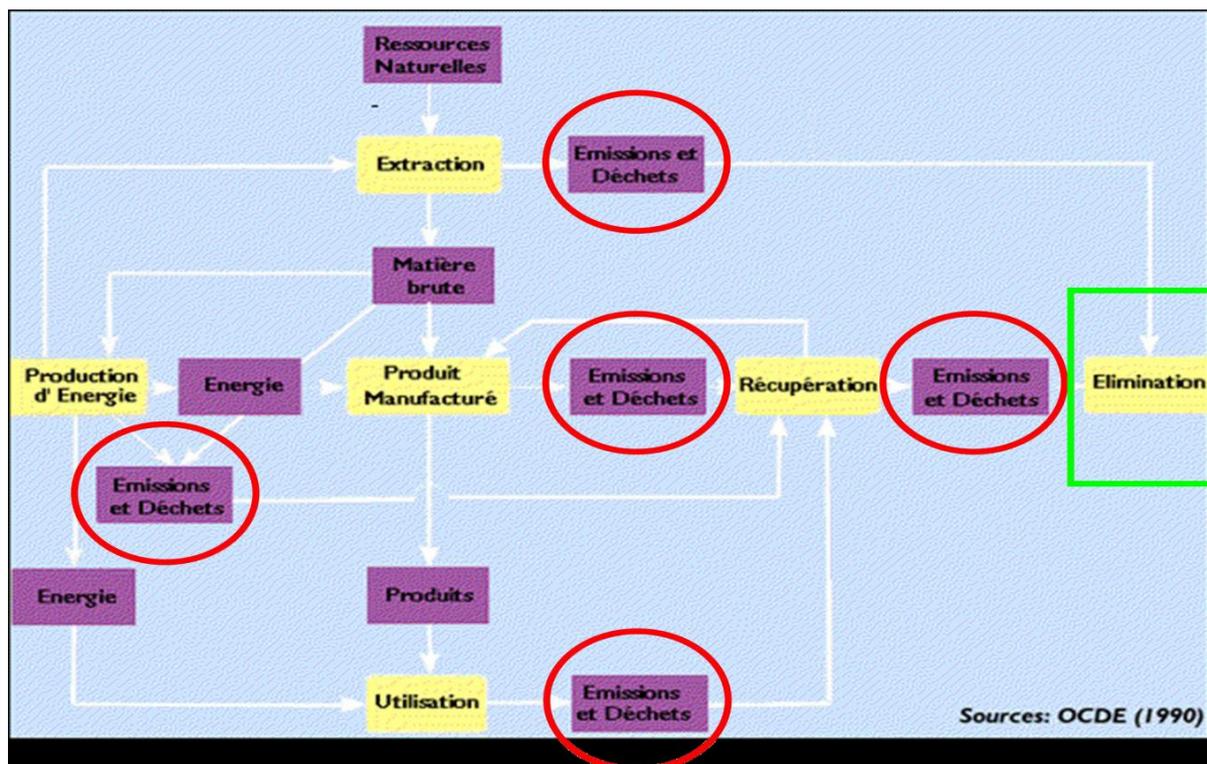


Figure I.13 : Cycle de vie du déchet

Source : OCDE 1990

## I.6-Classification réglementaire et législative des déchets :

Dans l'article 5, la loi 01/19 classe les déchets en trois grandes classes :

- Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux ;
- Les déchets ménagers et assimilés ;
- Les déchets inertes.

Les déchets sont de plus en plus: Abondants - Variés - Complexes - Nocifs, Académiquement les déchets produits peuvent être classés en cinq catégories :

- Ordures ménagères (OM) ;
- Déchets industriels banals (DIB) ;
- Les déchets industriels spéciaux (DIS) ;
- Les déchets d'activités de soin (DAS) ;
- Les déchets inertes. (JORADP N°77).

### a- Les Ordures ménagères (OM) :

Ce sont les déchets produits par les activités des ménages, les commerces, les collectivités et autres. Elles se composent essentiellement

de :

- \_ Matières organiques ;
- \_ Matières minérales (porcelaine, verre, métaux, cendres, etc.) ;
- \_ Déchets de cantine, de jardinage, des commerces, des administrations, des écoles, balayures de la voie publique ;
- \_ Les déchets de l'industrie alimentaire assimilés aux OM.

### b- Déchets Industriels Banals (DIB) :

Les **DIB** ou Déchets Industriels Banals sont définis comme étant des déchets issus des entreprises (commerce, artisanat, industrie, service) qui, par leur nature, peuvent être traités ou stockés dans les mêmes installations que les déchets ménagers ou OM. Ils contiennent les mêmes composantes mais dans des proportions différentes.

### c- Les déchets industriels spéciaux (DIS) :

**Définition** : On appelle Déchets Industriels Spéciaux, **DIS**, les déchets spécifiques potentiellement polluants pouvant contenir des éléments toxiques en quantités variables et présenter de ce fait des risques pour l'environnement s'ils ne sont pas traités ou stockés correctement (**ADEME, 2009**).

#### c.1- Les déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD) :

Au sein de la famille des (DTQD), on trouve :

- Les acides, les sels métalliques, les peintures.
  - Les piles, les batteries, les tubes fluorescents.
  - Les médicaments périmés, les produits chimiques de laboratoire
  - Les insecticides, les désherbants, les produits de nettoyage, les bains photographiques, etc.
- (**MATET, 2008**).

#### c.2- Les déchets à haut risque (DHR) :

Les DHR sont constitués pour l'essentiel des huiles contenant des (PCB) et des farines de viandes contaminées (ESB). Cette catégorie de déchets fait l'objet de contraintes (**MATET, 2008**).

#### c.3- Les déchets d'activité de soins (DAS) :

La famille des (DAS) regroupe (**ADEME, 2009**) :

- Les champs opératoires.
- Les seringues.
- Les gants et autre matériel à usage unique.
- Les déchets ultimes : déchets de l'incinération (cendres et mâchefer et autres déchets prétraités) (**MATET, 2008**).
- Les déchets inertes : tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction, ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique, ou biologique lors de leurs mises en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et / ou à l'environnement (**JORADPN°77**).

### I.7-Généralités sur les sacs composables :

Les matières plastiques présentent plusieurs avantages comparativement à d'autres matériaux, notamment leur faible coût d'élaboration, leur polyvalence et leur durabilité. Elles donnent lieu à un vaste éventail de polymères ayant des propriétés et des applications particulières et diversifiées, comparativement à d'autres matériaux. Toutefois, plusieurs critiques leur sont faites. En effet, les matières plastiques soulèvent des problèmes liés à l'environnement, à la santé, ainsi qu'à la gestion des matières résiduelles. Leur persistance dans l'environnement a

un impact notable sur la faune et sur la gestion en fin de vie de ces matières. Aussi, la présence d'additifs dans certains matériaux, comme les phtalates ou le bisphénol A, a suscité une vive controverse relativement à leurs risques toxicologiques. Plusieurs pays ont limité, voire banni, l'utilisation de certains produits plastiques. Les sacs en plastiques jetables, de même que les contenants en polystyrène expansé ont fait l'objet de telles

### **I.8-Déchets ménagers :**

Dans ce travail de recherche notre étude est centrée sur la problématique des déchets Ménagers et leur processus de la collecte tri-sélectif.

#### **I.8.1-Définition :**

Les déchets ménagers sont un mélange hétérogène de produits avec différentes propriétés physicochimiques. Leur composition est variable et dépend de la nature des produits, des coutumes de la population, du niveau de vie et du type d'habitat.

Selon (**Gillet, 1985**) les déchets ménagers sont l'ensemble de résidus hétérogènes dans lesquelles on trouve :

- ❖ Les débris de toute nature générés par les ménages (déchets de nourriture, de préparation de repas, balayures, textile, journaux .... Etc.)
- ❖ Les déchets de bureaux, commerces, industries et administrations, déchets des cours et jardins dans la mesure où ces déchets peuvent prendre place dans une limite à fixer, dans les récipients individuels ou collectifs aux fins d'enlèvement par les services municipaux.
- ❖ Les crottins, fumier, feuilles mortes, bois résidu du nettoyage et du balayage de la voirie, jardins, cimetières, parcs, etc., rassemblés aux fins d'évacuation.
- ❖ Les débris de foires, Souks et marchés, etc.
- ❖ Les résidus des collectivités (cantines, écoles, casernes, hospices, prisons ...etc.), ainsi que les résidus des hôpitaux ayant un caractère ménager que l'on rassemble dans des récipients appropriés.
- ❖ Tout objet abandonné sur la voie publique, ainsi que les cadavres des petits animaux.

#### **I.8.2-Composition :**

La connaissance de la production d'ordures ménagères est essentielle dans la planification d'un système de gestion. La quantité produite par collectivité est variable en fonction de plusieurs éléments. Elle dépend essentiellement, du niveau de vie de la population, de la saison, du mode de vie des habitants, du mouvement des populations pendant la période des vacances, les fins de semaines et les jours fériés, du climat. Elle peut être exprimée En poids ou en volume, seul le poids constitue une donnée précise et facilement mesurable.

#### **❖ Composition physico-chimique des déchets ménagers (Mezouari et al,2011)**

La connaissance de la composition des déchets est indispensable pour leur

gestion. Elle permet de choisir et de dimensionner correctement les outils de collecte, de traitement et d'élimination, et aussi de connaître la destination des :

- Parts pouvant être recyclées.
- Parts appropriés au compostage.
- Types et quantités appropriés à une valorisation matérielle ou énergétique ;
- Quantités de déchets ultimes destinées à l'incinération ou à la décharge.

❖ **Composition physique** : La composition physique des ordures ménagères est la répartition selon des catégories spécifiques comme les plastiques, papiers, cartons, textiles, verres, métaux, ...etc. (Mezouari et al, 2011). Les variations de composition peuvent provenir de la méthode même d'évaluation de la production des déchets : évaluation au sein de foyers, ou évaluation à l'année sur le site de regroupement, de transfert ou de traitement, dans ce cas il faut tenir compte du secteur informel, qui recycle une partie des déchets produits (Mezouari et al, 2011).

❖ **Composition chimique** : La composition chimique, c'est-à-dire la teneur en eau et Celle en matière organique déterminée respectivement par évaporation et par calcination. Ainsi les teneurs en carbone et en azote, et le rapport C/N paramètres importants pour le compostage.



### I.8.3-Caractéristiques :

❖ **Caractéristiques physico-chimique** :

❖ **La densité (ou masse volumique)** : La densité met en évidence la relation qui existe entre la masse des déchets ménagers et le volume qu'elle occupe. Sa connaissance est essentielle pour le choix comme les ordures ménagères sont essentiellement compressibles, leur densité varie au cours des différentes manipulations auxquelles elles sont soumises (Gillet, 1985).

**Remarque** : En règle générale, la densité en poubelle est d'autant moins grande que les Ordures proviennent de quartiers ou le standard de vie est plus élevé.

❖ **L'humidité et le pouvoir calorifique**

➤ **L'humidité (H en %)** : L'eau est le plus important facteur d'influence de la sensibilisation des déchets, le taux d'humidité affecte particulièrement la vitesse de la dégradation du massif la circulation de l'eau dans les déchets joue aussi un rôle prépondérant en assurant la dispersion des micro-organismes et des nutriments. Dans les régions arides et semi-arides dans lesquelles sont couples un manque d'eau et une forte chaleur, le temps de dégradation est augmenté car la dégradation des déchets est limitée aux périodes humides (ADEME, 2009).

➤ **Le pouvoir calorifique** : En matière de déchets ménagers considérés comme Combustibles, on utilise soit:

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) : qui prend en compte la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans les déchets ménagers pendant la combustion.

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) : qui ne tient pas compte de la chaleur de Vaporisation de cette eau pendant la combustion.

C'est ce dernier le (PCI) qui est d'usage dans les pays méditerranéens.

En règle générale, le (PCI) est inversement proportionnel à l'humidité.

Les déchets ménagers n'ont jamais été un bon combustible, mais lorsqu'elles contiennent Plus de **50%** d'humidité, elles sont réellement impropres à l'incinération et c'est là le cas des déchets ménagers en Algérie. Donc la connaissance des deux paramètres (**P.C.I. et H%**) sont étroitement liés et leur connaissance est essentielle pour le choix du mode de traitement (incinération ou compostage...) (**Gillet, 1985**).

❖ **Le rapport carbone/azote (C/N)** : Ce paramètre mesure la qualité des ordures Ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques, c'est à dire qu'il permet d'apprécier aussi bien l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du compost obtenu. Un compost est valable à partir du rapport  $C/N < 35$  au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant un rapport de  $18 \leq C/N \leq 20$ . En Algérie le C/N dépasse rarement 15 (**Gillet R, 1985**).

❖ **La température** : Elle influence également sur la vitesse de dégradation en effectuant le développement des bactéries et des réactions chimiques, Etant donné que chaque micro-organisme possède une température optimale de développement donc toute variation de température peut engendrer un déclin de croissance (**ADEME,2009**).

### I.9-Gestion des déchets :

La loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue dans le JO de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001 relative à la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets, précise dans son article 3 que « la gestion des déchets, est toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations ».

#### I.9.1-Le tri sélectif

Selon **Desachy (2001)** le tri peut être envisagé à plusieurs niveaux de la filière d'élimination :

- À la source lorsqu'il est réalisé par le ménage ;
- Dans un centre de tri lorsque les déchets ont été collectés en mélange.

Pour effectuer un tri à la source, il faut que l'utilisateur ait à sa disposition plusieurs poubelles ou divers conteneurs et qu'une collecte sélective soit mise en place parallèlement à la collecte traditionnelle. Le tri peut se faire en deux catégories (une que l'on veut valoriser et le reste qu'il faudra traiter) ou en de plus nombreuses catégories.

#### I.9.2-Collecte des déchets

Selon la loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue dans le JO de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001 relative à la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets, stipule dans son article 3 que « la collecte, est le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transport vers un lieu de traitement ». On distingue plusieurs types de collecte qui sont :

##### I.9.2.1-Collecte en mélange « porte à porte » :

C'est la collecte traditionnelle : sacs plastiques ou tous autres récipients (poubelles en forme de lessiveuse, cartons, petits containers, etc.) contenant des ordures non triées, déposés devant les maisons et ramassées à jours fixe (Balet, 2008).

### **I.9.2.2-Collecte sélective par apport volontaire :**

C'est la collecte traditionnelle : sacs plastiques ou tous autres récipients (poubelles en forme de lessiveuse, cartons, petits containers, etc.) contenant des ordures non triées, déposés devant les maisons et ramassées à jours fixe (Balet, 2008).

### **I.9.2.3-Collecte sélective « porte à porte » :**

Ce mode de collecte, permet de collecter séparément une partie des déchets disposés dans ces conteneurs spécifiques jusqu'à leur livraison vers un centre de tri, de traitement ou de stockage (Damien, 2004).

### **I.9.2.4-Collecte par points de regroupement :**

Qui consiste à établir et mettre à disposition du public un certain nombre de lieux de réception convenablement choisis, constitués soit par des bacs roulants ou des conteneurs mis en place et vidés ou enlevés périodiquement, soit par une aire de regroupement de sacs perdus enlevés périodiquement. La collecte par points de regroupement implique pour les usagers l'obligation d'apporter eux-mêmes leurs déchets aux lieux de réception (Desachy, 2001).

### **I.9.3-Transport :**

Après leurs collectes, les déchets sont évacués vers les lieux de traitement et de stockage. Il existe une grande variété de véhicules de collecte et d'options sur les équipements de transport :

- Camion de collecte avec benne tasseuse ;
- Camion de collecte avec carrosserie fermée et compression des déchets ;
- Camion de collecte avec équipement hydraulique de chargement et de compression ;
- Camion pour collecte sélective muni d'une grue pour l'enlèvement des conteneurs spécialisés (M.A.T.E, 2001).

### **I.9.4-Stockage :**

Le stockage constitue le dernier maillon de la filière de tri et de traitement des déchets (Balet, 2008).

### **I.9.5-Installations de collecte et de traitement :**

Il existe plusieurs installations de collecte et de traitement :

#### **I.9.5.1-Station de transit (centre de transfert) :**

Une station de transit ou centre de transfert est une installation intermédiaire entre la collecte par benne des déchets ménagers et leur transport vers un centre de traitement. Les déchets acheminés par les véhicules de collecte, y sont regroupés et stockés dans une fosse ou sur des aires ou dans des conteneurs de grande capacité ; ils sont éventuellement compactés puis transférés par des véhicules de grande capacité (camions gros porteur, chemin de fer, péniche) vers le centre de traitement (**Desachy, 2001**).

### **I.9.5.2-Centre de tri :**

Lieu où s'effectuent le tri industriel et le conditionnement des déchets par type de matériau avant leur valorisation, traitement ou élimination. Après passage, contrôle de la radioactivité et identification de leur origine, les déchets sont réceptionnés et déposés dans la zone de stockage. Ils sont acheminés ensuite par un tapis roulant jusqu'aux premiers postes de pré-tri où les refus et les cartons d'emballages sont retirés au fur et à mesure. Ces matériaux recyclables sont triés en partie réalisée mécaniquement par détection optique ou par magnétisme et en partie manuellement. Chaque type de déchet est séparé et stocké provisoirement dans des bennes. Les refus de tri sont évacués vers les centres d'enfouissement techniques ou les installations d'incinération (**Addou, 2009**).

### **I.9.5.3-Centres d'enfouissement technique (CET) :**

Appelés aussi décharges contrôlées, qui est un site de stockage des déchets de qualités géologiques convenables où les déchets sont disposés en couches minces, recouvertes de terre ou compactées par des engins spéciaux. Cette meilleure utilisation du terrain peut cependant, entraîner la production de gaz et d'un liquide, le lixiviat, qu'il faut traiter selon les techniques d'aujourd'hui bien maîtrisées (**Koller, 2004**).

Selon **Balet (2008)** on distingue trois types de **CET** selon la nature des déchets concernés :

- **Classe 1** : réservée aux déchets industriels spéciaux ou toxiques ;
- **Classe 2** : réservée aux déchets ménagers et assimilés ;
- **Classe 3** : réservée aux déchets inertes.

### **I.9.5.4-Déchetteries :**

Les déchetteries sont des lieux fermés, clôturés et gardés. Leur rôle principal est la prévention des décharges sauvages. Elles jouent un rôle primordial dans l'orientation des déchets vers les centres de traitements. Elles doivent être bien dimensionnées et situées proches des lieux d'habitation des usagers (**Duval, 2004**).

### **I.9.6-Valorisation des déchets :**

La valorisation des déchets est définie comme un mode de traitement qui consiste dans « le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie » (**Addou, 2009**). On distingue cinq types de valorisation :

### **I.9.6.1-Compostage :**

Selon **Mustin (1987)** le compostage est un procédé biologique en aérobie contrôlé de conversion et de valorisation de substrats organiques en un produit stabilisé, hygiénique et riche en composés humiques appelé le compost.

### **I.9.6.2-Méthanisation :**

La méthanisation ou digestion est un procédé anaérobie de dégradation biologique qui transforme la matière organique en biogaz (méthane et dioxyde de carbone) par une flore microbienne complexe et spécifique (**Addou, 2009**).

### **I.9.6.3-Incinération :**

L'incinération est un procédé de traitement thermique des déchets en présence d'oxygène de l'aire. Elle consiste en une oxydation des déchets, à haute température, dans des fours spécialement adaptés aux caractéristiques des déchets. Cette dernière permet de produire par tonnes de déchets 2 tonnes de vapeur, qui peut être transformée en eau chaude et injectée dans un réseau de chauffage ou une turbine en vue de produire de l'électricité(**Koller, 2004**).

### **I.9.6.4-Thermolyse (Pyrolyse) :**

La thermolyse est un procédé de traitement en l'absence d'oxygène et qui nécessite un apport de chaleur (réaction endothermique), cette chaleur est généralement produite par combustion d'une fraction des sous-produits carbonés de la dégradation thermique. On destine à la pyrolyse les déchets organiques présentant des difficultés lors de l'incinération (corrosion du four, colmatage de la grille et formation de cendres trop importantes) (**Damien, 2004**).

### **I.9.6.5-Recyclage :**

Selon **Moletta (2009)** le recyclage d'un déchet consiste à réutiliser la ou les différentes matières qui entrent dans sa composition ce qui permet d'économiser des matières premières et de l'énergie, les principaux matériaux recyclables sont les matières plastiques, l'aluminium, l'acier, le verre, le papier et le carton. Des objets composés d'un seul matériau, comme les bouteilles de verre ou de plastique, peuvent être facilement recyclés. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables, mais en pratique ils ne sont pas tous recyclés. En effet, le recyclage nécessite de mettre en place une collecte sélective et un tri pour séparer les matériaux en fonction de leur nature. Il faut de plus que cette filière de recyclage puisse être rentabilisée. C'est pour cela par exemple que les pots de yaourt ou de fromage blanc ne sont pas acceptés par la collecte sélective : il n'y a pas assez de matières à récupérer pour rentabiliser le recyclage. Les matériaux collectés sélectivement vont subir des transformations permettant de concevoir de nouveaux produits (**Moletta, 2009**).

## **I.10-Conséquences de la mauvaise gestion des déchets :**

La loi N° 01-19 du 12 décembre 2001, parue dans le journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire du 15 décembre 2001 relative à la gestion, le contrôle

et l'élimination des déchets, précise dans son article 11 que « la valorisation et/ou l'élimination des déchets s'effectue dans des conditions conformes aux normes de l'environnement, et ce notamment sans:

- Mettre en danger la santé des personnes, des animaux et sans constituer des risques pour les ressources en eau, le sol ou l'air, ni pour la faune et la flore ;
- Provoquer des incommodités par le bruit ou les odeurs ;
- Porter atteinte aux paysages et aux sites présentant un intérêt particulier ».

❖ Il existe divers impacts liés aux déchets :

### **I.10.1-Impacts environnementaux :**

Les principaux risques liés aux déchets pour l'environnement sont :

#### **I.10.1.1-Pollution de l'air :**

Certains déchets sont susceptibles de polluer directement l'air si au contact de l'air ou de l'eau ou d'un acide ils dégagent un gaz toxique. Mais ils peuvent participer indirectement à la pollution atmosphérique lorsque leur traitement par incinération est réalisé dans de mauvaises conditions. Le méthane que dégagent certaines décharges de déchets qui n'ont pas été préalablement traités contribue de façon non négligeable à l'effet de serre ; les conséquences prévues sont des perturbations du climat à l'échelle de la planète (**Desachy, 2001**).

#### **I.10.1.2-Pollution de l'eau :**

Selon **Desachy (2001)** l'eau est le principal vecteur de la pollution générée par les déchets abandonnés ou éliminés dans des conditions écologiquement peu satisfaisantes :

- La pollution d'une rivière par un rejet inconsidéré de déchets est bien connue parce que ses conséquences apparaissent sans tarder : mort des poissons, eutrophisation ;
- La dégradation de la qualité des eaux souterraines dues à l'infiltration d'eaux polluées par des déchets, car elle est moins visible mais peut toucher les nappes phréatiques qui contribuent à l'alimentation en eau destinée à la boisson.

#### **I.10.1.3-Pollution du sol :**

C'est à partir de la surface des sols que sont émis les polluants et par elle qu'ils transitent souvent avant de passer dans l'hydrosphère. Elle occupe aussi une position clef dans les échanges et donc les pollutions avec les autres milieux. Étant donné que le sol constitue le support indispensable aux animaux et végétaux terrestres et à l'homme, toute pollution du sol retentira sur la flore, la faune et sur l'homme lui-même (**Koller, 2004**).

### **I.10.2-Impacts et risques sanitaires :**

Selon **Turlan (2013)** la gestion des déchets, en partant de la collecte, en passant par le transport pour enfin arriver aux filières de traitement ; pose un problème d'exposition pour les populations (travailleurs, riverains, usagers). En effet, l'homme peut être exposé à des nuisances et/ou à des substances dangereuses émises par les installations de traitement des déchets. Les voies d'expositions sont multiples :

- Voie directe : inhalation de gaz, particules ou bio aérosols émis dans l'atmosphère, ou particules présentes sur le sol remises en suspension ;
- Voie indirecte : ingestion d'aliments, d'eau issus de sols contaminés (rejets liquides ou retombées atmosphériques).

**I.10.3-Impacts économiques** : La production de déchets pose de sérieux problèmes d'élimination compte tenu des quantités en cause et de la toxicité de certains d'entre eux : source de risques pour l'environnement et pour les individus, elle s'accompagne aussi d'un gaspillage important de matière, de devises, d'énergie et de possibilité d'emploi (**Desachy, 2001**).

### **I.11.conclusion :**

Ce premier chapitre a été consacré à des généralités, après un avoir donné des définitions au terme déchet, nous avons exposé les différents types de dernier. Par la suite nous avons exploré les déchets ménagers, leurs compositions et leur caractéristique.

La section troisième a été consacrée aux généralités sur les sachets compostables. Après nous avons exposé les différents modes de traitement et valorisation des déchets, ensuite nous avons abordé le principe de la gestion des déchets qui regroupe la collecte et le tri, cette partie a détaillé les différents étapes et modes de collecte et de tri.

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

### II.1. Introduction :

Un problème d'optimisation combinatoire, est un problème mathématique qui consiste à déterminer la meilleure solution parmi un ensemble fini de solutions réalisables. De nombreux problèmes font partie de cette branche et parmi eux nous retrouvons le problème de localisation.

Ce chapitre est consacré intégralement aux approches de résolution de problèmes d'Optimisation Combinatoire. Nous commençons par la présentation de problème d'optimisation et on donne leur classification, après nous expliquons le problème d'Optimisation Combinatoire et nous donnons quelques exemples célèbres de ce problème. Ensuite, nous passons aux méthodes exactes et approchées.

Nous donnons une description générale des approches heuristiques et méta-heuristiques et nous présentons leurs concepts communs. Puis, nous distinguons les différents types d'approches selon le nombre de solutions manipulées à chaque itération (S-Méta-heuristique et P-Métaheuristique). Nous terminons par une conclusion sur les avantages et inconvénients de chacune des approches.

### II.2. Définition d'un problème d'optimisation :

1. Un **espace de recherche (de décision)** : est un ensemble de solutions ou de configurations finis ou dénombrables constitué des différentes valeurs prises par **les variables de décision**. Ces derniers peuvent être de nature diverse (réelle, entière, booléenne . . . etc.) et exprimer des données qualitatives ou quantitatives.
2. Une ou plusieurs **fonction(s)** dite **objectif(s)** à optimiser (minimiser ou maximiser).
3. Un ensemble de **contraintes** à respecter. Cet ensemble définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité ( $<>$  ou  $=$ ) et permettent en général de limiter l'espace de recherche (solutions réalisables).

La résolution optimale du problème consiste à trouver un point ou un ensemble de points de l'espace de recherche qui réalise la meilleure valeur de la fonction objective. Le résultat est appelé **valeur optimale** ou **optimum** [II.1].

### II.3. Classification d'un problème d'optimisation :

Les problèmes d'optimisation sont classés selon :

1. Le domaine des variables de décision est :
  - ✓ Soit Continu et on parle alors de problème continu.
  - ✓ Soit discret et on parle donc de **problème combinatoire**.
2. La nature de la fonction objective à optimiser :
  - ✓ Soit linéaire et on parle alors de **problème linéaire**.
  - ✓ Soit non linéaire et on parle donc de **problème non linéaire**.

3. Le nombre de fonctions objectifs à optimiser :
  - ✓ Soit une fonction scalaire et on parle de problème **mono-objectif**.
  - ✓ Soit une fonction vectorielle et on parle donc de problème **multi objectif**.
4. La présence ou non des contraintes :
  - ✓ On parle de problème **sans contrainte**.
  - ✓ On parle de problème **avec contrainte**.
5. Sa taille :
  - ✓ Problème de **petite taille**.
  - ✓ Problème de **grande taille**.
6. L'environnement :
  - ✓ **Dynamique**.
  - ✓ **Statique**.

### II.4. Définition d'un problème d'optimisation combinatoire :

Le domaine de l'optimisation combinatoire est un domaine très important, il est situé au carrefour de la recherche opérationnelle, mathématique et informatique. Son importance est expliquée par la grande difficulté posée par les problèmes d'optimisation d'une part, et par le nombre important des applications pratiques pouvant être formulées sous forme de problèmes d'optimisation combinatoires.

On qualifie généralement de "combinatoires" les problèmes dont la résolution se ramène à l'examen d'un nombre fini de combinaisons. Bien souvent cette résolution se heurte à une explosion du nombre de combinaisons à explorer.

Un problème d'optimisation combinatoire peut être défini comme suit :

Étant donné un ensemble  $X$  de combinaisons, et une fonction  $f: X \rightarrow \mathbb{R}$  il s'agit de trouver la combinaison de  $X$  minimisant  $f$ , i.e. ;  $x^* \in X$ .

$$f(x^*) \leq f(x_i),$$

pour tout  $x_i \in X$

### II.5. Problèmes célèbres en Optimisation Combinatoire :

L'optimisation combinatoire englobe une classe importante des problèmes de la recherche opérationnelle. Il nous est impossible de les énumérer de manière exhaustive mais nous en citons les plus fréquents.

#### ❖ Problème du Sac à Dos :

L'énoncé de ce problème fameux en optimisation combinatoire est simple : étant donné un ensemble d'objets chacun possédant un poids et une valeur et étant donné une capacité pour le sac, quels objets doit-on mettre dans le sac de manière à maximiser la valeur totale sans dépasser la capacité du sac.

#### ❖ Problème de Bin Packing :

Il s'agit de trouver le nombre minimum de boîtes de capacité fixe pour emballer un ensemble d'éléments de tailles différentes sans que la capacité des boîtes soit excédée.

### ❖ **Problème d'Affectation :**

L'objectif, d'un problème d'affectation, est d'affecter un ensemble d'éléments (objets, tâches, endroits, . . .) à un ensemble d'individus (machines, endroits, . . .) de sorte que le produit du flot circulant entre ces différents endroits et la distance les séparant soit minimisée. Par exemple, la répartition de bâtiments dans un espace donné en fonction du nombre de personnes amenées à circuler entre ces bâtiments, ou la répartition des modules électroniques sur une carte en fonction du nombre de connexions les liant les uns aux autres.

### ❖ **Problème d'Emploi du Temps :**

Ce problème a plusieurs variantes, selon le domaine d'application, leur point commun est d'élaborer la planification de l'activité de l'individu au cours du temps. La solution est affichée sous forme de tableau à deux dimensions dans lequel on associe les lignes aux personnes et les colonnes aux périodes horaires.

### ❖ **Problème d'Ordonnement des Taches :**

Il consiste à définir dans quel ordre, exécuter un ensemble de tâches T sur un ensemble de machines M, de sorte qu'une machine exécute une et une seule tâche et que l'ensemble des tâches soit exécuté en un minimum de temps.

### ❖ **Problèmes Liés à la Théorie des Graphes :**

Nous citons les problèmes de couplage, de couverture de sommets, de coloration de graphes, de stable maximum, le problème de voyageur de commerce (PVC) et le problème de tournées de véhicules (VRP), qui a pour objectif le service d'un ensemble des clients en parcourant une longueur minimale.

## **II.6. Approches de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire :**

Résoudre un problème d'optimisation combinatoire nécessite l'étude de trois points suivants[II .2 ] :

- La définition de l'ensemble des solutions réalisables des contraintes à respecter.
- L'expression de l'objectif à optimiser.
- Le choix de la méthode d'optimisation à utiliser.

Les deux premiers points relèvent de la modélisation du problème, le troisième de sa résolution. Ceci ne peut être fait qu'avec une bonne connaissance du problème étudié et de son domaine d'application.

Le choix de l'objectif à optimiser requiert également une bonne connaissance du problème. La définition de la fonction objective mérite toute l'attention de l'analyste

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

car rien ne sert de développer de bonnes méthodes d'optimisation si l'objectif à optimiser n'est pas bien défini.

Les méthodes d'optimisation combinatoire peuvent être réparties en deux grandes classes [II .3 ]:

- ✓ Les méthodes exactes.
- ✓ Les méthodes approchées.

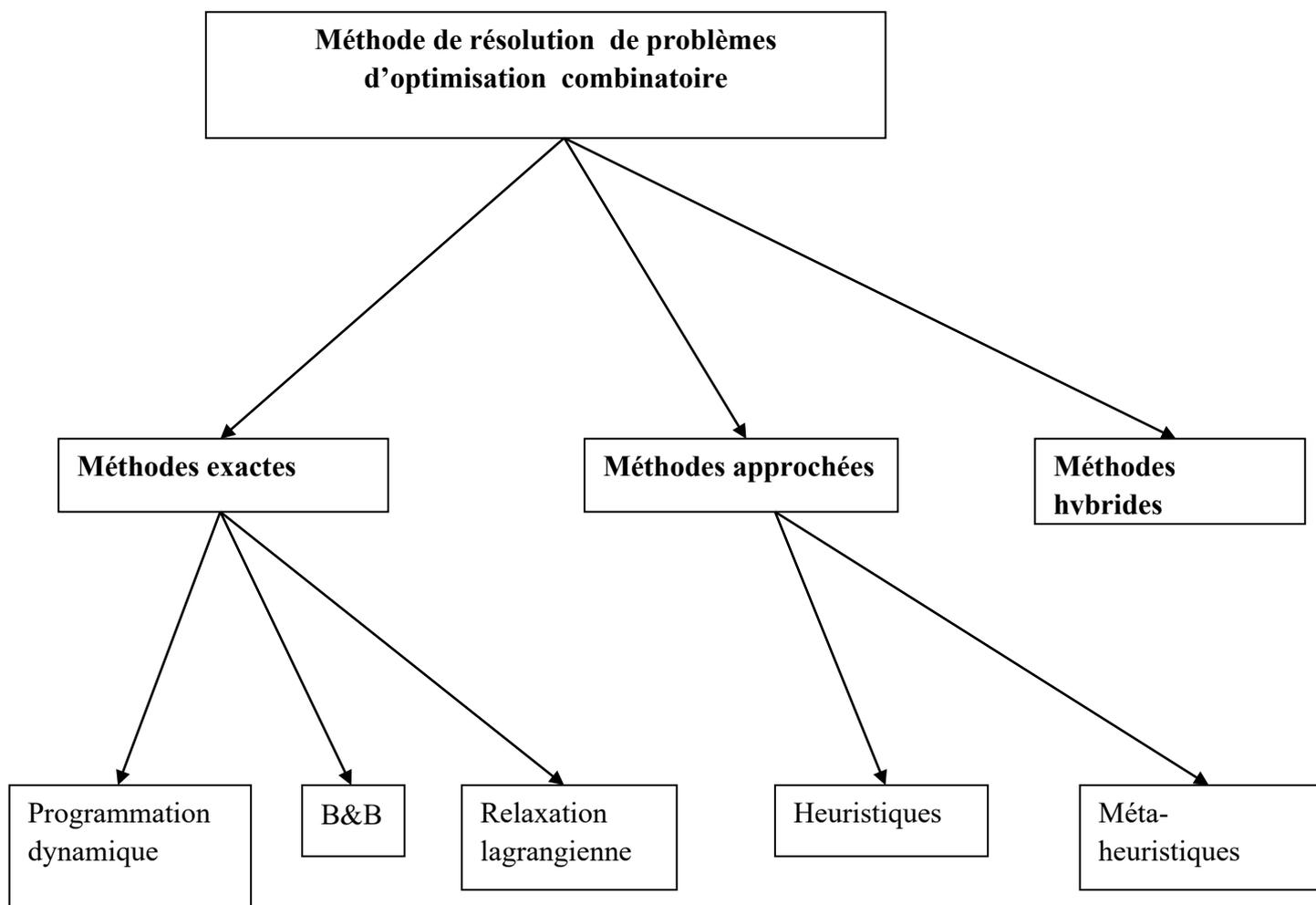


Figure II.1 : Classification des méthodes d'optimisation combinatoire.

### II.6.1. Méthodes de résolution :

#### II.6.1.1. Méthodes exactes :

### II.6.1.1.1. Branch and Bound :

La méthode de séparation et évaluation connue sous son appellation anglaise Branch and Bound (B&B) ,est la méthode de résolution la plus populaire pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire, notamment ceux réputés pour leur difficulté et leur caractère compliqué. Cette méthode est basée sur une recherche arborescente d'une solution optimale par séparation et évaluation. La méthode de Branch and Bound tente d'explorer intelligemment l'ensemble des solutions admissibles en éliminant de l'espace de recherche les sous-ensembles de solutions qui ne permettent pas d'aboutir à une solution optimale.

### II.6.1.1.2. Programmation dynamique :

La programmation dynamique est une approche d'optimisation dont le but est de passer d'un problème complexe à une séquence de problèmes plus simples; sa caractéristique essentielle est la nature en plusieurs étapes de la procédure d'optimisation.

La programmation dynamique crée par le mathématicien américain Richard Bellman, est une méthode d'optimisation mathématique et de programmation informatique. Le terme programmation dynamique a été inventé par Richard Bellman dans les années 40. Il a utilisé cet algorithme pour décrire le processus de résolution d'un problème où l'on est invité à trouver la meilleure décision à chaque étape. Cette approche se compose des étapes suivantes:

- décomposer le problème donné en un nombre de sous-problèmes.
- résoudre ces sous-problèmes.
- combiner leurs solutions afin de trouver une solution globale.

### II.6.1.2. Méthodes approchées :

#### II.6.1.2.1. Les heuristiques :

Le terme heuristique vient du verbe grec heuriskein signifiant trouver. Une heuristique permet de trouver une "bonne" solution, en un temps raisonnable, seulement elle n'offre aucune garantie sur l'optimalité de la solution trouvée. Selon Feignebaum et Feldman (1963), une heuristique est une règle d'estimation, une stratégie, une astuce ou bien une simplification, qui limite la recherche de bonnes solutions dans l'espace des configurations de façon ahurissante.

La performance d'une heuristique apparait essentiellement, en sa complexité spatiale et temporelle, et en sa simplicité et facilité d'implémentation. Sa flexibilité et son débit de génération de solutions sont aussi des critères de performance d'une approche Heuristique. Néanmoins, il est impossible d'évaluer théoriquement avec exactitude les performances d'une heuristique.

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

Selon le processus de génération de solutions, nous distinguons principalement trois types d'heuristiques :

➤ **Heuristiques constructives** : A fur et à mesure d'itérer le processus, la solution se construit. La solution ne peut être complètement définie qu'à la fin du processus. Par exemple nous citons les algorithmes gloutons, le plus proche voisin ou le plus lointain voisin. . . .

Les heuristiques constructives peuvent être vues comme des « recettes » pour construire une solution. Elles sont soit issues de principes empiriques, soit de tâtonnements effectués, ou alors construites spécifiquement pour garantir un meilleur rapport possible à l'optimum.

➤ **Heuristiques d'amélioration** : Elles nécessitent une solution de départ, qui s'améliore au cours du déroulement de l'algorithme, comme les algorithmes de recherche locale.

➤ **Heuristiques de deux phases** : Elles consistent en premier à générer une ou plusieurs solutions, auxquelles on applique une procédure d'amélioration.

### II.6.1.2.2. Performance d'une heuristique :

Soit :

- $\Pi$  : Problème d'optimisation ;
- A : Algorithme de résolution de  $\Pi$ ;
- I : Instance de  $\Pi$ ;
- $A(I)$  : Meilleure valeur trouvée par A pour l'instance I ;
- $BKS(I)$  (Best Known Solution) : Valeur de la meilleure solution connue pour I ;
- $OPT(I)$  : Valeur de la solution optimale pour l'instance I

La qualité d'une heuristique A mesurable selon :

- ✓ Précision : Ecart relatif entre  $A(I)$  et  $BKS$  ;
- ✓ Temps de calcul : C'est le temps que prend A pour trouver  $A(I)$  ;
- ✓ Simplicité : On préfère que A soit *simple à comprendre* et surtout *facile à programmer* ;
- ✓ Flexibilité : *Capacité d'adaptation* de A à des contraintes supplémentaire ou à un objectif différent.

### II.6.1.2.3. Les Méta- heuristiques :

#### II.6.1.2.3.1. Définitions :

Le terme méta-heuristique vient des mots grecs meta (au delà) et heuriskein (trouver).

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

La différence entre les heuristiques et les méta-heuristiques c'est que une heuristique est une technique de résolution spécialisée à un problème. Elle ne garantit pas la qualité du point obtenu. Une méta-heuristique est une heuristique générique qu'il faut adapter à chaque problème.

Les Méta-heuristiques sont des méthodes se voulant le plus générique possible, pouvant être utilisées pour la résolution de nombreux problèmes d'optimisation difficile (souvent issus des domaines de la recherche opérationnelle, de l'ingénierie ou de l'intelligence artificielle). Contrairement aux heuristiques précédemment décrites, elles ne comportent dans leurs principes généraux aucune spécificité relative au VRP (apprendre les caractéristiques d'un problème afin d'en trouver une approximation de la meilleure solution). La plupart du temps, les Méta-heuristiques sont généralement des algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global. Il en existe une très grande variété et certaines occupent une place importante dans la littérature relative au VRP. Elles sont décrites par la suite, regroupées en deux grandes catégories selon qu'elles sont à base de populations ou de recherche locale.

Les méta-heuristiques se caractérisant par leur capacité à résoudre des problèmes très divers, elles se prêtent naturellement à des extensions. Pour illustrer celles-ci, nous pouvons citer :

- **Les méta-heuristiques pour l'optimisation multi-objectif :** où il faut optimiser plusieurs objectifs contradictoires. Le but ne consiste pas ici à trouver un optimum global, mais à trouver un ensemble d'optima, qui forment une surface de compromis pour les différents objectifs du problème.
- **Les méta-heuristiques pour l'optimisation multimodale :** où l'on ne cherche plus l'optimum global, mais l'ensemble des meilleurs optima globaux et/ou locaux.
- **Les méta-heuristiques pour l'optimisation de problèmes bruités:** où il existe une incertitude sur le calcul de la fonction objectif, dont il faut tenir compte dans la recherche de l'optimum.
- **Les méta-heuristiques pour l'optimisation dynamique :** où la fonction objective varie dans le temps, ce qui nécessite d'approcher l'optimum à chaque pas de temps.
- **Les méta-heuristiques hybrides :** qui consistent à combiner différentes méta-heuristiques, afin de tirer profit des avantages respectifs.

### II.6.1.2.3.2. Caractéristiques méta-heuristiques :

- Les méta-heuristiques sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution.
- Le but visé par les méta-heuristiques est d'explorer l'espace de recherche efficacement afin de déterminer des points (presque) optimaux.

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

- Les méta-heuristiques sont en générale non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité.
- ❖ Diversification : mécanismes pour une exploration assez large de l'espace de recherche.
- Intensification : exploitation de l'information accumulée durant la recherche et concentration sur une zone précise de  $X$  ou de  $\Omega$ .

**Remarque :** Il est important de bien doser l'usage de ces deux ingrédients afin que l'exploration puisse rapidement identifier des régions de l'espace de recherche qui contiennent des points de bonne qualité, sans perdre trop de temps à exploiter des régions moins prometteuses.

### II.6.1.2.3.3. Classification des méta-heuristiques :

**1. Les méta-heuristiques à base de solution unique (S-méta-heuristiques) :** consistent à manipuler et améliorer une seule solution, tant que cela est possible (telles que les algorithmes de recherche locale, de recherche tabou, de recuit simulé, etc.).

**2. Les méta-heuristiques à base de population de solutions (P-méta-heuristiques) :** consistent à manipuler et améliorer un ensemble de solutions, nommé population, évolue en parallèle (comme les algorithmes évolutionnaires, etc.).

**-Ces deux familles ont des caractéristiques complémentaires :**

❖ **Les S-méta-heuristiques** sont axées sur l'exploitation de l'espace de recherche, elles ont la capacité d'intensifier la recherche dans des régions locales prometteuses (afin de trouver une meilleure solution).

❖ **Les P-méta-heuristiques** sont orientées exploration, elles permettent une meilleure diversification de l'espace de recherche.

### II.6.1.2.3.4. Concepts Communs des Méta-Heuristiques :

L'application de toute Méta-Heuristique un problème requiert la formulation du problème sous la forme d'un modèle mathématique et la définition de(s) objectif(s).

#### a) Modélisation du Problème :

La modélisation d'un problème consiste à déterminer le modèle mathématique le plus représentatif du problème réel. Il doit être simple et précis. Pour cela on doit codifier les données de sorte à faciliter leurs manipulations. Le choix du codage des données se fait selon le type du problème, de données et de la méthode envisagée pour la résolution du problème.

Par exemple, le codage binaire pour les problèmes d'affectation, vecteur d'entiers pour les

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

PLE, vecteur de réels pour les PL ou codage probabiliste ou aléatoire lorsque la variable prend ses valeurs dans l'intervalle  $[0, 1]$  . . . . L'efficacité d'un codage est fortement liée à l'opérateur de recherche appliqué. En effet, lorsqu'on définit un codage on doit tenir compte

du nombre de fois que cet opérateur sera réitérer et du nombre de fois que la solution sera évaluée.

Un codage efficace doit être complet, représentatif de toutes les solutions réalisables du problème. Connexe, il ne doit pas empêcher le passage d'une solution à une autre dans le domaine des solutions réalisables. Un codage est efficace lorsqu'il facilite la manipulation de

données, permet une réduction de la complexité temporelle et spatiale. En effet, un même problème peut être codifier de deux façons différentes et l'évaluation de la performance d'un codage se fait par la comparaison des critères cités précédemment.

### b) Fonctions Objectifs :

La fonction objectif, dite aussi fonction cout, associe à chaque solution réalisable une valeur.

Par fois, elle est facile à déterminer comme le cas du problème de sac à dos, PVC ou encore le problème d'affectation . . . , pour ces cas elle prend sa valeur dans  $R$ . Pour le cas d'un problème de satisfiabilité elle est soit vraie soit fausse donc deux valeurs seulement sont possibles 0 ou 1. D'autres, peuvent être plus complexes, donc soit on lui applique une transformation de à la simplifier, soit on définit une seconde fonction objectif comparable à la première.

La fonction objectif permet de guider la recherche, particulièrement, la recherche locale. L'usage du gradient de la fonction est très fréquent lors de l'utilisation des méthodes de recherche locale notamment les méthodes du recuit simulé et recherche taboue ou il est évalué pratiquement à chaque itération.

La fonction objectif permet non seulement d'évaluer la solution mais aussi d'évaluer l'approche de résolution. En effet, l'analyse du comportement de la fonction objectif lors de l'application de deux méthodes de à un problème permet d'évaluer l'efficacité relative de ces approches.

### c) Contraintes :

Les contraintes peuvent être définies comme des restrictions ou limitations des valeurs, des variables de décision, combinées. Elles peuvent être sous forme d'une équation d'égalité ou inégalité, linéaire ou non linéaire.

Les contraintes sont des stratégies qui agissent principalement, sur les variables de décisions et donc agissent indirectement sur la fonction objectif. Un classement de ces contraintes, selon les stratégies quelles représentent, a été ainsi proposé :

- **Stratégie de rejet** : cette stratégie est employée lorsqu'on veut extraire un ensemble très réduit de solutions non réalisables d'un grand ensemble de solutions réalisables, particulièrement lorsqu'elles sont sur la frontière.
- **Stratégie de pénalisation** : lors de violation d'une contrainte définissant le domaine

de réalisabilité, une modification est apportée sur la fonction objectif : cette modification peut être compensation par une para métrisation statique, dynamique ou adaptative.

➤ **Stratégie de codage**: permet de spécifier les valeurs des variables, par exemple lorsqu'on choisi un codage binaire on limite les valeurs des variables à 0 et 1.

➤ **Stratégie réparation**: elle est utilisée lorsque l'opérateur de recherche génère des solutions non réalisables, avec une stratégie de réparation on rend ces solutions non réalisables.

➤ **Stratégie préservation** : cette classe de stratégie est adaptée pour des problèmes spécifiques dont les opérateurs de recherche produisent des solutions réalisables qui seront préservées.

### d) Critère d'Arrêt :

Comme tout processus itératif, les méta-heuristiques sont dotées d'un critère d'arrêt. Il peut être une limitation du nombre d'itération, l'atteinte d'un certain taux d'amélioration d'un paramètre ou de fonction . . . . Il assure la finitude du processus de recherche et lui évite de tourner indéfiniment.

### II.6.1.2.3.5. Quelques méta-heuristiques :

#### 1. Le recuit simulé :

La méthode de recuit simulé a été découverte en 1983 par S. Kirkpatrick et al. Ils se sont inspirés du phénomène de la thermodynamique appliqué en physique statique "métallurgie".

#### Algorithme : recuit simulé

1. Engendrer une configuration initiale  $S_0$  de:  $S : S$
2. Initialiser la température en fonction du schéma de refroidissement
3. Répéter
4. Engendrer un voisin aléatoire  $S'$  de  $S$
5. Calculer  $\Delta E = f(S') - f(S)$
6. Si  $\Delta E \leq 0$  alors  $S \leftarrow S'$
7. Sinon accepter  $S'$  comme la nouvelle solution avec la probabilité  $P(E,T) = e^{-\Delta E/T}$
8. Fin si
9. Mettre  $T$  à jour en fonction du schéma de refroidissement (réduire la température)
10. Jusqu'à la condition d'arrêt
11. Retourner la meilleure configuration trouvée

Les étapes sont présentées dans la figure suivante :

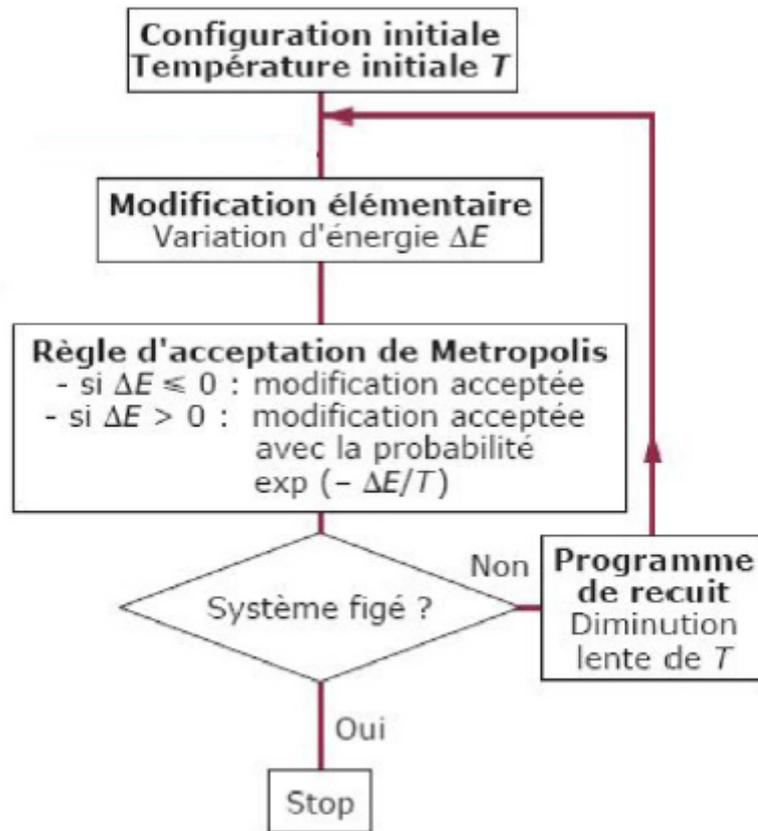


Figure II.2: les étapes d'exécution de recuit simulé.

### a) Convergence de l'Approche du Recuit Simulé

De nombreux travaux ont été menés sur la convergence de la méthode du RS, principalement Aarts al.(1985), Hajek (1988) et Hajek and al.(1989), qui, sous certaines conditions, ont abouti théoriquement à la convergence de la méthode du RS en probabilité vers l'optimum global.

### b) Avantages et Inconvénients de l'Approche du Recuit Simulé :

La méthode du RS est une méthode générale, en effet elle s'adapte quasiment à tous problèmes de type NP-difficiles. Elle est pratique et facile à programmer, aussi permet de fournir des solutions de qualité appréciable en un temps raisonnable.

Les nombreux paramètres composants la méthode peuvent constituer un inconvénient, bien que les valeurs publiées permettent, généralement, un fonctionnement efficace de la méthode. Il y a un aspect empirique et aléatoire que les études théoriques s'efforcent de négliger. En pratique, par fois le temps d'exécution est excessif, afin d'y remédier le choix des paramètres de la méthode doit être judicieux, particulièrement, la fonction de décroissance de la température.

La mise en œuvre interactive, la parallélisations de l'algorithme et la prise en considération des progrès effectués par la physique statique dans l'étude des milieux désordonnés peuvent être des directions de recherche prometteuses pour améliorer l'efficacité de cette méthode en terme de temps d'exécution.

Il se trouve que, en pratique, cette méthode est efficace pour les problèmes d'ordonnancement, néanmoins elle reste aussi efficace pour les problèmes du VRP.

### 2.Colonie de formie :

Proposés par Colorni, Dorigo et Maniezzo en 1992 et appliqué la première fois au problème du voyageur de commerce.il représente un algorithme itératif à population avec orientation des futurs choix. Inspirer à partir du comportement des fourmis qui utilisent une substance chimique volatile particulière appelé phéromone pour communiquer au milieu (la stigmergie).Les fourmis choisit ainsi avec une probabilité élevée les chemins contenant les plus fortes concentrations de phéromones.

Cette méthode a été utilisée pour résoudre plusieurs problèmes :

- ✓ Le problème du voyageur de commerce
- ✓ Le problème de coloration de graphe
- ✓ Le problème d'affectation quadratique
- ✓ Le problème de routage de véhicules

- **Algorithme : Colonies de fourmis**

Algorithme dédié pour résoudre le problème de voyageur de commerce (TSP) et chaque fourmi doit construire un trajet complet (solution) et se déplace d'un sommet à l'autre d'une manière probabiliste.

- ✓ Chaque fourmi possède une liste de villes visitées.
- ✓ A la fin de la tournée, une intensité de phéromone est laissée par la fourmi sur chaque segment (i ,j) qui appartient à la tournée.

- ❖ **Notation :**

$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ : visibilité (inverse de la distance).

$\tau_{ij}$ : Quantité de phéromones sur l'arrêt (i, j)

$S_i^K$ : Ensemble des villes qui ne sont pas encore visités par la fourmi k

- **Probabilité de déplacement :**

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\eta_{ij}]^\beta \cdot [\tau_{ij}(t)]^\alpha}{\sum_{l \in S_i^K} [\eta_{il}]^\beta \cdot [\tau_{il}(t)]^\alpha} & \text{si } j \in S_i^K ; l \in V \setminus S_i^K. \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Où  $\alpha$  et  $\beta$  sont deux paramètres contrôlant l'importance de l'intensité de la piste et de la visibilité

### Mise à jour des phéromones :

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

Après un tour complet, chaque fourmi laisse une certaine quantité de phéromone  $\Delta\tau_{ij}^K(t)$  sur l'ensemble de son parcours, quantité qui dépend de la qualité de la solution trouvée.

$$\Delta\tau_{ij}^K(t) = \begin{cases} Q / L^K(t) & \text{si } (i,j) \in T_K(t) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$T_K(t)$  : est le trajet effectué par la fourmi k à l'itération t.

$L^K(t)$  : est la longueur de la tournée

Q : un paramètre fixé.

✓ Le concept d'évaporation des pistes de phéromones est simulé à travers un paramètre appelé le taux d'évaporation

✓ Ne pas négliger toutes les mauvaises solutions obtenues

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{K=1}^m \Delta\tau_{ij}^K(t)$$

t représente une itération donnée et m le nombre de fourmis.

### ❖ Algorithme :

**Pour** t = 1, ..., tmax

**Pour** chaque fourmi k = 1, ..., m

**Choisir** une ville au hasard

**Pour** chaque ville non visitée i

**Choisir** une ville j, dans la liste des villes restantes

**Fin** Pour

**Déposer** une quantité de phéromones sur le trajet  $T_k(t)$

**Fin** Pour

**Évaporer** les pistes

**Fin** Pour

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

### 3. Recherche tabou :

Développée dans un cadre particulier par Glover en 1986 (et indépendamment par Hansen en 1986), c'est une méthode heuristique de recherche locale utilisée pour résoudre des problèmes complexes et/ou de très grande taille (souvent NP-difficile).

- ❖ **Principe de base :** Poursuivre la recherche de solutions même lorsqu'un optimum local est rencontré et ce,
  - en permettant des déplacements qui n'améliorent pas la solution.
  - en utilisant le principe de mémoire pour éviter les retours en arrière (mouvements cycliques).

- ❖ **Mémoire :**

Elle est représentée par une liste taboue qui contient des mouvements ou des solutions qui sont temporairement interdits

### 2 alternatives :

- ✓ Une liste contient les solutions interdites (coûteux en place mémoire).
- ✓ Une liste des mouvements interdits (qui ramènent vers ces solutions déjà visitées).

- ❖ **Avantages :**

- ✓ Prend moins de place mémoire.
- ✓ Élimine plus de solutions que celles visitées effectivement
- ✓ Généralement les listes sont gérées en FIFO (first in first out).
- ✓ Liste tabou des mouvements interdits élimine plus de solutions que celles visitées effectivement.
- ✓ plus efficace que la liste des solutions taboues mais élimine éventuellement de très bonnes solutions.
- ✓ Il est possible de violer une interdiction lorsqu'un mouvement interdit permet d'obtenir la meilleure solution enregistrée jusqu'à maintenant.

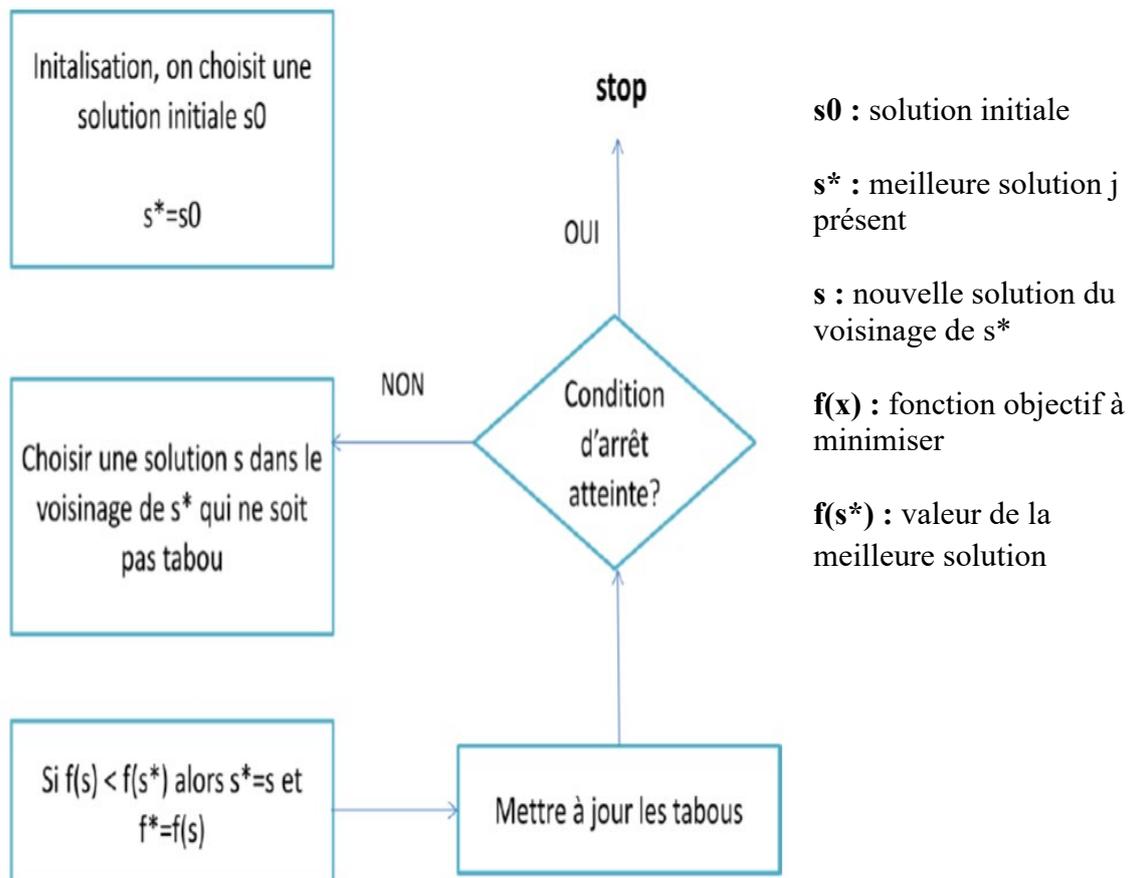


Figure II.3:algorithme générale de recherche tabou

### ❖ Critère d'arrêt :

On peut arrêter la recherche à tout moment (contrairement au recuit simulé...)  
Par exemple si une solution prouvée optimale a été trouvée, une limite a été atteinte en ce qui concerne, le nombre d'itérations, le temps de calcul, Si la recherche semble stagner (nombre d'itérations sans amélioration de la meilleure configuration trouvée)

### ❖ Diverses améliorations de la recherche Tabou :

La liste taboue peut s'avérer trop contraignante lors de la recherche d'une solution. Le mécanisme d'aspiration permet de lever ponctuellement le statut "tabou" afin d'atteindre des solutions inédites.

- ✓ **L'intensification** : est l'une des stratégies qui permet de mémoriser les meilleures solutions rencontrées (ou leur configuration) et les utilise afin d'améliorer la recherche.
- ✓ **La diversification** : cherche à utiliser des mouvements encore jamais réalisés afin d'explorer des régions nouvelles de l'espace de recherche en mémorisant bien sur les solutions les plus visitées.

Sélection du meilleur voisin :

- ✓ **Best Fit** : le voisinage est exploré en entier.
- ✓ **First Fit** : une partie du voisinage est explorée.
- ✓ **Utilisation d'une table de calculs** : pour éviter de calculer entièrement le coût de chaque voisin, à chaque itération on mémorise dans une table les modifications au coût de la solution courante associées à chacun des mouvements possibles.

### ❖ Algorithme :

1. Initialisation :

$s_0$  une solution initiale  $s \leftarrow s_0$  ,  $s^* \leftarrow s_0$  ,  $c^* \leftarrow f(s_0)$   $T = \emptyset$

2. Générer un sous-ensemble de solution au voisinage de  $s$

$s' \in N(s)$  tel que  $\forall x \in N(s), f(x) \geq f(s')$  et  $s' \notin T$   
Si  $f(s') < c^*$  alors  $s^* \leftarrow s'$  et  $c^* \leftarrow f(s')$

Mise-à-jour de T

3. Si la condition d'arrêt n'est pas satisfaite retour à l'étape 2

### ❖ **Avantages et inconvénients de la recherche Tabou :**

#### ✓ **Avantage :**

- Grande efficacité.
- Fonctionnement simple à comprendre.

#### ✓ **Inconvénients :**

- Paramètres peu intuitifs.
- Demande en ressources importantes si la liste des tabous est trop imposante.
- Aucune démonstration de la convergence.

### **4. Les algorithmes génétique :**

Il s'agit d'une méthode bio-inspirée introduite par Holland [1975] dans le cadre d'une analogie avec la sélection naturelle des espèces. Elle a été formalisée ensuite par Goldberg [1989] pour être appliquée à la résolution de problèmes d'optimisation.  
[ II.4]

### **Vocabulaire :**

Le vocabulaire utilisé est le même que celui de la théorie de l'évolution et de la génétique [II .5] :

- ✓ individu (solution potentielle).
- ✓ Population (ensemble de solutions).
- ✓ génotype (une représentation de la solution).
- ✓ gène (une partie du génotype), parent, enfant, reproduction, croisement, mutation, génération, etc.

### ❖ **Fonctionnement d'un AG :**

#### **Génération de la population initiale :**

La population initiale doit être suffisamment diversifiée et de taille assez importante pour que la recherche puisse parcourir l'espace d'état dans un temps limité.

#### **Fonction d'adaptation (Fitness) :**

Mesure la performance de chaque individu

#### **Sélection :**

## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

- ❖ Identifier statistiquement les meilleurs individus d'une population.
- ❖ L'opérateur de sélection doit être conçu pour donner également une chance aux mauvais éléments.

On peut les devise 3 type [II .6] :

- ✓ **Sélection uniforme:** la sélection s'effectue d'une manière aléatoire et uniforme telle que chaque individu  $i$  a la même probabilité.
- ✓ **Sélection binaire par tournoi:** Deux individus sont choisis au hasard, on compare leurs fonctions d'adaptation et le mieux adapté est sélectionné.
- ✓ **Sélection par roulette:**
  - S'inspire de la roue de loterie sur laquelle chaque individu est représenté par un secteur proportionnel à sa fitness.
  - Les individus les mieux évalués ont statistiquement plus de chance d'être sélectionnés.
  - donne une possibilité aux individus mal adaptés d'être choisis.

### ❖ Croisement :

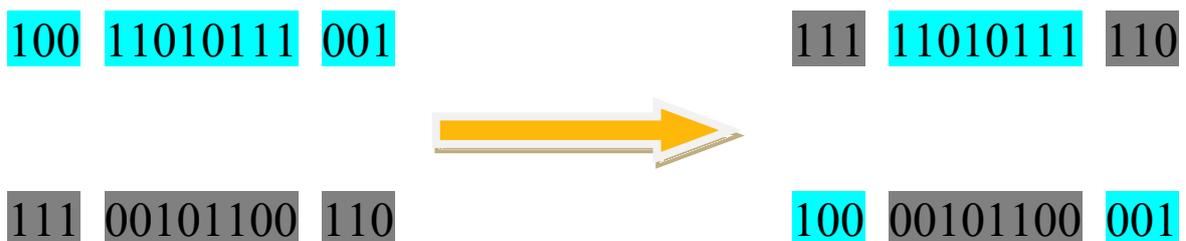
Il permet l'exploration de l'espace de recherche et enrichit la diversité de la population, chaque parents et génère deux enfants. On distingue plusieurs types :

### ❖ Croisement un point :



Figure II.4 : Exemple de croisement un point.

### ❖ Croisement deux points :



## Chapitre II : Les Méta-heuristique :

Figure II.5: Exemple de croisement deux points.

❖ **Croisement uniforme :**

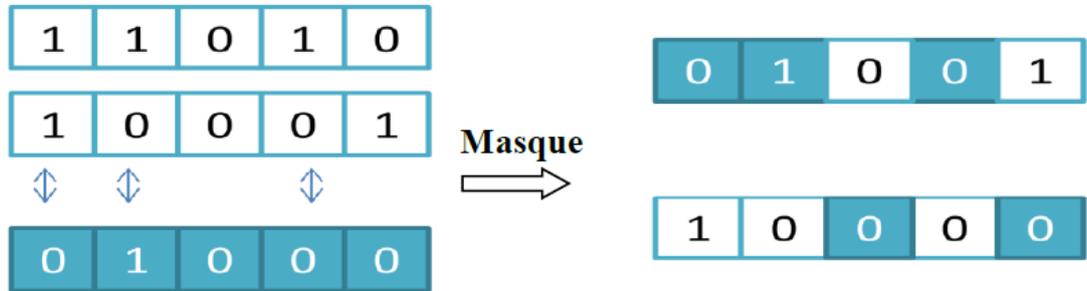


Figure II.6 : Exemple de croisement uniforme.

❖ **Mutation :**

Processus où un changement mineur du code génétique est appliqué à un individu pour introduire de la diversité et ainsi d'éviter de tomber dans des optimums locaux.

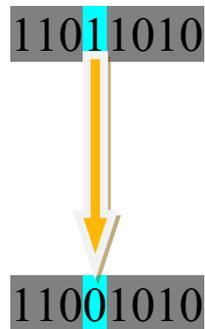


Figure II.7: exemple de mutation

### ❖ L'Elitisme :

Sauvegarde de la meilleure solution en passant d'une population à l'autre.

### Efficacité des AGs :

L'efficacité des algorithmes génétiques dépend fortement du réglage des différents paramètres caractérisant ces algorithmes:

- la taille de la population
- le nombre maximal des générations
- la probabilité de mutation  $p_m$
- La probabilité de croisement  $p_c$

### II.7. Conclusion :

Au niveau de ce chapitre, nous avons présenté en premier lieu les problèmes d'optimisation combinatoire. Ensuite nous avons décrit les notions essentielles des méthodes approchées.

Nous sommes intéressés plus particulièrement des méta-heuristiques car ces outils seront utilisés dans ce mémoire comme outils principaux d'optimisation pour la résolution du notre problème.

Chapitre III : Optimisation de la localisation  
des bacs des déchets à l'aide des Méta-  
heuristique, zone d'Abou tachfine

### III.1. Introduction :

La collecte des déchets est une étape basale dans la gestion des déchets, pour préserver les ressources naturelles et économiser l'énergie et soutenir l'emploi. Mais pour assurer l'application de cette étape il faut l'engagement de toutes personnes en les sensibilisant.

Dans ce chapitre nous proposons un nouveau modèle de résolution du problème de Localisation-Allocation. pour la localisation optimale des bacs dans la zone Abou tachfine. La résolution du modèle sera réalisée à l'aide de la métaheuristique Recuit Simulé avec une solution initiale générée avec l'utilisation d'un algorithme glouton. Enfin pour illustrer l'applicabilité des approches d'optimisation proposées par le solveur Lingo, nous présentons un panel d'expériences numériques et analyses, où nous comparons les différents résultats obtenus par les métaheuristiques.

### III.2. Présentation du langage de programmation java :

Java est un langage de programmation orienté objet, développé par Sun Microsystems et destiné à fonctionner dans une machine virtuelle, il permet de créer des logiciels compatibles avec des nombreux systèmes d'exploitation tels que **UNIX**, **Windows**, **Mac OS**, avec peu ou pas de modifications.

Java et non seulement un langage de programmation puissant conçu pour être sûr, inter plateformes et international, mais aussi un environnement de développement qui est continuellement étendu pour fournir des nouvelles caractéristiques et des bibliothèques permettant de gérer de manière élégante des problèmes traditionnellement complexes dans les langages de programmation classiques, tels que le multithreading, les accès aux bases des données, la programmation réseau, l'informatique répartie. [III.1]



Figure III.1 : Icône JAVA

### III.3. Description de problème :

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 Abou tachfine. Afin de faciliter la collecte des déchets dans un environnement propre tout en assurant une meilleure visibilité pour les citoyens ainsi que les collecteurs.

Ce problème basé sur la location-allocation pour localiser des installations en sélectionnant un ensemble de sites parmi un plus grand ensemble de sites candidats. L'objectif de ce problème est de minimiser l'ensemble de bac à localiser tout en assurant l'affectation de chaque bâtiment à un seul bac, satisfaire les contraintes de capacité des bacs et la contrainte de distance tel que les citoyens ne déplacent pas trop pour jeter leurs poubelles.

### III.4. Complexité du problème localisation-allocation :

Le problème de localisation-allocation traité nécessite une base de données juste et le plus possible éloigné des approximations qui nous mène à des solutions fausses, les données collectées par des logiciels comme les coordonnées des emplacements des bacs potentiels à localiser, même pour les coordonnées des sites ou des bâtiments. et d'autres types de données collectées manuellement comme la densité de population dans chaque site traité et la quantité de déchets générés par ces derniers qui nécessitent parfois des visites sur sites.

Non seulement Une complexité lors de la localisation, même au niveau d'allocation des bacs localisés précédemment on rencontre des complexités d'adéquation des contraintes ou les règles qui modélisent ce problème avec les données utilisées, les contraintes nous ramènent à travailler sur des intervalles limités ; c'est surtout sur le travail effectuer sur Lingo.

### III.5. Modèle mathématique :

Dans cette approche, nous considérons la localisation unique des bacs, nous avons noté le cas de ce modèle par : cas de minimisation des bacs sous les contraintes de la distance 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 à 8000 DA.

❖ Suite aux résultats des travaux d'ingénierat on va focaliser sur les deux cas suivants :

**1<sup>er</sup> Cas :** une distance maximale de 100 m entre les bacs et les bâtiments et une capacité de 630 kg pour chaque bac.

**2<sup>ème</sup> Cas :** Une distance maximale de 140 m entre les bacs et les bâtiments et une capacité de 630 kg pour chaque bac.

### III.5.1. Hypothèses :

Le problème de la localisation optimale des bacs dans la zone de Abou tachfine est basé sur les hypothèses suivantes :

- ✓ Chaque bâtiment doit être affecter à un seul bac.
- ✓ Le bâtiment est affecté au bac si seulement si le bac est localisé.
- ✓ La quantité de déchets jetées ne dépasse pas la capacité maximale de bac.
- ✓ La distance entre le bâtiment et le bac localisé ne dépasse pas la distance maximale.

Dans ce modèle, la fonction objectif a pour but de localiser les bacs et affecté chaque bâtiment à un bac tel que le coût globale d'installation des bacs sera minimisé.

### III.5.2. Les indices :

- $i$  : indice de bac ,  $i \in I$ .
- $j$  : indice des bâtiments,  $j \in J$ .
- $I = \{1 \dots 128\}$ .
- $J = \{1 \dots 1628\}$ .

### III.5.3. Paramètres :

- $x_1, y_1$  : Position géométrique de bac  $i$ .
- $x_2, y_2$  : Position géométrique de bâtiment  $j$ .
- Coût  $i$  : c'est le coût de bac.
- Quantité  $j$  : la quantité du déchet organique jeté par chaque bâtiment par jour.
- Taille  $i$  : c'est taille du bac pour ce modèle est 630L.
- Taux  $i$  : c'est le taux de remplissage des bacs.
- Distance  $i, j$  : la distance en les bacs  $i$  et les sites  $j$ .

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

### III.5.4. Variables de décision :

$P_i : \{ 1, \text{ si le bac est localisé } 0, \text{ sinon} \}$

$A_{i,j} : \{ 1, \text{ si le site est affecté au bac } i \}$

### III.5.5. Fonction objectif :

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

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^n \text{cout}_i \times P_i$$

### III.5.6. Contraintes :

$$\checkmark \text{ distance } i,j \times A_{i,j} \leq P_i \times \text{Max\_distance} \quad \forall i \in I \text{ et } \forall j \in J \quad (1)$$

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

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

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

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

$$\checkmark \sum_{j=1}^n \text{quantite}_j \times A_{i,j} \leq P_i \times \text{taille}_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\checkmark \text{taux}_i = \sum_{j=1}^n (\text{quantite}_j \times A_{i,j}) / \text{taille}_i \quad \forall i \in I \quad (7)$$

Voici une explication des contraintes :

- Contrainte (1) : Contrainte de la distance maximale entre un bac  $i$  et le site  $j$  pour assurer la localisation.
- Contrainte (2) : Affectation de  $j$  vers  $i$  aura lieu si le bac  $i$  est localisé.
- Contrainte (3) : Chaque site  $j$  doit être affecté à un seul bac  $i$ .
- Contrainte (4) et (5) : Définissent la nature des variables de décisions.
- Contrainte (6) : Impose que la quantité des déchets organiques ne dépasse pas la taille du bac  $i$ .
- Contrainte (7) : Permet de calculer le taux  $i$  de remplissage du bac.

### III.6. Résolution du problème localisation-allocation :

Après avoir modélisé le problème, il ne nous reste qu'à proposer une solution au problème. Dans la présente étude, nous proposons l'utilisation des approches de résolution basées sur les méta-heuristiques qui permet de fournir des solutions de qualité appréciable en un temps raisonnable.

Ces dernières présentent actuellement des alternatives intéressantes pour la résolution des problèmes d'optimisation difficile (comme le problème localisation-allocation) pour lesquels on ne connaît pas d'algorithmes classiques plus efficaces.

### III.6.1. Les classes utilisées :

- ❖ **java.util.ArrayList** : est un tableau dynamique qui implémente l'interface **List**. L'utilisateur de cette interface a le contrôle total sur les éléments insérés et y accède par position ainsi que la recherche des éléments dans la liste.

La classe `ArrayList` implémente un tableau d'objets qui peut grandir ou rétrécir à la demande, ce qui débarrasse le programmeur de la gestion de la taille du tableau. Comme pour un tableau on peut accéder à un élément du `ArrayList`, par un indice.

Les éléments de la liste tableau sont représentés dans un tableau d'objets de type `E` : `elementData`, qui sont tous tassés en tête du tableau dans l'élément d'indice 0 à size nombre d'éléments présents dans le `ArrayList`.

- ❖ **java.util.Random** : Cette **classe** permet de générer des nombres pseudo-aléatoires de façon plus complète, Cette classe fournit divers appels de méthode pour générer différents types de données aléatoires tels que `float`, `double`, `int` ; i.e. la méthode `Math.random()` qui à chaque appel renvoie un double compris entre 0.0 et 1.0.
- ❖ **java.lang.Math** : La classe `java.lang.Math` contient des méthodes pour effectuer des opérations numériques de base telles que les fonctions exponentielles élémentaires, logarithmiques, racine carrée et trigonométriques.

### III.6.2. Algorithme du Recuit simulé :

Le recuit simulé est une méthode empirique (métaheuristique) d'optimisation, inspirée d'un processus utilisé en métallurgie. On alterne dans cette dernière des cycles de refroidissement lent et de réchauffage (recuit) qui ont pour effet de minimiser l'énergie du matériau.

Voici un schéma explicatif du fonctionnement du recuit simulé :

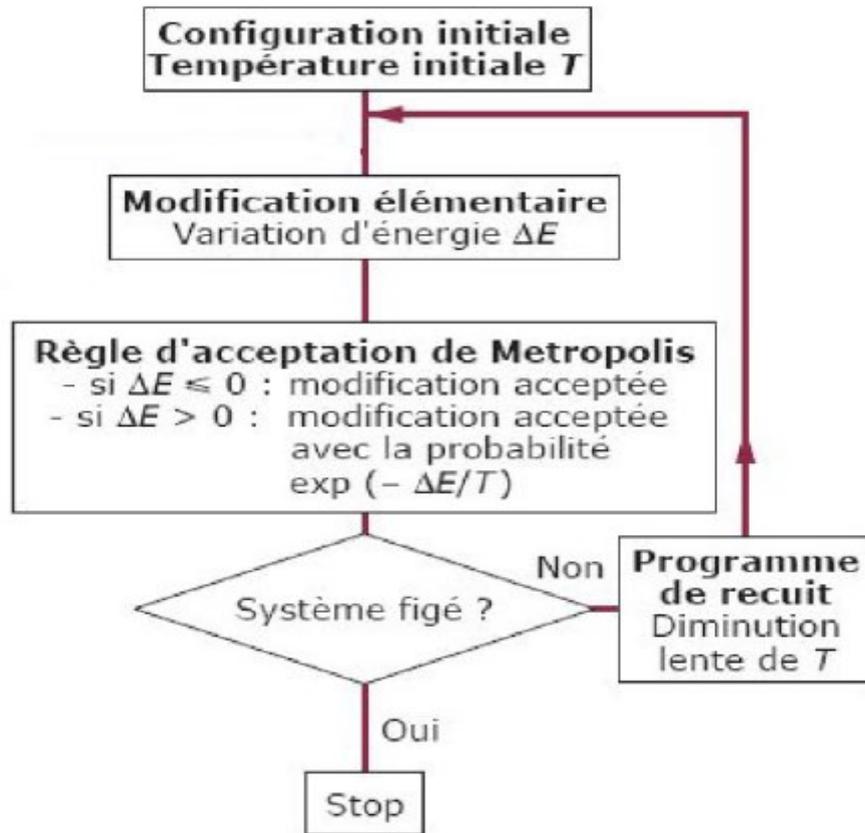


Figure III.2 : un schéma explicatif du fonctionnement du recuit simulé.

### III.6.3. Insertion des données :

Dans notre étude on a proposé d'organiser les données selon deux types majeurs de données, les données liées aux sites de population (Coordonnées x et y), en deuxième les champs de données liés aux bacs (Coordonnées x et y et la quantité de déchets générés par les habitants du site), avec la présence d'un lien qui relie ces deux types représentés par plusieurs paramètres.

### III.6.4. Des fonctions préliminaires :

- ❖ **CalculDistance** : une fonction qui prend en compte deux paramètres : les coordonnées du bâtiment j, et les coordonnées du bac i. cette fonction calcule la distance selon la formule suivante :

$$\text{Distance } i,j = \sqrt{(x1_i - x2_j)^2 + (y1_i - y2_j)^2}$$

- ❖ **CanFit** : une fonction de type booléen qui prend en paramètre un bâtiment, et qui vérifie si la distance entre le bac traité et ce bâtiment est inférieure à **Max\_distance**.
- ❖ **Remplir** : une fonction qui prend en paramètre un bac et un bâtiment, cette fonction permet de rajouter la quantité de déchets générés par le bâtiment au **Remplissage** du bac.

- ❖ **Deremplir** : une fonction qui prend en paramètre un bac et un bâtiment, Cette fonction nous permet de réduire le **Remplissage** de bac par la quantité de déchets générés par le bâtiment.
- ❖ **CanRemplir** : une fonction qui prend en paramètre un bac et un bâtiment, cette fonction permet d'éviter d'atteindre les niveaux de débordement des bacs en vérifiant que la quantité rajouté au bac ne permet pas de dépasser la capacité maximale nommé **Max**.

### III.6.4. Nettoyage de l'espace de recherche :

Pour la résolution de ce problème, et afin de réduire l'espace de recherche des sites candidats, nous avons fait un programme pour nettoyer l'espace de recherche et éliminer les points inapplicables, les points ou il est impossible de localiser des bacs car ces points se situe hors la zone de Abou Tachefine. La détection des points inapplicables est faite à travers un calcul de distance entre chaque site de population traité et les emplacements potentiels des bacs

### III.6.5. Initialisation des attributs :

**Max**= 630 ; /\* la capacité maximale du bac, un attribut fixe égale à 630 kg\*/

**Max\_distance** =140 ; /\* la distance maximale qu'on peut avoir entre un bac et un site affecté à ce bac, un attribut fixé à 140 m\*/

**S [] = 0** ; /\* allocation des bacs par la solution gloutonne, initialisée à 0 au début de l'algorithme \*/

**Affectation [] [] = 0** ; /\* le lien qui relie un bac avec les sites affectés à ce bac, au début initialisé à 0 \*/

**Fitness=0** ; /\* la fitness de la solution initiale, au début initialisé à 0 \*/

**Remplissage []** ; /\* le remplissage de la solution initiale, au début initialisé à 0 \*/

**Feasible** ; /\*un attribut de type boolien qui indique la faisabilité de la solution\*/

### III.6.6. La solution initiale :

Toutes les méthodes d'optimisation commencent par la génération d'une solution initiale. En général, cette solution initiale est générée de façon aléatoire. Cependant, il est possible de générer la solution initiale en utilisant une heuristique permettant d'accélérer la convergence de la méthode utilisée. Dans notre cas, nous avons préféré générer la solution initiale par un algorithme glouton.

#### III.6.6.1. Algorithme de La solution initiale :

**TantQue** (il existe des Bâtiment qui ne sont pas affecté)

**Pour** (i=0;i < taille de la liste des bacs; i++) /\*parcourir tous les bacs candidats\*/

**Pour** (j=0;j<taille de la liste des bâtiment ; j++) /\*parcourir tous les bacs Bâtiment\*/

**Si** (**Affectation** de la **Solution** actuel [i] [j]) ==1 **Alors** /\*passe au bâtiment suivant\*/

**FinSi**

**Si** (**CanFit** [i] [j] **et** **CanRemplir** [i] [j]) /\*la distance entre le bac et le bâtiment est inférieur à la distance max **et** l'ajout de la quantité de déchets maintient les niveaux de débordement du bac\*/ **Alors**

**S**[i]=1; /\*localiser le bac i\*/

**Affectation** [i] [j]=1;/\*affecter le bâtiment au bac localisé \*/

**Remplir**[i] [j]; /\*ajouter la quantité de déchets généré par le bâtiment j au bac i \*/

**FinSi**

**FinPour**

**FinPour**

**FinTantQue**

La solution est **feasible** ;

**Retourner** S [] ;

### III.6.7. Copie de la solution recuit :

Au cours d'exécution du modèle, à chaque fois une solution faisable est générée à partir de la solution actuelle, une copie de la solution actuelle est faite avec tous les paramètres qui englobent une solution faisable (la fitness ; le tableau S qui indique l'allocation des bacs ; l'affectation des sites au bac) pour effectuer une comparaison de la fitness entre les deux solutions successives, une fois la fitness de la solution générée est meilleure que la fitness de la solution actuelle, on efface la copie effectuée précédemment et on effectue une copie de la solution générée acceptée, puis on passe à chercher des nouvelles solutions faisables, ce processus est répété jusqu'à ce que le critère d'arrêt est atteint.

### III.6.8. Algorithme du recuit simulé adopté :

- ❖ Afin de traiter le problème de localisation-allocation on a effectué des changements au niveau des étapes à suivre de l'algorithme du recuit simulé pour qu'il soit plus maintenable et adoptable par le problème traité ; les étapes sont comme suivant :

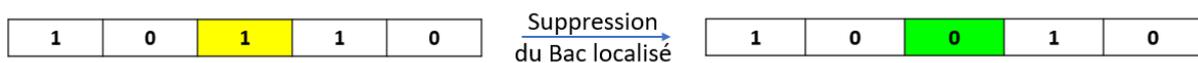
1. Engendrer une configuration initiale S.
2. Initialiser la température initiale T.
3. Répétition des étapes suivantes :
4. Engendrer une solution voisine aléatoire S' à partir de la solution précédente.

5. Calculer la différence du fitness entre la solution actuelle et la solution précédente nommé  $\Delta E$ .
6. Si cette différence est inférieure à 0 la solution  $S'$  devient  $S$ .
7. Sinon accepter  $S'$  comme la nouvelle solution avec la probabilité  $P(E, T) = e^{-\frac{\Delta E}{T}}$ .
8. Fin si.
9. Mettre  $T$  à jour en fonction du schéma de refroidissement (Réduire la température)
10. Jusqu'à la condition d'arrêt.
11. Retourner la meilleure configuration trouvée.

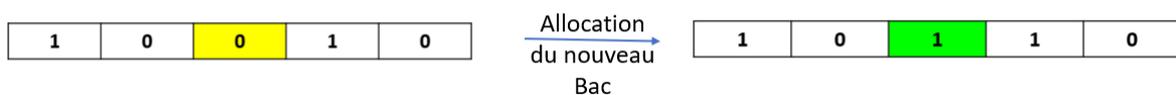
### III.6.9. Passage de la solution actuelle vers une nouvelle solution voisine :

À partir de la solution initiale, une solution voisine aléatoire  $S'$  est générée par un mouvement élémentaire. Dans notre cas, un mouvement élémentaire représente une mutation de position aléatoirement choisie. Les étapes de la mutation sont comme suivant :

- Sélection d'une position de bac dans la solution initiale. La position est choisie aléatoirement en parcourant les emplacements indiqués par de la solution initiale, ceci peut amener à traiter deux cas différents :
  - **1<sup>er</sup> cas :** Délocalisation de bac à l'emplacement choisi.



- **2<sup>ème</sup> cas :** Le bac est localisé à l'emplacement choisi.



**III.6.9.1. Traitement du 1<sup>er</sup> cas :** dans ce cas, la position choisie indique que le bac est localisé dans la solution précédente, alors on doit désaffecter les bâtiments qui sont affectés à ce bac avant de le délocaliser.

#### 1. **Définition des bacs à Délocaliser :**

- En se focalisant sur le bac à délocaliser, on parcourt la liste des bâtiments et on fait sortir les bâtiments qui sont affectés à ce bac.
- Là où on trouve un bâtiment affecté à l'ancien bac on passe à la recherche des bacs qui présentent une adéquation avec la règle de la distance et la règle de remplissage pour ce bâtiment.

#### 2. **Manipulation des bacs candidats :**

- Dans la majorité des cas on trouve plusieurs bacs adéquats, alors on a créé un tableau pour les stocker les bacs candidats Si on tombe dans le cas où

on trouve aucun bac candidat on sort de la boucle et on indique que cette solution n'est pas faisable.

### **3. Transformation d'affectation des bâtiments :**

- Sinon on choisit aléatoirement un bac élu parmi les bacs candidats et on lui affecte le bâtiment affecté à l'ancien bac.
- On indique que la solution est faisable et on retourne la nouvelle solution.

**III.6.9.2. Traitement du 2<sup>er</sup> cas :** dans ce cas, la position choisie indique que le bac n'est pas localisé dans la solution précédente, alors on doit le localiser et chercher un ou plusieurs bâtiments pour les affecter à ce nouveau bac localisé.

#### **1. La recherche des bâtiments a affecter :**

- ❖ Premièrement et avant de le localiser on a créé une liste pour stocker les sites qui respectent les règles ou les contraintes choisies précédemment :
- La distance entre le bâtiment sélectionné et le bac à localiser est inférieure à **Max\_distance** et l'ajout de la quantité de déchets générés par ce bâtiment ne dépasse pas la capacité du bac.
- Un nombre de bâtiments sont choisis aléatoirement en parcourant la solution initiale, et un compteur des itérations de recherche est mis en place pour sortir de la boucle en cas d'absence des bâtiments adéquats.

#### **2. Annuler l'ancienne affectation des bâtiment stockés :**

- Dans le cas où la recherche donnerait un résultat positif, on parcourt la liste des bacs et on annule l'affectation du bâtiment à l'ancien bac qui lui a été affectée.
- On soustraira la quantité des déchets générés par le bâtiment du remplissage de l'ancien bac.
- Un cas spécial : après la soustraction si le niveau de remplissage de l'ancien bac devient 0 on délocalise le bac.

#### **3. Affectation des bâtiments stockés :**

- Après la fin de la deuxième étape on localise le nouveau bac dans la solution actuelle.
- Pour chaque bâtiment, on rajoute la quantité des déchets générés au remplissage de nouveau bac.
- On indique que la solution est faisable et on retourne la nouvelle solution.

### **III.6.10. Comparaison :**

En générant ainsi la nouvelle solution  $S$ , si cette nouvelle solution est meilleure en fitness que la précédente, elle est acceptée comme solution initiale de la prochaine itération. Dans le cas contraire, la nouvelle solution n'est pas forcément rejetée, et peut-être acceptée avec la probabilité de Boltzmann exprimée par la fonction exponentielle de  $(d1-d0)/T$ , où  $T$  est la température actuelle. Si la nouvelle solution voisine est rejetée (ne respecte pas la probabilité), la solution initiale  $S0$  sera conservée pour la prochaine itération. Cette étape est réitérée tant que l'équilibre thermodynamique n'est pas atteint.

### III.6.11. Abaissement de la température :

Une fois l'équilibre atteint, la température est abaissée d'un certain nombre de degrés, déterminés par le coefficient de refroidissement «  $\mu$  ». La température initiale de la prochaine itération est remplacée par la nouvelle température  $T$  qui est égale à  $(T_{initiale} \times \mu)$ .

Au fil des itérations, la diminution de la température réduit la probabilité d'acceptation des dégradations du fitness. Quand la température tend vers 0, seules les améliorations sont acceptées.

### III.6.12. Critère d'arrêt :

Ainsi de suite, jusqu'à l'atteinte d'un critère d'arrêt qui dépend de la température actuelle  $T$ ; si  $T$  n'atteint pas la température finale  $T_{finale}$ , nous revenons à l'étape 3, sinon l'exécution est arrêtée lorsque  $T = T_{finale}$  ou bien dans le cas de "système figé".

## III.7. Exécution des modèles avec les approches de résolution :

### III.7.1. Les résultats d'exécution des Modèles :

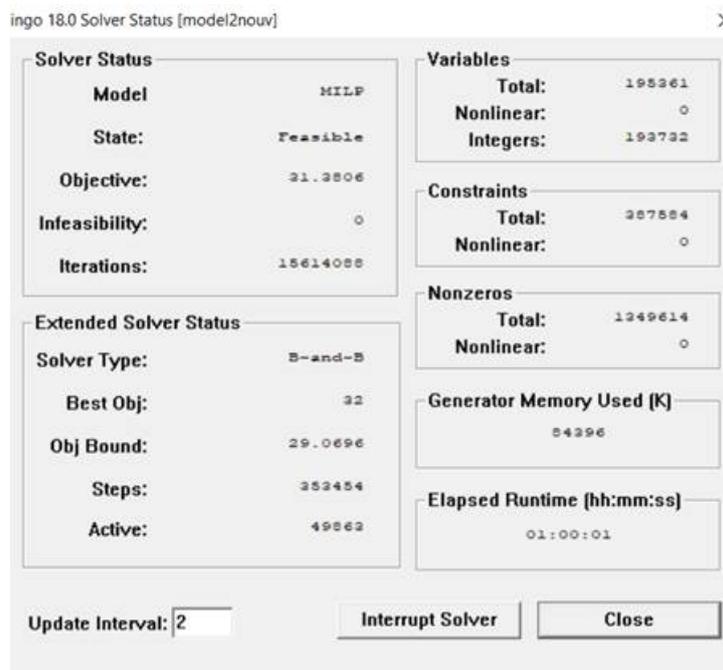
Afin de mieux visualiser la différence entre les deux méthodes de résolution du problème traité, voici les affichages des résultats de plusieurs modèles exécutés sur le solveur LINGO et la métaheuristique Recuit simulé (RS) implémentée à l'aide du langage Java. Les résultats suivants montrent la limite d'avoir toujours des solutions optimales avec le Solveur LINGO, d'autre part la puissance de la métaheuristique qui donne des résultats très satisfaisants dans un temps très raisonnable.

Voici trois modèles exécutés juste pour visualiser cette différence :

**III.7.1.1 Affichage du Modèle 1 :**

Modèle \ Solver	State	Distance(m)	Capacité	Durée	Objectif (Nombre de bacs localisés)	Solution initiale (Nombre de bacs localisés)
Modèle 1 & Lingo	Faisable	220	740	+60 min	Inconnu	/
Modèle 1 & l'App JAVA (RS)	Faisable	220	740	18 secondes	33	112

**Tableau III.1. Affichage du 1<sup>er</sup> Modèle.**



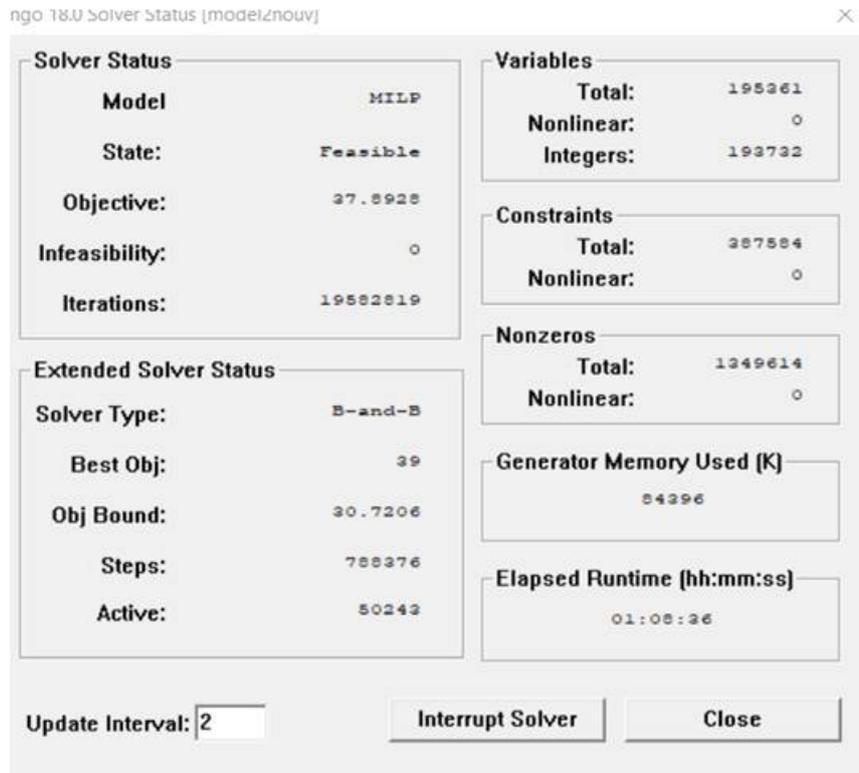
**Figure III.3 : le résultat affiché par Lingo pour le 1<sup>er</sup> Modèle.**

**III.7.1.2. Affichage du Modèle 2 :**

Modèle \ Solver	State	Distance(m)	Capacité	Durée	Objectif (Nombre de bacs localisés)	Solution initiale (Nombre de bacs localisés)
Modèle 2 & Lingo	Faisable	180	700	+68 min	Inconnu	/
Modèle 2 & l'App JAVA (RS)	Faisable	180	700	15 secondes	36	110

**Tableau III.2. Affichage du 2<sup>ème</sup> Modèle.**

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :



**Figure III.4 :** le résultat affiché par Lingo du 2<sup>ème</sup> Modèle.

### III.7.1.3. Affichage du Modèle 3 :

Modèle <i>Solver</i>	State	Distance(m)	Capacité	Durée	Objectif (Nombre de bacs localisés)	Solution initiale (Nombre de bacs localisés)
Modèle 3 & Lingo	Faisable	160	660	+60 min	Inconnu	/
Modèle 3 & l'App JAVA (RS)	Faisable	160	660	14 secondes	40	111

**Tableau III.3.** Affichage du 3<sup>ème</sup> Modèle.

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :

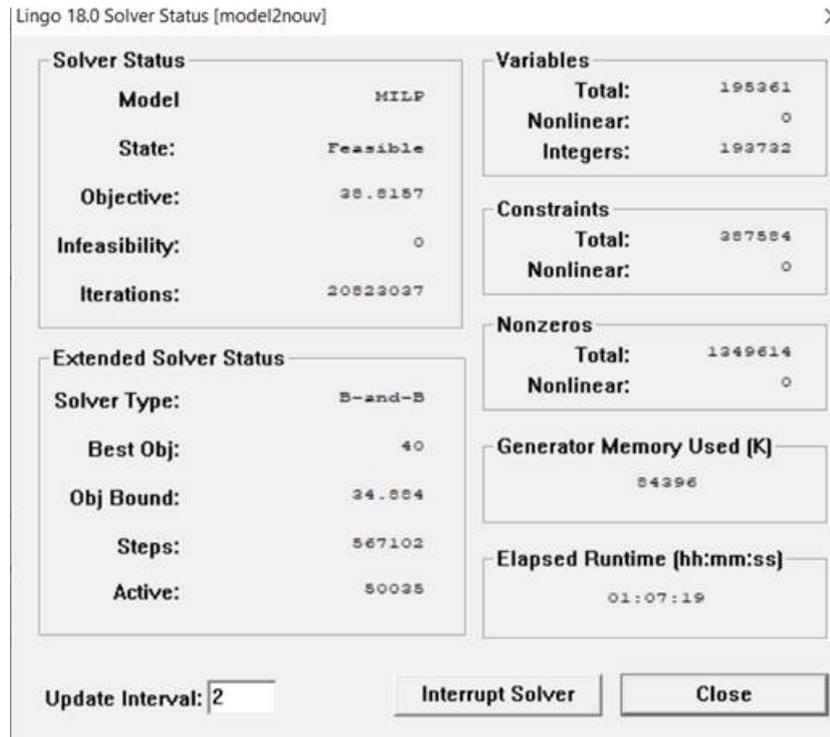


Figure III.5 : le résultat affiché par LINGO du 3<sup>ème</sup> Modèle.

### III.7.2. Les résultats d'exécution des cas d'études sélectionnés :

- ❖ Suite à notre travail d'ingénierie sur le solveur LINGO, on va afficher le meilleur résultat d'exécution des cas d'études traités comme suivant :

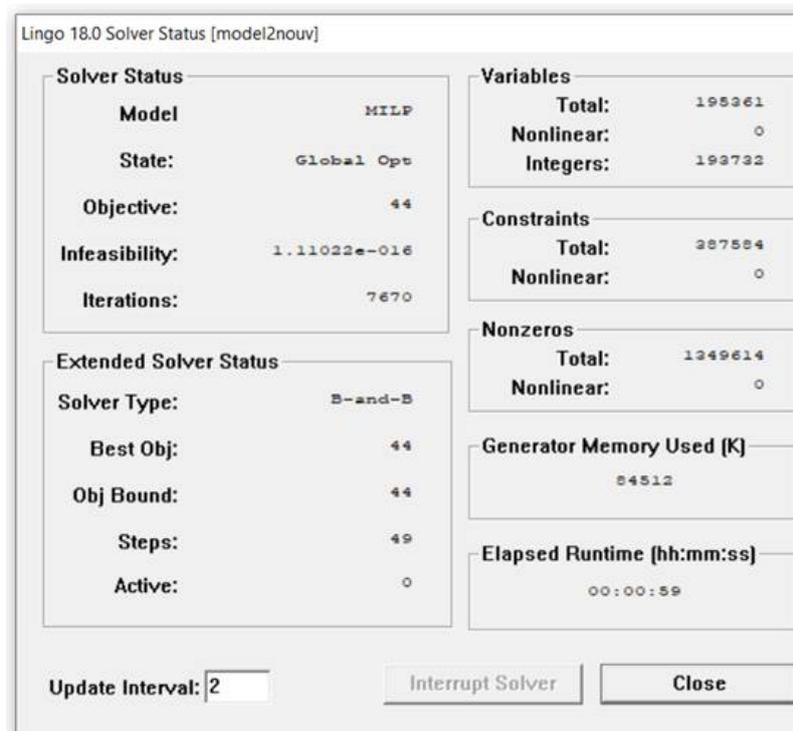
#### III.7.2.1. Le premier cas d'étude :

**1<sup>er</sup> Cas :** une distance 100 m entre les bacs et une capacité de 630 kg pour chaque bac.

Modèle <i>Solver</i>	State	Distance(m)	Capacité	Durée	Objectif (Nombre de bacs localisés)	Solution initiale (Nombre de bacs localisés)
Modèle 4 & Lingo	Faisable	100	630	2	44	/
Modèle 4 & l'App JAVA (RS)	Faisable	100	630	17 secondes	46	109

Tableau III.4. Affichage du 1<sup>er</sup> cas d'étude.

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :



**Figure III.6 :** le résultat affiché par LINGO.

### III.7.2.2. Le deuxième cas d'étude :

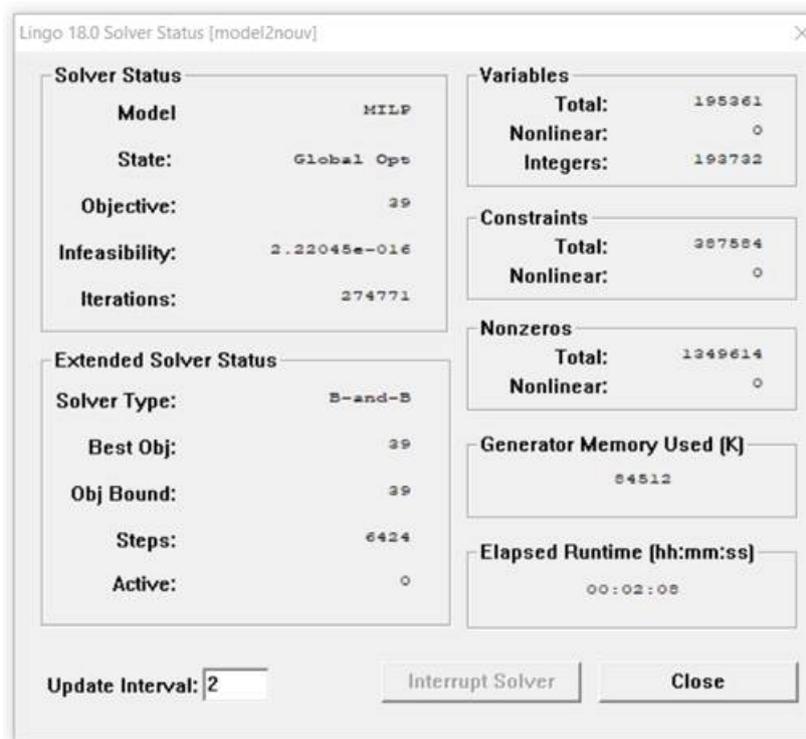
**2<sup>ème</sup> Cas :** Une distance 140 m entre les bacs et une capacité de 630 kg pour chaque bac.

Les résultats affichés sont comme suivants :

Modèle <i>Solver</i>	State	Distance(m)	Capacité	Durée	Objectif (Nombre de bacs localisés)	Solution initiale (Nombre de bacs localisés)
Modèle 5 & Lingo	Faisable	140	630	2 min et 8 s	39	/
Modèle 5 & l'App JAVA (RS)	Faisable	140	630	14 secondes	40	111

**Tableau III.4.** Affichage du 2<sup>ème</sup> cas d'étude.

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :



**Figure III.7 :** le résultat affiché par Lingo.

### III.7.2.3. L'interprétation des résultats traités sur Lingo et en JAVA :

D'après l'exécution de la fitness  $\sum \text{Cout de Localisation}$  par la métaheuristique RS, une ressemblance de résultats est remarquée avec les résultats affichés par le solveur LINGO et le meilleur cas d'étude traité reste le deuxième cas avec une distance de 140 m entre les bacs et une capacité de 630 kg

Afin d'afficher les bacs localisés dans QGIS voici la numérotation des bacs localisés :

Numéro de bac	Numéro de bâtiments affectés
18	(1, 3, 4)
34	(0, 2, 5, 6)
61	(7, 8)
115	(10, 12, 14)
126	(9, 11, 13)
186	(17, 18, 25, 26)
204	(15, 21, 22)
206	(16, 23, 31)
207	(24, 32, 33)
220	(19, 27, 29)
222	(20, 28, 30)
309	(37, 38)
334	(35, 36)

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :

347	(39, 48, 49)
352	(41, 42, 50)
361	(34, 43, 45)
367	(47, 56)
379	(40, 51, 59)
414	(44, 53, 54)
416	(46, 55, 63)
457	(52, 61, 67)
460	(60, 62, 68)
472	(57, 75)
476	(58, 65, 66)
487	(64, 71)
511	(70, 72, 80)
518	(74, 83, 84)
529	(69, 79)
560	(73, 81, 90)
566	(76, 85, 92, 93)
578	(77, 78, 86)
612	(82, 88, 98)
647	(94, 95, 103, 104)
659	(87, 96, 97, 107)
662	(89, 108, 109)
665	(91, 99, 100)
717	(101, 102, 113)
719	(110, 111, 114)
725	(105, 106, 112, 115)
798	(116, 117)

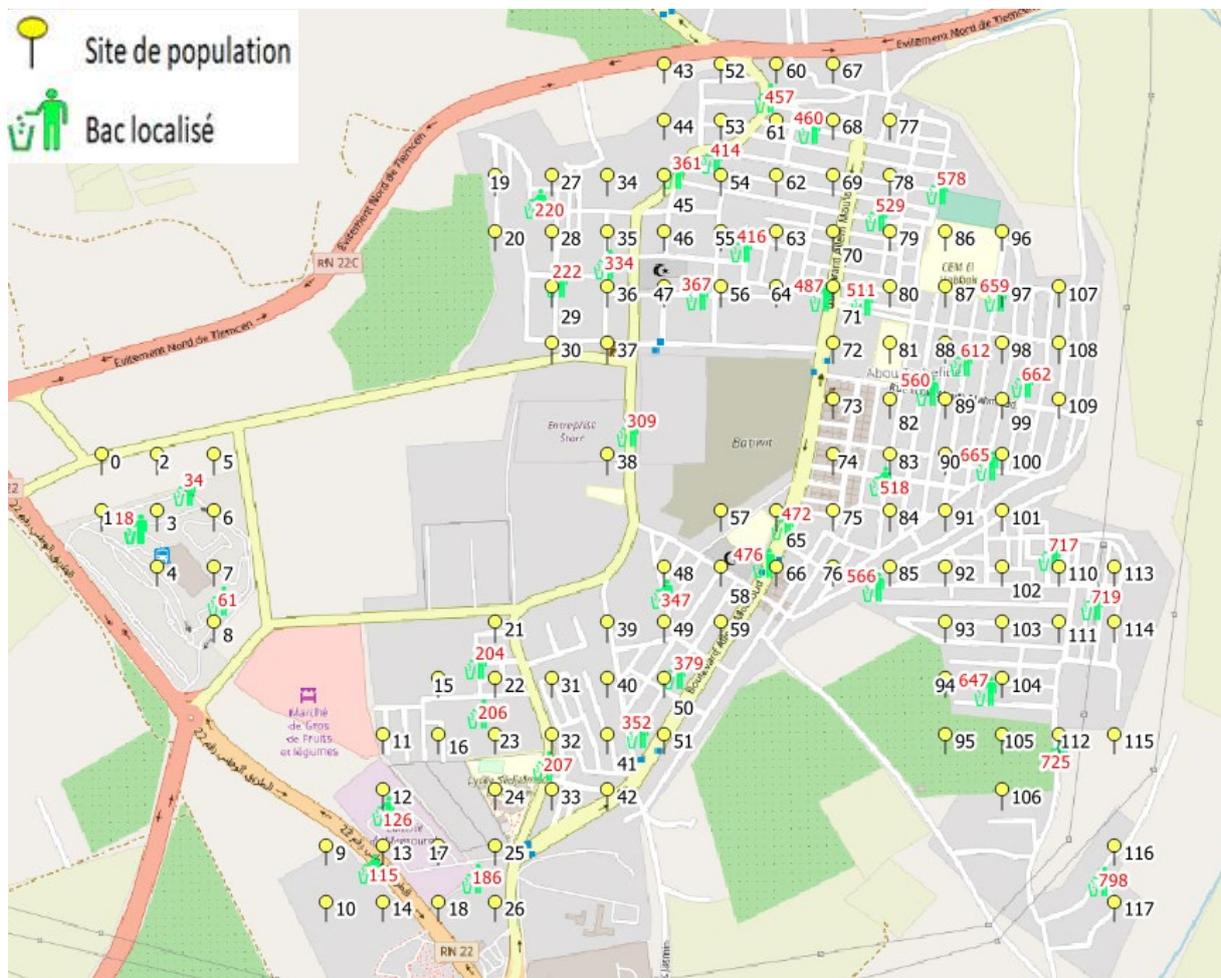
**Tableau III.5.1 Résultats métaheuristique RS : Affichage des bacs localisés avec 630 kg comme capacité et 100 m une distance entre les bacs (Fitness :  $\sum$  Coût) :**

### III.7.2.4. L'interprétation des solutions de problème :

Après avoir implémenté les paramètres du modèle qui donne le meilleur résultat dans l'application JAVA, (métaheuristique), le nettoyage initial a éliminé 801 bacs parmi 1628, la température initiale a diminué de 10000 jusqu'au  $T_{finale}=1$ , l'exécution répétée du recuit simulé adopté s'arrête en atteignant le critère d'arrêt. Nous avons vu que seulement 40 bacs étaient localisés et affectés aux bâtiments. Le tableau ci-dessus montre les bacs localisés avec les bâtiments qui lui sont affectés. En effet, les autres poubelles non localisées soit ne tiennent pas compte de la distance de 100 m entre le bâtiment et la poubelle ou la présence d'un bac qui présente une position plus performante en terme de contenance des déchets des sites localisés. Le cout total de localisation est de 320 000 DA.

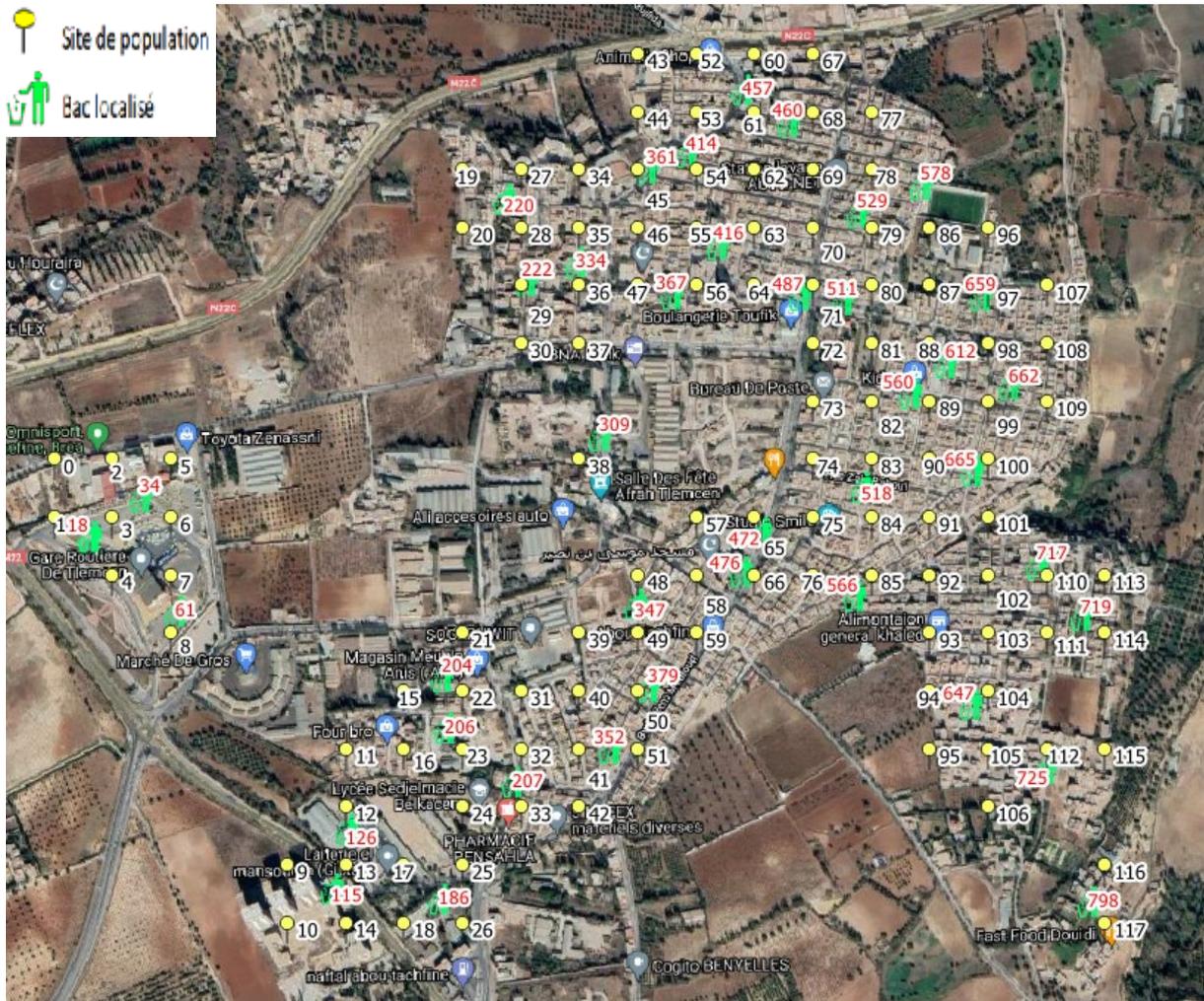
Afin d'avoir une vue géographique plus claire et plus significative, les coordonnées des bacs localisés ont été implémentées sur QGIS et GOOGLE EARTH.

### Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :



**Figure III.8 :** Les Emplacements des bacs et les bâtiments obtenus avec le RS sur QGIS selon street map.

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :



**Figure III.9:** Les Emplacements des bacs les bâtiments obtenus avec le RS sur QGIS selon google Hybrid map.

### III.7.3. Une fitness Fonction objectif plus performante :

Dans cette deuxième partie on va introduire un critère qui favorise le choix faisable des bacs et leurs emplacements, non seulement leurs couts de localisation mais aussi leurs taux de remplissage, une combinaison entre deux critères proportionnellement inversés ce qui résulte une fonction plus intéressante dans notre cas d'étude.

- ❖ Le but de ce modèle est la minimisation des nombres de bacs avec la fonction objectif suivante :

$$\text{Minimiser } \sum_{i=1}^n \frac{\text{cout}_i * P_i}{\text{taux}_i}$$

- ❖ Meme Pour la deuxième fitness  $\sum \frac{\text{Cout}}{\text{Taux}}$  on a choisie d'afficher le modèle qui donne le meilleur resultat entre les deux modèles traités au par avant.

**III.7.4. Les résultats d'exécution des cas d'études sélectionnées avec la nouvelle fitness :**

**III.7.4.1. Le premier cas traité avec la nouvelle fitness :**

**1<sup>er</sup> Cas :** une distance 100 m entre les bacs et une capacité de 630 kg pour chaque bac.

**III.7.4.1.1. L'interprétation des solutions de problème :**

Après avoir implémenté les paramètres du modèle dans notre programme, le nettoyage initial a éliminé 801 bacs parmi 1628 bacs, l'exécution répété du recuit simulé adopté s'arrête en atteignant le critère d'arrêt .et 46 bacs étaient localisés et affectés aux bâtiments. Le cout total de localisation est de 368 000 DA. avec un Taux de remplissage globale moyen égale à 0.778, ce qui donne une fitness égale à 236534.689. Le tableau ci-dessous montre les bacs localisés avec les bâtiments qui lui sont affectés :

Numéro de bac	Numéro de bâtiments affectés	Taux de remplissage
7	(0, 1)	0.40111116666666666663
36	(2, 3, 5, 6)	0.92888883333333334
40	(4, 7, 8)	0.980158666666666666
79	(9, 10)	0.76150800000000001
100	(13, 14, 18)	0.83690466666666667
107	(11, 12, 16)	0.88214283333333333
129	(17, 26)	0.475
141	(15, 21, 22)	0.92738099999999999
155	(19, 20, 28)	0.87460333333333333
181	(29, 30)	0.76150800000000001
189	(23, 31, 32)	0.99249650000000001
193	(24, 25, 33)	0.83690466666666667
200	(27, 34)	0.6833695
256	(38)	0.263888833333333335
264	(39, 40, 50)	0.94725833333333333
279	(35, 36)	0.90476200000000001
282	(37, 47)	0.76150800000000001
295	(41, 42, 51)	0.94725833333333333
301	(43, 44, 53)	0.8492425
314	(48, 49, 59)	0.88214283333333333
327	(45, 46, 54)	0.94725833333333333
350	(55, 62)	0.74848500000000001
359	(57, 58, 66)	0.92738099999999999
366	(52, 60, 61)	0.94725833333333333
372	(56, 63)	0.6833695
407	(67, 68)	0.68336950000000001
411	(69, 70)	0.74848500000000001
415	(64, 71)	0.74848500000000001

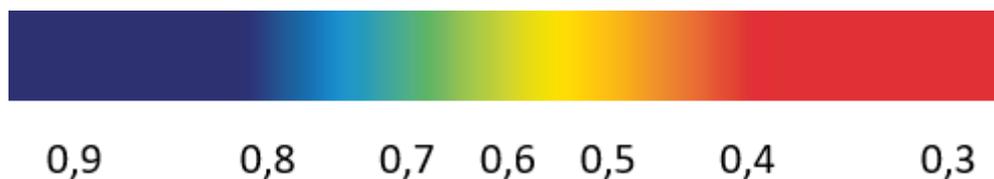
## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :

422	(65, 75)	0.6381313333333334
461	(72, 73, 81)	0.9273809999999999
463	(74, 82, 83)	0.9924965000000001
467	(76, 84, 85)	0.8369046666666667
474	(77, 78)	0.7484850000000001
477	(79, 80, 86)	0.8293651666666667
526	(87, 88)	0.5730158333333334
532	(90, 91, 100)	0.9924965000000001
553	(89, 99)	0.7484850000000001
559	(92, 93, 103)	0.8293651666666666
563	(94, 95, 104, 105)	0.9077776666666667
582	(101, 102, 110)	0.8821428333333333
589	(106, 112)	0.5202381666666667
595	(96, 97, 107)	0.7388888333333333
599	(98, 108, 109)	0.8369046666666667
632	(115)	0.21111116666666668
648	(111, 113, 114)	0.8369046666666667
687	(116, 117)	0.40111116666666663

**Tableau III.5.2** Affichage des bacs localisés obtenus par le RS avec 630 kg comme capacité et 100 m une distance entre les bacs (Fitness : Coût / Taux de remplissage) :

### III.7.4.2. La représentation spectrale :

Dans le prochains-modèle, on rajoute le facteur de taux de remplissage qui se diffère d'un bac à un autre, pour mieux visualiser cette différence sur QGIS on utilise une représentation spectrale qui montre selon la couleur du bac le niveau de remplissage de ce dernier.



**Figure III.10** : la variation de taux de remplissage selon les rayons spectraux

### III.7.4.3. Le deuxième cas traité avec la nouvelle fitness :

**2<sup>ème</sup> Cas** : Une distance 140 m entre les bacs et une capacité de 630 kg pour chaque bac.

#### III.7.4.3.1. L'interprétation des solutions de problème :

Après l'implémentation des paramètres du modèle dans notre programme, le nettoyage initial à éliminer 801 bacs parmi 1628, l'exécution répété du recuit simulé adopté s'arrête en atteignant le critère d'arrêt. On remarque une diminution dans le nombre de bac localisé : 41 bacs étaient localisés et affectés aux bâtiments. Le cout total de localisation est de 328 000 DA. avec un Taux de remplissage globale moyen égale a 0.831, ce qui donne une fitness égale à 197304.136. Le tableau ci-dessous montre les bacs localisés avec les bâtiments qui lui sont affectés :

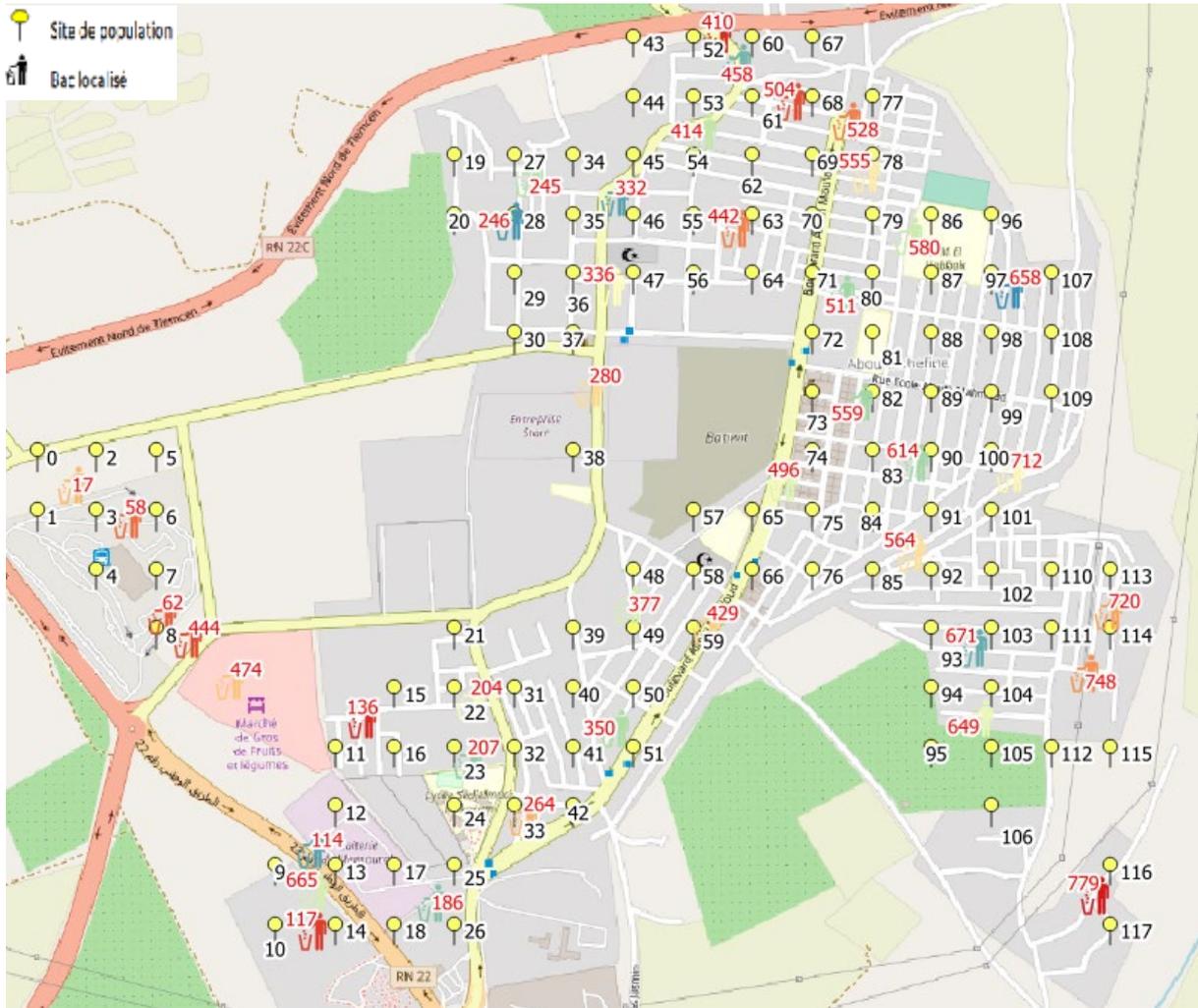
## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :

Numéro de bac	Numéro de bâtiments affectés	Taux de remplissage
17	(0, 1, 2, 3)	0.8343915873015872
58	(4, 5, 6)	0.6835977777777777
62	(7, 8)	0.6821617460317461
114	(9, 12, 13)	0.9765684126984128
117	(10, 14)	0.5888133333333333
136	(11, 15)	0.5457293650793651
186	(17, 18, 25, 26)	0.9550263492063492
204	(21, 23, 31)	0.8832199999999999
207	(16, 22, 32)	0.9452347619047624
245	(19, 28, 34)	0.9263039682539688
246	(20, 27, 29)	0.9883187301587302
264	(24, 33, 42)	0.7970520634920635
280	(30, 37, 38)	0.8401360317460318
332	(35, 45, 46)	0.9765684126984128
336	(36, 47)	0.8616780952380952
350	(40, 41, 51)	0.9452347619047616
377	(39, 48, 50)	0.9021507936507936
410	(43, 60)	0.5457293650793651
414	(44, 54, 62)	0.9139011111111112
429	(49, 59, 66)	0.8401360317460316
442	(55, 64)	0.7128428571428571
444	(56, 63)	0.6508280952380953
458	(52, 53, 67)	0.9641655555555557
474	(57, 58, 65)	0.840136031746031
496	(74, 75, 76)	0.9021507936507935
504	(61, 68)	0.6508280952380953
511	(70, 72, 81)	0.945234761904762
528	(69, 77)	0.7128428571428571
555	(71, 79, 86)	0.8518863492063489
559	(73, 82, 88)	0.945234761904762
564	(84, 85, 92)	0.8401360317460319
580	(78, 80, 87)	0.9021507936507939
614	(83, 89, 91)	0.945234761904762
649	(95, 104, 105, 106)	0.8846560317460318
658	(96, 97, 98, 107)	0.9981103174603175
665	(90, 100, 101)	0.9021507936507936
671	(93, 94, 102, 103)	0.9708239682539684
712	(99, 108, 109)	0.8590668253968253
720	(110, 113, 114)	0.7970520634920634
748	(111, 112, 115)	0.7898715873015874
779	(116, 117)	0.3820106349206349

**Tableau III.5.3 Affichage des bacs localisés avec 630 kg comme capacité et 140 m une distance entre les bacs (Fitness : Coût / Taux de remplissage) :**

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :

- ❖ En comparant entre les deux cas traités au par avant le meilleur cas traité reste toujours le deuxieme cas avec seulement 41 Bac localisé, dans les étapes suivantes on va afiché ce modèle sur QGIS



**Figure III.11 :** Les Emplacements des bacs et les sites du Selon les resultats du programme JAVA sur QGIS selon street map.

## Chapitre III : Optimisation de la localisation des bacs des déchets à l'aide des Méta-heuristique, zone d'Abou tachfine :

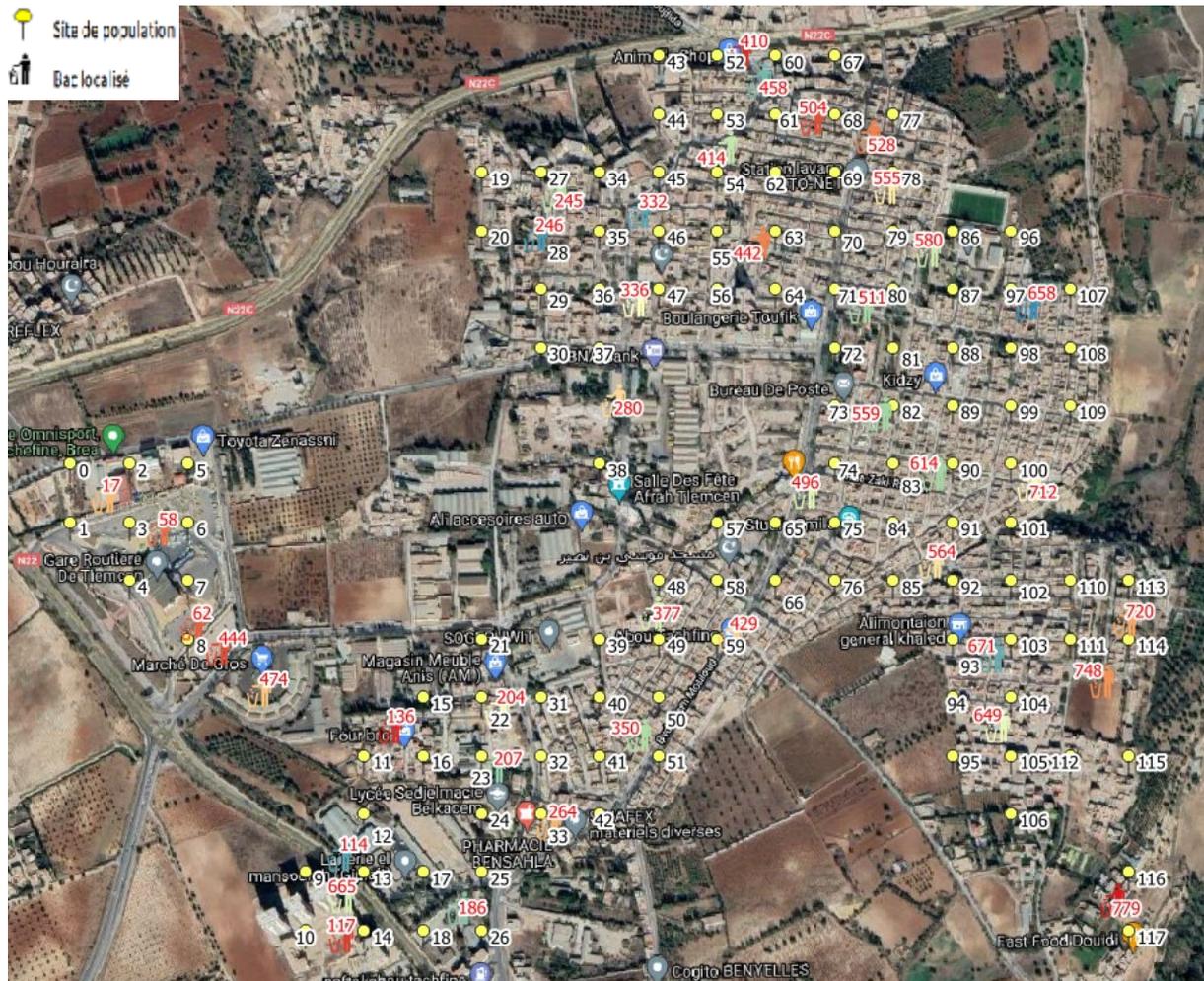


Figure III.12 : les emplacements des bacs et les sites du Selon les resultats du programmes JAVA sur QGIS.

### III.8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une application à base de la métaheuristique recuit simulé. L'application sera utilisée dans le secteur d'aménagement urbain, issue de la collecte de déchets auprès du citoyen. Après avoir exposé toutes les données réelles nécessaires à la résolution du problème étudié, nous avons analysé et interprété les résultats obtenus. Nous avons constaté clairement d'après ces résultats, que métaheuristique utilisée (Recuit simulé) avec l'algorithme glouton) pour générer la solution initiale fournissent des localisations proches à l'optimalité et bien meilleures en terme de faisabilité et de maintenabilité par rapport au Solveur Lingo qui est limité avec la contrainte de temps d'exécution, Ainsi les résultats fournis par l'application permettent d'apporter des améliorations importantes grâce aux données fournies après l'exécution (le lien entre les sites et les bacs qui leurs sont affectés , la localisation des zones d'insuffisance ...).

Notre projet est de concevoir et construire un réseau de collecte des ordures ménagères dans la zone d'Abou Tachfine avec une méthode de tri sélectif. Pour faire ce travail nous avons essayé d'appliquer les connaissances acquises au cours des cinq années d'études universitaires. Nous avons commencé cet article par une étude de la région d'Abou Tachfine,

La première partie du travail a été consacrée aux généralités du sujet, des définitions et les différents types du déchet. Par la suite nous avons exploré les déchets ménagers, leurs compositions et leurs caractéristiques, des généralités sur les sachets compostables, puis on a abordé le principe de la gestion des déchets qui regroupe la collecte et le tri, ainsi en cette partie nous avons détaillé les différentes étapes et modes de collecte et de tri.

En deuxième lieu, une présentation des problèmes d'optimisation combinatoire. Ensuite nous avons décrit les notions essentielles des méthodes approchées plus particulièrement les métaheuristiques.

La troisième partie est dédiée à la présentation de l'application, nous avons présenté une application à base de la métaheuristique recuit simulé. L'application sera utilisée dans le secteur d'aménagement urbain, issue de la collecte de déchets auprès du citoyen. Initialement nous nous intéressons à la concentration de population dans la division de la zone géographique qu'on a établie, suite aux données collectées on a défini la quantité de déchets jetés par les habitants dans chaque région.

Suite aux travaux d'ingénieur où le solveur Lingo nous a obligés de travailler avec des paramètres très limités non seulement le temps d'exécution, qui a limité les intervalles de distance et les capacités de remplissage des bacs et hors de ces intervalles une solution adéquate est difficile à trouver, mais même en travaillons dans ces intervalles on était parfois face aux problèmes de non-linéarité.

Pour solver ce problème on a proposé une application du métaheuristique Recuit simulé (RS) implémentée à l'aide du langage Java initialement on a réalisé un panel de comparaison entre les résultats des deux méthodes de résolution (par Lingo et par le RS) dans des intervalles élargis et des paramètres déversés, ensuite on a traité par le RS les cas d'études réalisés précédemment avec Lingo, aussi nous avons proposé une nouvelle fitness avec l'introduction des taux de remplissage dans les règles de choix des bacs à adopter.

Après avoir exposé toutes les données réelles nécessaires à la résolution du problème étudié, nous avons analysé et interprété les résultats obtenus. Nous avons constaté clairement d'après ces résultats, que L'application du RS fournit des résultats proches à l'optimalité et bien meilleures en terme de maintenabilité par rapport aux résultats issue du Solveur Lingo. Ainsi les résultats fournis par l'application permettent d'apporter des améliorations importantes (Affichage du lien qui relie les sites et les bacs qui leurs sont affectés, la localisation des zones d'insuffisance ...)

Enfin, Après l'évaluation de tous les cas d'étude traité avec le RS nous avons réalisé des affichages pour les meilleurs résultats obtenus dans chaque cas à l'aide du système d'information géographique QGIS pour clarifier les résultats et aider à prendre une décision finale concernant le modèle à adopter.

## Références

- [I.1] ADEME, 2005. Remise en état des décharges : Méthodes et Techniques, ADEME Editions.
- [I.2] ADEME, 2009b. Campagne nationale de caractérisation des ordures Ménagères, Résultats année 2007.
- [I.3] Damien, A, 2004. Guide du traitement des déchets, 3ème édition, Dunod
- [I.4] Gillet R, 1985. Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en voie de développement, 1er Volume : Programme minimum de gestion des ordures ménagères et des déchets assimilés.
- [I.5] JORADP N°66, du 16 décembre 1984. Décret n° 84 – 378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides Urbains.
- [I.6] JORADP N° 77, du 15 Décembre 2001. Loi N°01-19 du 12 Décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- [I.7] Moletta R, 2009. Le traitement des déchets, Editions TEC & amp ;DOC.
- [I.8] Mezouari et al, 2011. Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux thèse pour obtenir le grade de docteur de l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme en cotutelle avec l'Université de Limoges.
- [I.9] DESACHY. C, 2001. Les déchets (sensibilisation à une gestion écologique). Paris 2ème édition. 68 p.
- [I.10] Koller E., 2004. Traitement des pollutions industrielles: Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, 2ème édition. DUNOD, Paris, 432p.
- [I.11] M.A.T.E, 2001 :«Manuel d'information sur la gestion et l'élimination des déchets solides urbains».
- [I.12] Mustin M., 1987. Le compost : gestion de la matière organique, Ed. François Lubusc, Paris, 954p.
- [I.13] Duval C., 2004. Matières plastiques et environnement: Recyclage, Valorisation, Biodégradabilité, Écoconception, Ed. DUNOD, Paris, 320p.
- [I.14] Turlan T., 2013. Les déchets: Collecte, Traitement, Tri, Recyclage, Ed. DUNOD, Paris, 215p.
- [I.15] Addou A., 2009. Traitement des déchets : Valorisation, élimination, Ed. Ellipses, Paris, 284p.
- [I.16] Balet J-M., 2008. Gestion des déchets : Aide-mémoire, 2<sup>ème</sup> édition. DUNOD, Paris, 230p.
- [I.17] Desachy C., 2001. Les déchets : Sensibilisation à une gestion écologique, 2ème édition. TEC & Doc, Paris, 70p.
- [II.1] S. MAHDI. Optimisation multi objectif par un nouveau schéma de coopération méta/exacte. Thèse de magister, Université Mentouri de Constantine.
- [II .2] A. SAHA. Résolution des problèmes multi objectifs à base de colonies de fourmi. Thèse de magister en informatique, Université de Batna.
- [II .3]: h. Hacene. Etude comparative des heuristiques d'optimisation combinatoire. Mémoire de master, Université de Biskra, 2015.
- [II .4] Dridi, I. H. Optimisation heuristique pour la résolution du m-PDPTW statique et dynamique. PhD thesis, \_Ecole Centrale de Lille, 2010.
- [II .5] M. Maafa, N. Optimisation du schéma de distribution des carburants au niveau de NAFTAL. PhD thesis, Université de Bejaia, 2003.

## Références

- [II .6] Oyola, J., Arntzen, H., and Woodruff, D. L. The stochastic vehicle routing problem, a literature review, part i : models. EURO Journal on Transportation and Logistics 7, 3 (2018), 193-221.
- [II .7] Sylvain (1986), « Dictionnaire de la comptabilité et des disciplines connues », Montréal, Institut Canadien des Comptables agréés.
- [II .8] Shear (1997), « Reverse Logistics: An issue of Bottom-line performance », Chain Store Age, vol.73 n°1.
- [III.1] Sun M en 1995, Les bases de la programmation orientée objet avec Java, IGM.

### Resumé :

Depuis longtemps, les déchets étaient une source de nuisances 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.

La collecte des déchets ménagers est une étape indispensable dans le traitement des ordures, À cet égard nous avons proposé des modèles pour la localisation optimale des bacs dans la commune D'Abou Tachfine.

La présente étude porte sur l'utilisation des Systèmes d'information Géographiques (SIG) comme outil d'aide à la gestion des déchets ménagers. Cet outil se base sur l'insertion d'une série d'informations concernant les déchets ménagers, parmi ces informations les coordonnées des bacs alloués parmi plusieurs emplacements possibles d'allocation, pour choisir ces emplacements on a proposé une application du métaheuristique Recuit simulé (RS) implémentée à l'aide du langage Java qui nous a donné les meilleurs emplacements possibles pour l'implantation des bacs.

**Les Mots clés :** Systèmes d'information Géographiques (SIG), déchets ménagers, la commune D'Abou Tachfine, Recuit simulé (RS), Java.

### Abstract :

For a long time, waste was a source of nuisance for all and is now a source of revolution for the countries that manage their waste well, Algeria among the countries that is still lagging behind in this field.

The collection of household waste is an essential step in the treatment of garbage, In this regard we have proposed models for the optimal location of waste containers in the city of Abou Tachfine.

This study focuses on the use of Geographic Information Systems (GIS) as a tool to assist in the management of household waste. This tool is based on the insertion of a series of information concerning household waste, among which the coordinates of the allocated places for waste containers among several possible locations, To choose these locations we proposed an application of the metaheuristic path simulators implemented using the Java language which gave us the best possible locations for the implementation of the waste containers.

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS), household waste, city of Abou Tachfine., path simulator, Java.

### ملخص:

ولفترة طويلة، كانت النفايات مصدر إزعاج للجميع وأصبحت الآن مصدراً للثورة بالنسبة للبلدان التي تدير نفاياتها بشكل، من بين البلدان التي لا تزال متخلفة في هذا المجال الجزائر. كما يشكل جمع النفايات المنزلية خطوة أساسية في معالجة القمامة، وتركز هذه الدراسة على استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة للمساعدة في إدارة النفايات. وتستند هذه الأداة إلى إدراج سلسلة من المعلومات المتعلقة بالنفايات المنزلية، من بينها إحداثيات الخانات المخصصة بين عدة مواقع محتملة لتخصيص الأماكن الجيدة لحاويات النفايات، ولكي نختار هذه المواقع فقد اقترحنا تطبيقاً لمحاكات المسار التي تم تنفيذها باستخدام لغة جافا التي أعطتنا أفضل المواقع الممكنة لأختيار أماكن جيدة لحاويات النفايات.

**الكلمات الرئيسية:** نظم المعلومات الجغرافية، النفايات المنزلية، بلدية أبي تاشفين، تطبيق محاكات المسار، جافا.