



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Département de génie des procédés



Thèse

Présentée à

La faculté des sciences et de la technologie

Par

ABDELLI Islam Safia

Pour obtenir le grade de

Doctorat en génie des procédés

Spécialité : Génie Analytique et Environnementale

**Optimisation d'une collecte d'ordures ménagères dans
la wilaya de Mostaganem**

Soutenue le 02/12/2015, devant la commission d'examen :

Pr	S. BENTATA	Président	Université de Mostaganem
Pr	F. ABDELMALEK	Examineur	Université de Mostaganem
M.C. Habilité	K. MESGHOUNI	Examineur	Ecole Centrale de Lille
Pr	A. DJELLOUL	Co- Directeur de thèse	Université de Mostaganem
Pr	A. ADDOU	Directeur de thèse	Université de Mostaganem

Remerciements

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la contribution amicale et combien précieuse d'un grand nombre de personnes. Que soient remerciés :

Le **Professeur Ahmed ADDOU** qui a accepté de diriger cette thèse, pour toute l'attention qu'il m'a accordée durant ces années de recherche. Pour sa disponibilité, ses conseils et ces encouragements dont j'ai bénéficié pour mener à bien ce travail.

La directrice du laboratoire Professeur **Fatiha ABDELMALEK** pour m'avoir accordé l'accès à son laboratoire (STEVA), d'avoir mis à ma disposition les moyens du laboratoire, pour son soutien inconditionnel, sa patience et sa présence.

M. Khaled MEZGHOUNI de l'Ecole Centrale de Lille, pour m'avoir accueilli au laboratoire d'automatique, génie informatique et signal, pour sa disponibilité et sa gentillesse durant les stages effectués au sein de leur laboratoire.

Les **Professeurs Abdelkader Djelloul et R.M. GHEZZAR**, pour leur aide, leur présence et leur conseil inconditionnel.

M. Badreddine KETFI pour sans assistance sans limite dans la maîtrise du Logiciel ARCGIS et pour toutes les connaissances que j'ai pu acquérir sur le logiciel.

M. Mohamed CHAMI le Directeur Général de la CACI (Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie) et **El Hadi MAKBOUL le Secrétaire Général du Ministère de l'Environnement** pour m'avoir facilité l'accès aux différents sites des Centres d'Enfouissement Technique.

Je tiens à remercier mon **père** et mon **époux** pour leur compréhension et leur soutien durant toute la durée de mes études. Je me dois ici d'élever ma reconnaissance à la hauteur de leur patience.

Merci à tous les membres du laboratoire STEVA et ceux de l'équipe « Lithiase » pour leurs encouragements et leur aide.

Résumé de la thèse

La gestion des déchets a longtemps été une action naturelle des populations et devient actuellement une préoccupation majeure pour les pays en développement. La gestion des déchets ménagers à Mostaganem se limitait au ramassage et au transport vers des décharges sauvages. Depuis la fin 2010, la situation a changé dans la mesure où il existe actuellement un centre d'enfouissement technique (CET) qui permet une meilleure gestion. La collecte et le transport des déchets ménagers sont parmi les maillons les plus importants dans la gestion des déchets, représentant ainsi une part importante du budget. Il est par conséquent indispensable pour une gestion durable d'en réduire, d'une part, l'impact sur l'environnement et d'autre part, diminuer le coût lié aux opérations de collecte et de transport. Pour optimiser les circuits de la collecte, il faut disposer d'informations fiables sur les éléments qui présentent les difficultés les plus communes rencontrées dans ce type de gestion, dans ce contexte il était nécessaire d'étudier la gestion des déchets ménagers dans le CET de Sour.

Le but de notre travail consiste, premièrement, à déterminer les principaux éléments liés aux déchets ménagers (production de déchets, composition physique, paramètres physico-chimiques et bactériologiques, modes et moyens de collecte) qui permettent d'aider les collectivités locales (municipalités, décideurs, acteurs politiques et secteur privé) à la prise de décision dans l'amélioration de l'exploitation du CET avec des tentatives de proposition de filières de valorisation par application du principe 3R-VE (réduction des déchets à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination).

L'étude a porté sur l'évaluation qualitative et quantitative des déchets ménagers collectés depuis 2011 au niveau du CET de la ville de Mostaganem et les 6 municipalités qui relèvent de ce dernier. Et deuxièmement, de proposer une étude d'optimisation du coût de la collecte et des émissions des polluants générés par ce service par l'utilisation d'une nouvelle méthode d'organisation des secteurs de travail. Cette méthode combine l'optimisation des itinéraires des véhicules à celle de la collecte des déchets ménagers, en se basant sur l'organisation actuelle de la collecte (les mêmes points de collecte) et en prenant en compte la capacité des véhicules utilisés et les quantités générées dans chaque point de collecte. Plutôt que d'utiliser des valeurs moyennes, des paramètres pertinents ayant une influence sur la consommation de carburant ont été utilisés.

L'optimisation des tournées des véhicules fait appel au système d'information géographique SIG. Cette optimisation permet une réduction des longueurs des itinéraires, du temps consacré à la collecte, la consommation de carburant et les émissions polluantes. Plusieurs scénarios ont été proposés afin d'améliorer cette optimisation.

Les résultats montrent l'effet bénéfique incontestable de la construction d'un centre de transfert sur le coût de la collecte des déchets ménagers (main d'œuvre, entretien des véhicules et consommation du carburant) et la réduction des émissions polluantes.

Summary

Waste management has long been a natural action of the population and is now becoming a major concern for developing countries.

The management of solid waste in Mostaganem district was limited to collection and transportation to open dumpsites.

By the end of 2010, the situation has changed since there exists now a sanitary landfill (SL) which allows for better management.

The collection and the transport of household wastes are among the most important factors in the management of wastes, hence representing a major part of the budget.

Consequently, it is essential for a lasting management to reduce in the first hand the impact on the environment and on the other hand to minimize the cost of collection and transport.

For this purpose, one must have reliable elements for optimizing the circuits of collection which show the most common difficulties may in this type of management (Facio et al, 2011),

in this context it was necessary to study the management of household waste in the landfill of Sour.

The study is on the qualitative and quantitative evaluation of MSW collected since 2011 from the SL of Mostaganem city and six nearby municipalities.

And secondly, to propose a study of optimization of the cost of the collection and polluting emissions generated by this service through the use of a new method of organizing of the sectors of work.

This method combines the optimization of the routes of the vehicles with that of the collection of household waste, based on the current organization of the collection (same points of collection) and by taking of account the capacity of the vehicles used and the quantities generated in each point of collection.

Rather than to use average values, relevant parameters having an influence on fuel consumption were used.

The process of vehicle routing optimization involves the geographical information system (GIS).

This optimization enables a reduction of travelled distances, collection time, fuel consumption and polluting emissions. Several scenarios have been proposed in order to improve this optimization.

The results show the importance of the construction of a waste transfer station added to the cost of household wastes collection (labor, vehicles maintenance and fuel consumption) and the reduction of polluting emissions.

الملخص

إدارة النفايات كانت لفترة طويلة عملاً طبيعياً للسكان و أصبحت حالياً مصدر اهتمام البلدان النامية. إدارة النفايات بمدينة مستغانم كانت تقتصر على رفع و نقل النفايات إلى مواقع التفريغ العشوائي، ولكن منذ نهاية 2011 تغيرت وضعية المدينة في هذا المجال و ذلك بعد افتتاح مركز الردم التقني الذي يسمح بإدارة أفضل للنفايات المنزلية.

يعد رفع و نقل النفايات المنزلية من أهم العمليات في إدارة النفايات، حيث يمثل الجزء الأهم في الميزانية. ومن أجل إدارة مستدامة للنفايات، فإنه من الضروري التقليل من عمليات الرفع و النقل و ذلك من أجل الحفاظ على البيئة و صحة الإنسان و التقليل من تكلفتها.

من أجل هذا، يجب ان تتوفر لدينا المعطيات الدقيقة. في هذا السياق كان من الضروري إجراء دراسة حول إدارة النفايات في مركز الردم التقني في بلدية صور.

الهدف الأول من هذا العمل يكمن في تحديد العناصر الهامة المتعلقة بالنفايات المنزلية (إنتاج النفايات، المكونات الفيزيائية للنفايات، الفيزيوكيميائية و البكتريولوجية، طرق و وسائل الرفع) حتى تسمح للجماعات المحلية (البلديات، صناع القرار، المصلين السياسيين و القطاع الخاص) لأخذ القرارات اللازمة لتحسين استغلال مركز الردم التقني و ذلك بتقديم اقتراحات في مجال تجميع النفايات.

سمحت هذه الدراسة في التقييم الكمي و الكيفي للنفايات المنزلية التي رفعت منذ 2011 على مستوى مركز الردم التقني لولاية مستغانم و البلديات الست التي تستغل المركز.

أما الهدف الثاني من عملنا هذا يتمثل في اقتراح دراسة للتقليل من تكلفة رفع و نقل النفايات و التقليل من الانبعاثات الملوثة باستعمال طريقة تنظيم جديدة. هذه الطريقة تجمع بين تقليل مسارات المركبات و مصلحة رفع و نقل النفايات إستناداً على الوضعية الحالية للمصلحة (نفس نقاط الرفع) و بأخذ بعين الاعتبار سعة الشاحنات، كمية النفايات المنتجة...

عوض استعمال معطيات عامة، تم استعمال دقيقة مستمدة من الواقع و ذات تأثير حول استهلاك الوقود. تقليل مسارات المركبات يعتمد على استخدام نظام المعلومات الجغرافية. هذه العملية تسمح بتخفيض طول مسارات المركبات، الوقت المسخر لعملية الرفع و النقل، الوقود المستخدم في العملية و الانبعاثات الملوثة. سيناريوهات متعددة تم اقتراحها للوصول إلى الهدف المرجو.

أظهرت النتائج فائدة لا يمكن إنكارها لبناء مركز نقل على تكلفة نقل و رفع النفايات المنزلية (اليد العاملة، صيانة المركبات و استخدام الوقود) و تقليل الانبعاثات الملوثة.

Table des matières

Introduction générale	XVI
I. Notions sur les déchets ménagers	2
I.1. Généralités sur les Déchets	2
I.1.1. Définition juridique algérienne.....	2
I.1.2. Nomenclature	2
I.1.3. Cadre juridique Algérien	3
I.1.4. Classification des déchets.....	6
I.1.5. Caractérisations des déchets ménagers solides.....	8
I.1.5.1. Caractérisation physique (composition physique).....	8
I.1.5.2. Caractérisation chimique	12
I.1.5.3. Caractérisation microbiologique	15
I.1.6. Production des déchets ménagers	17
I.2. Gestion des déchets ménagers.....	19
I.2.1. Qu'est-ce que la gestion des déchets	19
I.2.2. Stratégie, plans d'action et priorités	19
I.2.3. Les objectifs de la gestion des déchets	20
I.2.4. Principe de la gestion des déchets	21
I.2.5. Les acteurs intervenants sur la gestion des déchets.....	22
I.2.5.1. Le secteur public.....	23
I.2.5.2. Le secteur privé formel.....	25
I.2.5.3. Le secteur Privé informel	25
I.2.6. Mode de gestion	25
I.2.6.1. La gestion directe (dite en régie) par la collectivité :	26
I.2.6.2. La gestion déléguée	26
I.2.6.3. La gestion communautaire	26
I.2.7. Mode de gestion du service en Algérie	26
I.2.7.1. La gestion directe en régie.....	26
I.2.7.2. L'établissement public.....	26
I.2.7.3. Le marché public	27
I.2.7.4. Délégation de service public (concession)	28
I.2.8. Problématique de gestion des déchets ménagers dans les PED	28
I.2.9. La politique de gestion des déchets ménagers en Algérie	30
I.3. La collecte	32
I.3.1. L'opération de la collecte	32
I.3.1.1. Pré-collecte	32
I.3.1.2. La collecte	32
I.3.2. Le cadre juridique de la collecte en Algérie	33
I.3.3. Les critères de qualité de la collecte des déchets ménagers	33
I.3.4. Actions préventives de la collecte	34
I.3.5. Modes de collecte	34
I.3.6. Financement de la collecte	35
I.3.6.1. Budget général.....	35
I.3.6.2. Taxe d'enlèvement des ordures ménagères (TEOM).....	35

I.3.7.	Moyens de collecte	36
I.3.8.	Optimisation de la collecte	36
II.	Matériels et méthodes	40
II.1.	Analyse physique	40
II.1.1.	Composition physique (échantillonnage et caractérisation).....	40
II.1.2.	Densité.....	40
II.2.	Analyse chimique.....	40
II.2.1.	Humidité et matière sèche	41
II.2.2.	pH 41	
II.2.3.	Mesure de la teneur en matière organique.....	41
II.2.4.	Carbone organique par la méthode d'ANNE	41
II.2.5.	Teneur en azote.....	42
II.2.6.	Rapport C/N.....	43
II.2.7.	Analyse des métaux lourds.....	44
II.3.	Analyses biologiques	44
II.3.1.	Echantillonnage	44
II.3.2.	Recherche des staphylocoques pathogènes (Norme XP-T 90-412)	44
II.3.3.	Recherche des entérocoques (Norme NF ISO 7899-1)	44
II.3.4.	Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs et leurs spores (Norme Afnor NF EN 26461-1, ISO6461-1).....	45
II.3.5.	Recherche de Campylobacter jejuni (Norme ISO 17-995)	45
II.3.6.	Recherche de salmonella spp (Norme NF EN ISO 6579).....	45
II.3.7.	Recherche de Yersinia enterocolitica	46
II.3.8.	Recherche des coliformes totaux (Norme NF V 08-050).....	46
II.3.9.	Recherche des coliformes fécaux (thermo-tolérants) (Norme NF V 08-060).....	46
II.3.10.	Recherche des germes fécaux (Norme NF EN ISO 4833)	46
III.	la gestion des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem.....	48
III.1.	Contexte socioéconomique de la ville	48
III.2.	Identification des activités génératrices des déchets ménagers	48
III.3.	Mode de gestion des déchets ménagers de la ville.....	49
III.4.	Problématique de saturation du premier casier	51
III.5.	Evolution de la production des déchets ménagers de la ville	52
III.6.	Quantités des déchets reçues au CET	53
III.7.	Production des déchets en fonction des saisons et du mois de jeûne (ramadan)	55
III.8.	Composition des déchets ménagers	57
III.8.1.	Composition des déchets ménagers dans le CET et dans la ville de Mostaganem	57
III.8.2.	Composition des déchets dans les villes algériennes en fonction de leur position géographique	59
III.8.3.	Composition des déchets ménagers dans certains pays du monde.....	62
III.9.	Caractérisations physico-chimique des déchets ménagers.....	63
III.10.	Caractérisation microbiologique	67
III.11.	Valorisation des déchets ménagers au niveau du CET.....	68
III.11.1.	Le principe des 3R-VE	68
III.11.2.	Compostage	70
III.11.3.	Production de biogaz au niveau du CET	71

III.11.4. Valorisation du biogaz.....	72
III.11.5. Incinération.....	72
IV. Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem.....	75
IV.1. Présentation du service actuelle de la collecte des déchets ménagers	75
IV.1.1. Caractérisation de la collecte.....	75
IV.1.2. Moyens de collecte	78
IV.1.3. Financement de la collecte	79
IV.1.4. Coût de la collecte	80
IV.2. Optimisation de la collecte des déchets ménagers	80
IV.3. Calcul de la consommation du carburant	81
IV.3.1. Calcul des émissions des polluants.....	84
IV.3.2. Calcul des émissions polluantes du système actuel de la collecte.....	84
IV.4. Optimisation des tournées des véhicules	85
IV.4.1. Scénario 1. Optimisation des distances	86
IV.4.2. Scénario 2. Optimisation du temps.....	86
IV.4.3. Scénario 3. Proposition de véhicules de 12m ³ de capacité.....	86
IV.4.4. Scénario 4. Proposition de construction d'un centre de transfert.....	86
IV.4.5. Scénario 5. Proposition de construction d'un centre de transfert avec des camions de 12m ³ de capacité	87
IV.5. Résultats de l'optimisation.....	87
IV.5.1. Scénario 1 : optimisation des distances	87
IV.5.2. Scénario 2 : optimisation du temps	92
IV.5.3. Scénario 3 : proposition de véhicules de capacité de 12m ³	94
IV.5.4. Scénario 4 : Proposition de la construction d'un centre de transfert.....	96
IV.5.5. Scénario 5 : proposition de la construction d'un centre de transfert avec des camions de capacité 12m ³	98
IV.6. Comparaison des résultats.....	100
Conclusion générale	102
Références bibliographiques	104
Annexe	Erreur ! Signet non défini.

Abréviations

3P : *Principe du pollueur-payeur*

3R-VE : *Réduction des déchets à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination*

ADEME : *Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie*

ADS : *Agence de Développement Social*

Al : *Aluminium*

AND : *L'Agence Nationale des Déchets*

ANGEM : *Agence nationale de gestion du microcrédit*

ANSEJ : *Agence national de soutien à l'emploi des jeunes*

APC : *Assemblée populaire communale*

ARP : *Arc routing problem*

As : *Arsenic*

B : *Bore*

Bi : *Bismuth*

BM : *Banque mondiale*

BTP : *Bâtiment et travaux publics*

CET : *Centre d'enfouissement technique*

C/N : *Rapport carbone organique/azote*

Ca : *Calcium*

Cd : *Cadmium*

CNFE : *Le Conservatoire National des Formations à l'Environnement*

CO : *monoxyde de carbone*

CO₂ : *Dioxyde de carbone*

Cr : *Chrome*

Cu : *Cuivre*

DEW : *Directions de l'Environnement de Wilaya*

DIB : *Déchets industriels banals*

DSM : *Déchet solide ménager*

DUS : *Déchets urbains solides*

ECO-JEM : *Système Public de Reprise et de Valorisation des Déchets d'Emballages*

EPA : *Etablissements publics administratifs*

EPIC : *Etablissement public industriel et commercial*

FCCL : *Fonds commun des collectivités locales*

FEDEP : *Fonds de l'environnement et de la dépollution*

G.E.S : *Gaz à effet de serre*

GIS: *Geographic information system*

GPRS : *General Packet Radio Service*

GPS : *Global Positioning System*

H : *Humidité*

H₂SO₄ : *Acide sulfurique*

Hab : *Habitant*

Hg : *Mercure*

HIV : *human immunodeficiency virus*

ICP-AES : *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*

IEC : *Information, éducation et communication*

K : *Potassium*

Kg : *Kilogramme*

MATE : *Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement*

Mg : *Magnésium*

Mg : *Milligramme*

Mn : *Manganèse*

Mn : *Manganèse*

MO : *Teneur en carbone organique*

MODECOM© : *Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères*

Mot : *Matière organique totale*

MRIOM : *Matériaux Recyclables issus des ordures ménagères*

MS : *Matière sèche*

MSW : *Municipal solid waste*

Na : *Sodium*

Ni : *Nickel*

NO₃ : *Nitrate*

NO_x : *les oxydes d'azote*

OGM: *Organisme Génétiquement modifié*

OM : *Ordures ménagères*

ONEDD : *L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable*

ONG : *Organisation non gouvernementale*

Pb : *Plomb*

PCI : *Pouvoir calorifique inférieur*

PED : *Pays en développement*

PEHD : *Polyéthylène haute densité*

pH : *Potentiel hydrogène*

PIB : *Produit intérieur brut*

PM : *Molécule particulaire*

PNAE-DD : *Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable*

PNAGDES : *Plan national de gestion des déchets spéciaux*

PNUE : *Programme des Nations Unies pour l'Environnement*

PROGDEM : *programme national de gestion des déchets ménagers*

PVC : *Polychlorure de vinyle*

RFID : *Radio Frequency IDentification*

SCGDMA : *Schémas communaux de gestion des déchets ménagers et assimilés*

Se : *Sélénium*

SIG : *Système d'information géographique*

SL : *Sanitary landfill*

SNMG : *Salaire national minimum garanti*

Sr : *Strontium*

TEOM : *Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères*

UTOM : *Unité de traitement des ordures ménagères*

VRBL : *Milieu lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre*

VRP : *Vehicle Routing Problem*

Zn : *Zinc*

Liste des tableaux

Tableau 1: exemples de nomenclature des déchets ménagers et assimilés.....	3
Tableau 2: composition des déchets de quelque pays en %.....	11
Tableau 3: Densité moyenne des déchets solides urbains dans les villes africaines comparée à celles d'Asie, d'Amérique, et d'Europe. (Ben Ammar, 2006).....	12
Tableau 4: Teneur en eau des déchets ménagers.	13
Tableau 5: Les teneurs en métaux dans les déchets ménagers.....	15
Tableau 6: Les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les déchets ménagers (Schwartzbord et al., 1998).....	16
Tableau 7: Production des déchets dans des différentes villes.	17
Tableau 8: les étapes du dosage nitrate (courbe d'étalonnage).....	43
Tableau 9 : les étapes du dosage nitrite (courbe d'étalonnage)	43
Tableau 10: Quantités des déchets ménagers reçus au CET pour les 7 municipalités.....	54
Tableau 11: évolution de la composition des déchets ménagers de la ville de Mostaganem et du CET	58
Tableau 12: composition en % des déchets ménagers dans les villes algériennes en fonction de leur position géographique	60
Tableau 13: la composition en % des déchets ménagers dans quelques pays du monde	62
Tableau 14: résultats de la caractérisation physicochimique des déchets ménagers de la ville.....	63
Tableau 15: résultats d'analyse des microorganismes dans les déchets ménagers	67
Tableau 16 : les quantités en tonnes et les montants de vente en millions de DA des déchets ménagers valorisées	69
Tableau 17: le système actuel de la collecte des déchets ménagers.....	77
Tableau 18: caractéristiques de la collecte des municipalités exploitant le CET de Sour	78
Tableau 19: Moyens de collecte pour les villes exploitant le CET de Sour	79
Tableau 20: Taux de recouvrement de TEOM.....	79
Tableau 21: les différentes classes des routes et leurs descriptions (Ericsson et al., 2006).....	83
Tableau 22: nomenclature des paramètres utilisés pour le calcul des émissions des polluants [Zsigraiova et al., 2013]	84
Tableau 23: Résultats d'optimisation des distances à l'intérieur de la ville	89
Tableau 24: Résultats d'optimisation des distances (cas général)	91
Tableau 25: résultats de l'optimisation des distances sur les émissions des polluants	92
Tableau 26: résultats de l'optimisation du temps de travail (Scénario 2)	93
Tableau 27: résultats de l'optimisation du temps sur les émissions des polluants	94

Tableau 28: résultats de l'optimisation des distances avec proposition de véhicules de capacité de 12 m3.....	95
Tableau 29: résultats de l'optimisation des distances et l'usage des véhicules de 12 m3 sur les émissions des polluants	96
Tableau 30: résultats de l'optimisation des distances avec proposition de construction d'un centre de transfert (scénario 4).....	97
Tableau 31: résultats de l'optimisation des distances avec proposition de la construction d'un centre de transfert.....	98
Tableau 32: résultats de l'optimisation des distances avec proposition d'usage de véhicules de capacité de 12 m3 et la construction d'un centre de transfert	99
Tableau 33: résultats de l'optimisation des distances et l'usage des véhicules de 12 m3 et la construction d'un centre de transfert sur les émissions des polluants.....	99

Liste des figures

Figure 1: Décharge sauvage	51
Figure 2: enfouissement en alvéole.....	51
Figure 3: Evolution des quantités par an (en tonne/jour).....	52
Figure 4: Les quantités des déchets générés en tonne par jour par saison et le mois de jeûne	56
Figure 5: Identification des secteurs de collecte de la ville	75
Figure 6: Le flux de données de la méthodologie proposée	85
Figure 7: le nouveau système de gestion des déchets ménagers de la ville	87
Figure 8: les nouveaux secteurs proposés pour l'optimisation des distances	88
Figure 9: résultats globale de l'optimisation de la collecte.....	100

Introduction générale

L'Algérie génère des quantités très importantes de déchets ménagers dont la nature est liée à certains paramètres tels que les habitudes alimentaires, les conditions climatiques, les variations saisonnières, les situations géographiques, le niveau socio-économique des citoyens, les différentes migrations dans le pays (agricoles, transhumances, tourisme...).

Ces déchets, qui ne sont pas traités, sont l'une des causes directes de la dégradation importante de l'environnement qui commence à être visible. Cette situation alarmante a amené les pouvoirs publics à prendre en charge sérieusement la gestion des déchets ménagers. Cette préoccupation a amené l'Etat à fixer des objectifs précis à l'horizon 2020 en l'intégrant dans le domaine du développement durable. Dans ce contexte fut élaboré en 2002 le PNAE-DD - Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable – comprenant notamment la mise en œuvre de deux programmes d'action : le PROGDEM (programme national pour la gestion intégrée des déchets ménagers) et le PNAGDES - Plan national de gestion des déchets spéciaux -. (Djemaci et Chertouk, 2011).

Malgré cela, la quantité des déchets ne cessent de croître atteignant plus de 10 millions de tonnes par an. Les carences dans la prise en charge de ces déchets risquent de provoquer des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Parmi ces carences, la mauvaise gestion de la collecte qui induit des émissions des gaz à effet de serre qui sont rejetés par les véhicules de collecte et de transport des ordures ménagères.

La collecte et le transport des déchets ménagers sont parmi les maillons les plus importants dans la gestion des déchets et représentent une part importante du budget des collectivités municipales à qui incombe cette mission. Une prise en charge incomplète ou sans une organisation précise peut entraîner des conséquences à effets dangereux : déchets dangereux en quantités dispersées, multiplication des décharges sauvages à ciel ouvert, encombrement d'espaces et des voiries au détriment des riverains, dégagement des mauvaises odeurs, prolifération des rats et autres animaux nuisibles, contamination des eaux souterraines, etc.

Parmi les principales causes de cette mauvaise gestion des déchets ménagers, nous citerons :

L'insuffisance des moyens de collecte et souvent l'inadaptation d'une partie qui existe, Le parc des véhicules de collecte est estimé à un (01) véhicule pour environ 7500 habitants alors que les normes internationales sont de un (01) véhicule pour 4000 habitants.

L'insuffisance et la sous-qualification des moyens humains : l'effectif affecté à la collecte à régressé de 01 pour 500 habitants en 1985 à 01 pour 1500 habitants en 2005,

L'urbanisation croissante des populations algériennes et la poussée démographique n'ont fait qu'amplifier le problème poussant les collectivités locales à adapter leur organisation de la collecte l'ouverture de nouvelles cités d'habitation. Le rapport de la Banque mondiale de 2004

mentionne un taux de collecte dans les villes moyennes algériennes de 65 % et 92 % dans les grandes villes (Djemaci et Chertouk, 2011).

Ayant pris conscience de la complexité du problème posé par les déchets ménagers et d'assainir une situation devenant de plus en plus incontrôlable, l'Etat a décidé de mettre les moyens nécessaires, tant règlementaires que matériels, à la disposition des communes pour une meilleure prise en charge du service de la collecte avec un objectif d'atteindre un taux de collecte de 100 % d'ici 2020 sur l'ensemble du territoire national.

Des actions sont entreprises pour renforcer les capacités de gestion des collectivités locales dont : La réorganisation des services de nettoyage, le renforcement de l'encadrement, la formation aux techniques de gestion des déchets, l'élaboration de programmes de communication tant au niveau local que régional l'amélioration des capacités de collecte par l'acquisition de véhicules.

La gestion des déchets étant devenue un champ d'étude et de recherche à part entière sur le plan aussi bien technique qu'environnemental, sanitaire, économique et social, notre travail présentera la situation actuelle de la gestion du centre d'enfouissement technique qui reçoit les déchets de la ville de Mostaganem et de 6 autres municipalités en déterminant la composition des ordures ménagères par catégories, l'évaluation des paramètres physico-chimiques dans le but d'aider à la prise de décision dans le choix de filières de valorisation quasiment inexistantes, l'identification des agents biologiques et le risque sur l'impact environnemental. Un travail précédent (Guermoud et al., 2009) a permis un rapprochement entre les compétences universitaires et ceux de l'inspection régionale de l'environnement afin d'œuvrer ensemble à l'amélioration continue de la gestion des déchets et à des propositions concrètes de filières de valorisation.

Et parmi les maillons les plus importants dans la gestion des déchets ménagers il y a la collecte et le transport. Ils représentent une part importante du budget de la commune. Il est par conséquent indispensable pour une gestion durable d'en réduire, d'une part, le coût qui leurs sont liés. Pour optimiser les circuits de la collecte, il faut disposer d'éléments fiables sur les difficultés les plus communes rencontrées dans ce type de gestion (Faccio et al., 2011). Le but de l'optimisation n'est pas seulement de réduire les frais d'exploitations et les émissions des gaz à effet de serre, mais de maximiser également la qualité du service, avec réduction des paramètres liés aux opérations de collecte (McLeod et Cherrett, 2008), tels que les trajets des véhicules, les distances, les vitesses de circulation, les accélérations/décélérations, (Tavares et al., 2008; Kuo, 2010; Kuo et Wang, 2011; Xiao et al., 2012), les embouteillages, le bruit (Zsigraiova et al., 2013) et la durée qui peuvent représenter 50% du temps total de la collecte des déchets ménagers (Faccio et al., 2011).

Il est donc indispensable de concevoir une stratégie de collecte efficace et économique pour réduire les coûts d'exploitation et les émissions de gaz à effet de serre dues aux gaz d'échappement des véhicules. Cette initiative peut prendre en considération les réductions des distances, le temps de

transport, le nombre d'arrêts (chargement / déchargement) et les fréquences de passage (Kulcar , 1996; Chang et Wei , 1999; Badran et El - Hagggar , 2006; Johansson , 2006; McLeod et Cherrett , 2008 ; Lin et al , 2010;. Faccio et al , 2011).

Le problème de la collecte des déchets est de nature stochastique. En effet, la quantité des déchets est très variable et la production de déchets dépend de plusieurs facteurs tels que le nombre d'habitants par conteneur, le PIB par habitant, le mode de vie, les habitudes nutritionnelles, les saisons, les déplacements et les migrations de populations, etc... (Nuortio et al. ,2006 ; Zsigraiova et al., 2013). En plus, il y a un manque généralisé d'informations fiables sur la masse et la nature des déchets dans les conteneurs. La plupart des travaux rapportés dans la littérature ont utilisé des valeurs moyennes constantes pour les paramètres du modèle d'optimisation (Teixeira et al., 2004). Nuortio et al. (2006) ont utilisé le taux d'accumulation moyen de déchets dans chaque type de conteneur estimé séparément. Johansson (2006) a présenté une planification dynamique des tournées pour la collecte des déchets ménagers basée sur les informations en temps réel fournies par un capteur placé à l'intérieur des conteneurs. Faccio et al. (2011) ont introduit un cadre novateur en tenant compte des dispositifs de traçabilité moderne dans la collecte des déchets (capteurs volumétriques, RFID, GPRS et GPS). Le modèle présenté tient compte en temps réel de l'ensemble des données de traçabilité de la collecte (niveau de remplissage des conteneurs, position du véhicule, etc.). Avec ces approches les résultats obtenus pour l'optimisation des tournées sont plus fiables que ceux obtenus avec des méthodes statiques. Un tel processus d'optimisation peut être effectué, soit seul (Komilis, 2008; Simonetto et Borenstein, 2007), soit en combinant les deux stratégies d'optimisation de l'itinéraire et des ajustements du réseau des conteneurs (McLeod et Cherrett , 2008; Zamorano et al . , 2009).

Les critères d'optimisation concernent généralement les distances, mais on peut tenir compte aussi du nombre et de la capacité des camions, du temps de travail, de la variabilité des états du trafic et la variation de production des déchets par année (Jovičić et al., 2011).

Les systèmes de gestion de la collecte des déchets ménagers sont de nature spatiale. Par conséquent, il est possible, et préférable, de profiter des nouvelles technologies comme SIG qui s'est avéré être un outil puissant avec la capacité de fournir des informations spatiales détaillées et un traitement efficace (Keenan, 1998). Plusieurs travaux appliquent le SIG pour des études générales de tournées des véhicules (Taylor et al., 2000; Ericsson et al., 2006) ou à la collecte des déchets, la distribution des conteneurs et les tournées des véhicule (Tarantilis et al., 2004 ;. Ghose et al., 2006; Lakshumi et al., 2006 ; Apaydin et gönüllü , 2008 ; Karamidas et al., 2008 ; Tavares et al., 2009 ; . Zamorano et al., 2009, Zsigraiova et al., 2009 ; Jovičić et al., 2011 ; Zsigraiova et al., 2013).

Le but de notre travail est d'optimiser le système de collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem en Algérie tout en réduisant les coûts (y compris le coût d'entretien, la main d'œuvre,

le temps de travail, le carburant,...) et les émissions des polluants (CO, CO₂, NO_x et les molécules particulières) sous les contraintes des distances des itinéraires, le nombre et les capacités des véhicules, les vitesses, l'état des routes, les quantités de déchets produites dans chaque point de collecte, etc. Plusieurs scénarios ont été proposés afin d'améliorer le système de collecte. Notre étude a été faite sur le même réseau de conteneurs (les mêmes points de collecte, et par l'utilisation du Logiciel Arc-Gis. Cette étude est motivée par l'absence totale au niveau de la municipalité de Mostaganem d'un circuit de collecte optimisé. L'itinéraire existe depuis plusieurs décennies (sans étude d'optimisation) avec des additions de trajets au fur et à mesure de l'extension de la ville. Il est temps de proposer un circuit pour la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem en tenant compte de l'ensemble des paramètres pour une collecte moins couteuse, respectueuse de la santé et de l'environnement.

CHAPITRE I

NOTIONS SUR LES DECHETS MENAGERS

I. Notions sur les déchets ménagers

I.1. Généralités sur les Déchets

La plus simple des manières pour définir les déchets est qu'ils sont des matières indésirables dont on veut se débarrasser. Ces matières peuvent être des sous-produits d'un procédé de production, des produits qui n'ont plus de valeur, comme un journal qui a été lu ou un colis qui a été ouvert et vidé de son contenu.

Dans les faits, le terme générique de « déchet » masque une réalité complexe et mal connue. Les déchets produits par une société peuvent se décomposer en sous-ensembles qui ont chacun leurs spécificités et peuvent connaître des évolutions variées.

Avant de nous attacher à la description formelle de nos familières ordures ménagères, il convient de dresser brièvement le panorama de ces résidus de notre production et de notre consommation.

I.1.1. Définition juridique algérienne

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet.

La loi n° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, dans son troisième article définit les déchets 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 ».

I.1.2. Nomenclature

La nomenclature des déchets est une classification systémique des déchets. Le décret exécutif n° 06-104 du 28 février 2006 a pour objet de fixer la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux par :

A - L'attribution d'un numéro de code structuré comme suit :

le premier chiffre représente la catégorie qui retrace le secteur d'activité ou le procédé dont le déchet est issu,

le second chiffre représente la section qui retrace l'origine ou la nature du déchet appartenant à la catégorie,

le troisième chiffre représente la rubrique qui retrace la désignation du déchet.

B - L'identification de la classe des déchets à laquelle appartient le déchet concerné indiquant l'appartenance à la classe des déchets ménagers et assimilés (MA), inerte (I), spéciaux (S) et spéciaux dangereux (SD).

C - L'indication de la dangerosité du déchet spécial dangereux concerné selon les critères par ce décret.

La nomenclature des déchets s'applique à tous les déchets pouvant se présenter sous forme liquide, solide ou de boues et qu'ils soient destinés à des opérations de valorisation ou d'élimination. Le tableau 1 résume quelques exemples :

Tableau 1 : Exemples de nomenclature des déchets ménagers et assimilés.

Code du déchet	Désignation du déchet	Classe du déchet	Critères de dangerosité
1	Déchets provenant de l'exploration et de l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux		
1.3	Déchets provenant de la transformation physique et chimique des minéraux non métallifères		
1.3.2	Déchets de sable et d'argile	I	
1.3.99	Déchets non spécifiés		
2.4	Déchets de la transformation du sucre		
2.4.99	Déchets non spécifiés		
20	Déchets communaux (déchets ménagers et assimilés provenant des commerces, des industries et des administrations), y compris les fractions collectées séparément		
20.3.99	Déchets communaux non spécifiés		

I.1.3. Cadre juridique Algérien

La politique algérienne en matière de déchets est très sévère. Un ensemble d'instructions et de réglementations sont apparus nécessaires pour organiser le service public des déchets, notamment la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

Avant la promulgation de ces divers règlements, la gestion des déchets était régie par le seul texte existant, le décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains. Ce décret définissait la notion de déchets solides urbains, les modalités et la fréquence de la collecte et d'évacuation des déchets selon la taille des communes par rapport à leur population. Le même décret fixait les normes du choix d'aménagement et d'exploitation des sites de dépôts.

Le traitement de ces déchets est effectué au moyen des procédés suivants :

- la décharge surveillée,

- la décharge contrôlée,
- la décharge compostée,
- la décharge broyée,
- le compostage,
- l'incinération.

La loi-cadre 01-19 du 12 décembre 2001 définit tous les types de déchets et désigne la commune comme l'organisme compétent pour assurer le service public d'enlèvement et d'élimination des déchets. Elle prévoit les principes de prévention, de réduction à la source, de tri sélectif, de valorisation, d'information et de sensibilisation. Dans ce cadre, l'Algérie a élaboré en 2002, un Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD) dont deux programmes d'action ont été mis en œuvre : le « Programme national pour la gestion intégrée des déchets ménagers (PROGDEM) » et le programme « Plan national de gestion des déchets spéciaux (PNAGDES) ». En parallèle, des schémas communaux de gestion des déchets ménagers et assimilés (SCGDMA) ont été institués afin d'assurer une gestion efficace. De plus, des mesures financières ont été mises en place pour répondre aux coûts de la gestion de déchets.

Le programme national de gestion des déchets ménagers (PROGDEM) a été doté d'un budget de 74 millions d'euros. Les financements mobilisés pour ce programme ont permis d'engager des opérations portant sur la réalisation d'études de schémas communaux de gestion des déchets ménagers et assimilés, de centres d'enfouissement technique de classe II (déchets ménagers), de centre d'enfouissement technique de classe III (déchets inertes), la réalisation de déchetteries, de centres de tri, l'acquisition de moyens d'exploitation au profit des CET et de moyens de collecte et de transport des déchets.

D'autres textes de loi, en plus de ceux existant, viennent renforcer la volonté des pouvoirs publics de protéger l'environnement :

- Loi N°03-10 du 19/07/2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
- Décret N°84 – 378 du 15/12/1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides ;
- Décret exécutif N°91 – 177 du 28 mai 1991, fixant les procédures d'élimination et d'approbation du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme et le contenu des documents y afférent ;
- Décret exécutif N°96 – 60 du 27/01/1996, portant création de l'inspection de l'environnement de Wilaya ;
- Décret exécutif N°2 – 175 du 20/05/2002, portant création de l'Agence Nationale des

Déchets ;

- Décret exécutif N° 02-372 du 11/11/2002 relatif aux déchets d'emballages ;
- Décret exécutif N° 04-199 du 19/07/2004 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages « ECO-JEM » ;
- Décret exécutif N°04-210 du 28/07/2004 définissant 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 14/12/2004 fixant 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 30/06/2007 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés
- Arrêté interministériel du 06/04/2004 fixant les caractéristiques techniques des sacs plastiques destinés à contenir directement des produits alimentaires ;

En mai 1998, l'Algérie adhère, avec réserve, à la convention de Bâle qui vise à réduire le volume des déchets dangereux ainsi que le contrôle de leurs mouvements transfrontières. Le 29 avril 1998, l'Algérie a signé le protocole de Kyoto, approuvé le 21 mai 2002 puis ratifié le 28 avril 2004 et entré en vigueur le 16 février 2005. Ce protocole incite à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En matière de déchets, ces gaz peuvent être émis par le brûlage à l'air libre des déchets au niveau des décharges.

En matière de déchets issus des emballages, le décret du 11 novembre 2002 vise deux principes :

- la responsabilité des détenteurs d'éliminer et/ou de valoriser leurs déchets d'emballages ;
- la valorisation par le détenteur ou par des entreprises agréées ou par une adhésion à un système public de reprise, de recyclage et de valorisation ;

Ce décret prévoit l'obligation de ces entreprises de publier un rapport annuel d'activité comportant : le volume de déchets d'emballages triés et valorisés par filières de matériaux, le taux de couverture géographique, le mode de traitement et les indicateurs financiers. Le système public de reprise vise les déchets d'emballages non récupérés et non traités, ni par les détenteurs ni par les entreprises spécialisées. Il s'agit beaucoup plus d'emballages issus des consommations des ménages pour lesquels la commune peut passer toute convention avec ces entreprises en vue de leur valorisation. En 2004, un autre décret est venu organiser ce dispositif en fixant ses modalités de création, son

fonctionnement, son financement et ses objectifs sous la dénomination officielle de « Eco-Jem », il prévoit la création de réseaux de récupération et de valorisation par filière.

Les codes de la commune et de la wilaya du 07 avril 1990 définissent les compétences des collectivités locales en matière de services publics en général. Le code des marchés publics, révisé à plusieurs reprises, établit le champ d'application ainsi que la procédure de mise en œuvre d'un appel d'offres liée au service public. Le financement des divers services publics est organisé par le code des impôts à travers les lois de finances. Le code des douanes est applicable en matière d'importation et d'exportation de déchets.

I.1.4. Classification des déchets

La classification des déchets diffère d'un auteur à un autre, elle n'est pas une règle universelle. Elle dépend des objectifs recherchés ou des informations tirées. Elle est importante et parfois indispensable dans le domaine de la gestion des déchets afin de choisir le mode de valorisation le plus adéquat. Certains auteurs qui travaillent sur le compostage ont classé les déchets en matière organique et inorganique (citons l'exemple de Wei et al., 2000). Tandis que l'encyclopédie « techniques d'ingénieurs » a classé les déchets en six catégories « déchets biologiques, déchets chimiques, déchets technologiques, déchets économiques, déchets écologiques, déchets accidentels », une classification détaillée mais non pratique.

Addou a classé dans son livre « Développement durable, traitement des déchets, valorisation, élimination » les déchets en deux groupes :

- classement selon l'origine du déchet comprenant : les déchets des collectivités locales, les déchets ménagers, les déchets industriels, les déchets agricoles, les déchets d'activités de soins et les déchets radioactifs,
- classement par nature physico-chimique des déchets où on distingue : les déchets inertes, les déchets organiques, les déchets banals, les déchets toxiques ou dangereux, les déchets ultimes.

La loi française dans le décret n° 2002 – 540 du 14 avril 2002 a classé les déchets selon leur origine ou bien selon la nature du danger qu'ils font courir à l'homme ou à son environnement tandis que la réglementation algérienne a classé les déchets en trois groupe : les déchets ménagers et assimilés, les déchets spéciaux (industriels, agricole, soins, spéciaux, services...) et les déchets inertes.

Avec l'apparition de la loi cadre 01-19, une autre classification a été adoptée (déchets ménagers et assimilés, déchets encombrants, déchets spéciaux, déchets spéciaux dangereux, déchets d'activités de soins).

La nomenclature reste la façon adéquate et précise pour classer les déchets, où ils sont répartis en fonction du secteur d'activité dont ils sont issus et des procédés de production (Addou, 2009).

La définition des différents types de déchets et des modes de traitement pouvant varier d'un pays à l'autre, il est nécessaire de définir précisément les termes que nous utiliserons par la suite :

Les déchets solides urbains sont définis par l'article 2 du décret n° 84-378 du 15 décembre 1984 fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement des déchets solides urbains qui sont les déchets domestiques et ceux assimilables par leur nature et leur volume. Il s'agit notamment :

- des ordures ménagères, industrielles ou collectives,
- des produits résultant du nettoyage tels que balayage, curage des égouts,
- des déchets encombrants, objets volumineux, ferrailles, gravats, décombres, carcasses d'automobiles,
- des déchets anatomiques ou infectieux provenant des hôpitaux, chimiques ou autres activités de soins,
- des déchets et issues d'abattoirs,
- des déchets commerciaux, emballages et autres résidus générés par les activités commerciales.

Dans la loi 01-19 la désignation des déchets urbains solides a changé en déchets ménagers et assimilés et leur définition est devenue : tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers.

L'assemblée populaire communale est responsable de leurs collectes en organisant sur son territoire, soit directement soit en association par l'intermédiaire d'organismes intercommunaux et/ou appropriés, un service de collecte et d'élimination des déchets ménagers et assimilés.

Les déchets ménagers et assimilés regroupent le plus grand nombre de catégories de déchets :

- les déchets verts des collectivités locales ;
- les déchets du nettoyage (voirie et marchés) ;
- les déchets de l'assainissement collectif ;
- les déchets encombrants des ménages ;
- les MRIOM (Matériaux Recyclables issus des ordures ménagères) et les Bio-déchets collectés sélectivement ;
- les ordures ménagères (OM) résiduelles ;
- les déchets non dangereux ou déchets industriels banals (DIB) collectés avec les déchets des ménages.

I.1.5. Caractérisations des déchets ménagers solides

Les déchets ménagers solides sont un mélange hétérogène de matériaux dont les propriétés physiques et chimiques sont très différentes. La connaissance de ces propriétés aide à apprécier les possibilités de valorisation les plus adéquates.

La caractérisation permet d'estimer la quantité des matériaux produits, d'identifier leur source de génération, de faciliter le design des équipements des procédés de traitement, de définir les propriétés physiques, chimiques et thermiques des déchets et de veiller à la conformité avec les lois et les règlements locaux. Donc l'étude de la caractérisation des déchets est un pas essentiel pour une bonne gestion.

Brunner et Ernst (1986), suggèrent une caractérisation suivant des paramètres divisés en trois groupes:

- matériaux (papier, verre, métaux, etc.),
- paramètres physiques, chimiques ou biologiques (masse volumique, teneur en eau, biodégradabilité, etc.),
- composition élémentaire (carbone, mercure, etc.).

Les caractérisations les plus utilisées sont la caractérisation physique et la caractérisation chimique. Quelques auteurs ajoutent la caractérisation microbiologique (composition en pathogène) (Aloueimine *et al.*, 2005 a & b ; Charney *et al.*, 2005,...).

La méconnaissance des propriétés des déchets et le flux de production peut provoquer l'échec de tous projets de valorisation. Dans la littérature, ce sujet a été largement traité par plusieurs auteurs. Citons l'exemple de Hafid *et al.* (2004) qui rappelle qu'entre 1960 et 1980 cinq unités de traitement des déchets urbains au Maroc ont été fermées à cause de l'inadaptation de cette technologie aux conditions spécifiques du pays. Achankeng (2003) confirme, à ce propos, que l'incinération en Afrique n'est pas une option durable de gestion des déchets ménagers solide en s'appuyant sur l'échec de cette technologie en Tanzanie et au Nigeria. Plusieurs rapports de la Banque mondiale attribuent l'échec de l'application de certaines technologies du Nord (incinération et compostage) dans les PED, à la surestimation du pouvoir calorifique inférieur (PCI) des déchets dans ces pays, qui sont riches en matières organiques (ou putrescibles), donc un taux d'humidité élevé et l'absence de demande du marché local en amendement agricole (compost) comme c'est le cas de la ville de Mostaganem (Guerroud, 2009).

I.1.5.1. Caractérisation physique (composition physique)

La gestion des déchets n'est durable que si on dispose de connaissances précises sur l'évolution du flux des rejets et surtout de leur composition. La connaissance de ces deux paramètres permet d'optimiser le mode de gestion et créer de nouvelles sources de richesses. Ces sources permettent de

jouer un rôle significatif dans la lutte contre la pauvreté dans les pays en développement (Buenrostro et Bocco, 2003 ; Aye et Widjaya, 2005 et Zaïri et al., 2004).

Il existe plusieurs méthodes de caractérisation mais, d'abord, il faut préciser le point de prélèvement de l'échantillon, car il peut être réalisé en plusieurs points :

- chez l'habitant : afin de connaître la composition des ordures ménagères réellement produites. (Aloueimine *et al* , 2005 a & b)
- sur les sites de transit : pour déterminer la composition des déchets urbains (il faut alors considérer le secteur informel),
- à l'entrée des centres de traitement

Le choix du nombre de catégories suivant lesquelles les déchets sont triés dépend des objectifs de l'étude et des moyens disponibles pour la réaliser. Le tri peut s'effectuer soit sur déchets humides (Ademe, 1993), soit sur déchets séchés à 80°C (Norme Afnor NFX 30-466, 2005). Les déchets sont séparés par taille, généralement en 4 fractions (supérieure à 100 mm, 20-100 mm, 8-20 mm et inférieure à 8 mm). Toutefois, certaines études définissent les gros par une taille comprise entre 100 et 300 mm (Ademe, 2005-b) et recommandent un tri visuel des hétéroclites (> 300 mm). D'autres granulométries ont été utilisées dans certaines études comme les diamètres de 40 et 80 mm (François, 2004). Il est parfois favorable d'exploiter la caractéristique de taille des déchets particulièrement quand on envisage d'installer des séparateurs mécaniques ou d'optimiser la séparation magnétique des déchets ferreux basés sur la connaissance des tailles des composants (MBT, 2003 et Project SWA- Tool, 2004).

Cependant, pour des objectifs spécifiques visés par la caractérisation, certains auteurs se limitent à quelques unes de ces catégories de classification. Le nombre de composant peut varier de 2 jusqu'à 98. Thogersen (1996) s'est intéressé à l'étude de deux catégories de déchets : les fermentescibles issus des refus de cuisine et les emballages. Buenrostro et Bocco (2003) ont classé la composition des déchets suivant 7 catégories. Mohee (2002) en a défini 8, alors que dans une étude effectuée en Californie au Etats-Unis, les déchets urbains solides ont été triés en 98 types de matériaux groupés en 10 classes (Rapport, 2004) : 11 types de papier, 14 types de verre, 11 types de métaux, 4 types de déchets électroniques, 29 types de plastique, 9 types de déchets organiques, 7 types de déchets de construction et de démolition, 5 types de déchets ménagers dangereux, 7 types de déchets spéciaux et 1 catégorie de mélange de résidus.

La méthode de caractérisation la plus répandue est le Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères (MODECOM©) (Ademe, 1993), qui détaille 12 catégories de constituants : fermentescibles, papiers, cartons, textiles, textiles sanitaires, plastiques, verres, métaux, inertes, complexes, fines inférieures à 20 mm et autres.

La composition des déchets ménagers est très variable suivant la région, le climat, les habitudes des populations, le caractère de l'agglomération (zone urbaine ou rurale, zone industrielle ou commerciale, etc.), le niveau de vie des habitants, le type de collecte etc. (Beture environnement, 2001 ; Ngnikam, 2000 ; Arinola, 1995). Le tableau suivant (tableau 2) illustre la grande variabilité dans la composition qualitative des déchets de différents pays d'un même continent.

Tableau 2 : composition des déchets de quelque pays en %.

	Pays	Référence	Matière organique	Plastique	Papier-Carton	Verre	Métaux	Divers
Afrique	Algérie	(Guurine, 2010)	62,0	12,0	9,0	1,0	2,0	14,0
	Maroc	(SWEEP NET, 2012)	65,0	10,0	8,0	2,0	1,0	14,0
	Tunisie	(Djemaci, 2012)	68,0	11,0	9,0	2,0	6,0	4,0
	Mauritanie	(Alouemine, 2006)	4,8	20,0	7,3	4,0	4,2	59,7
	Égypte	(Djemaci, 2012)	60,0	12,0	10,0	3,0	2,0	3,0
Europe	France	(ADEME, 2008)	32,2	11,2	21,5	13,0	3,0	19,4
	Danemark	(OCDE, 2008)	29,0	0,8	27,0	5,0	6,0	32,0
	Pays bas	(OCDE, 2008)	35,0	19,5	26,0	4,0	4,0	12,0
	Grèce	(Hafidi, 2002)	45,0	11,0	22,0	4,0	4,5	13,5
	Italie	(OCDE, 2008)	29,0	5,0	28,0	13,0	2,0	23
	Germany	(OCDE, 2008)	14,0	22,0	34,0	12,0	5,0	39
	Suisse	(OCDE, 2008)	29,0	15,0	20,0	4,0	3,0	29,0
Asie	Jordanie	(Djemaci, 2012)	56,0	13,0	16,0	7,0	5,0	3,0
	Japon	(Skordilis, 2004)	30,0	8 -10	40-42	7-13	4-7,5	/
	China	(Yuan et al., 2005)	59,2	15,7	10,1	3,4	1,1	10,5
	Inde	(Talyan et al., 2007)	38,6	6,0	5,6	1,0	0,2	48,6
Amérique	USA	OCDE, 2008	25	12	34	5	8	16
	Mexique	OCDE, 2008	51	6	15	6	3	18
Australie	Australie	OCDE, 2008	47	4	23	5	7	13

I.1.5.2.Caractérisation chimique

La caractérisation chimique a pour objet d'évaluer le potentiel polluant de ces déchets et de vérifier l'existence d'un effet néfaste sur la santé humaine et sur l'environnement, ceci d'une part, et d'autre part, la caractérisation chimique aide les décideurs à choisir le mode de valorisation le plus approprié.

Densité

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 et le dimensionnement du matériel de la collecte, les centres de tri et les entreprises de valorisations. Les ordures ménagères sont de nature compressible, leur densité varie au cours des différentes manipulations auxquelles elles sont soumises. Elle est comprise entre 200 et 400 kg/m³ du fait de la proportion importante de matières fermentescibles et d'humidité dans les déchets, constituants plus lourds. La densité est en moyenne plus élevée dans les pays en développement que dans les pays industrialisés (de l'ordre de 0.1). (Charney, 2005 ; Mezouari, 2011)

Tableau 3: Densité moyenne des déchets solides urbains dans les villes africaines comparée à celles d'Asie, d'Amérique, et d'Europe. (Ben Ammar, 2006).

Continent	Pays	Densité Kg/m³
Afrique du Nord	Algérie	300 – 500
	Lybie	200
	Tunisie	200 – 500
	Maroc	400 – 600
	Mauritanie	410
	Tanzanie	390
Asie du Sud- Est	Indonésie	250 – 300
	Thaïlande	250
Asie du Nord - Est	Taiwan	300
Amérique du centre	Mexique	300
	République Dominicaine	300
Amérique du sud	Brésil	170
Europe du sud	Turquie	330

Le tableau 3 résume les valeurs des densités des différents pays d'Afrique, d'Asie et d'Europe. On remarque que la densité des déchets ménagers varie en fonction des pays, elle est plus élevée dans les pays en développement (entre 200 et 600 kg/m³) que dans les pays industrialisés (de l'ordre de 100 kg/m³) à cause de la forte proportion de la matière organique fermentescibles et de l'humidité élevée. Elle est élevée dans les pays africains pour les mêmes raisons sauf en Mauritanie, car la

valeur élevée de la densité est due à l'apport de la fraction des fines ; elle atteint la valeur de 390 kg/m³ en Tanzanie car la teneur en matière organique de ses déchets est égale à 78%. (Mbuligwe et Kassenga, 2004).

Humidité

Les déchets ménagers renfermant une quantité provenant de leurs composants, leur teneur globale en eau est essentiellement fonction des proportions respectives de leurs composants ainsi que des saisons, des latitudes et de l'origine géographique et sociale des populations qui en sont la source. La majorité des déchets des pays en développement ont une teneur en eau importante, comprise entre 40 et 95% comme l'indique le tableau 4 :

Tableau 4 : Teneur en eau des déchets ménagers.

Pays	Humidité %	Références
Maroc	60 – 70	Begnaud et al., 1990
Mauritanie	9	Aloueimine et al , 2005
Ghana	70 – 95	Asomani-Boateng et al., 1996
Burkina Faso	40 – 60	Folléa et al., 2001
Liban	60 – 75	El-Fadel et al., 2002
France	35	Ademe, 1999
Corée du Sud	70 – 78	Shin et al., 1997
Chine	60 – 80	Wei et al., 2000

Dans les pays du tiers-monde, l'humidité moyenne des déchets ménagers est supérieure à 60%. Elle provient de la nature même des déchets, constitués en forte proportion de matière organique (fruits et légumes), sauf à Nouakchott où l'humidité est faible (11%) à cause de la valorisation de la fraction organique au niveau des ménages ; par contre, dans les pays industrialisés, l'humidité ne dépasse pas les 35% due à la faible proportion de matières fermentescibles et au pourcentage non négligeable de plastiques.

Le pouvoir calorifique

C'est un paramètre assez important et nécessaire pour prévoir le traitement par incinération. Les déchets ménagers des pays en développement n'ont jamais été un bon combustible, leurs ordures ménagères contenant plus de 50% d'humidité, ce qui influe sur leur pouvoir calorifique qui est inférieur à 1700 Kcal/Kg ; elles sont réellement impropres à l'incinération. C'est le cas des déchets ménagers en Algérie (Guermoud, 2009), Maroc, Tunisie, Côte d'Ivoire et Colombie où le pouvoir calorifique est de l'ordre de 1000 Kcal/Kg (Wicker, 2000) et inférieur à 1 000 Kcal/Kg en Inde (Dayal et al., 1993).

Il peut parfois s'élever à 2 180 ou 2 774 Kcal/kg respectivement pour la Malaisie (Kathirvale et al., 2003) ou la Mauritanie (Aloueimine et al. , 2005 a & b).

Rapport carbone organique/azote total (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.

La matière organique est générée essentiellement par les fermentescibles et, pour une faible part, par le papier, le carton, les textiles et de la fraction des combustibles non classés (cuir, bois, etc.), alors que la matière organique azotée est apportée par les fractions des fermentescibles, des textiles et des combustibles non classés (Tchobanoglous et al., 1993 et François, 2004).

Un compost est valable à partir du rapport $C/N < 35$ au départ de la fermentation aérobie et contrôlée et en obtenant, au final, un rapport de $18 < C/N < 20$. Différentes valeurs ont été rapportées dans la littérature : un rapport inférieur à 12 est généralement considéré comme un signe de maturité (Bernal *et al.*, 1998), toutefois une valeur de 20 peut aussi être le signe d'une maturité avancée.

La tendance générale d'évolution est une diminution rapide du rapport C/N en début de compostage, suivie d'une stabilisation pour atteindre des valeurs inférieures à 10 en phase de maturation (Hsu et Lo, 1999 ; Veeken et al., 2000).

Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine et ont un fort impact toxicologique. L'évaluation des quantités des métaux dans les déchets est nécessaire et permet d'évaluer leur potentiel polluant et, par conséquent, d'entreprendre les mesures appropriées pour atténuer leur impact sur la santé des populations et sur l'environnement.

La présence des métaux dans les déchets est due en grande partie à leur utilisation dans l'industrie pour la fabrication de certains produits (piles, aérosols, ustensiles de cuisine, peintures, encre, composants électroniques, etc.) ou comme emballage (boîtes de conserve, briques de lait et de jus, papier, carton, plastiques, etc.).

Les métaux qu'on peut trouver dans les ordures ménagères varient en fonction des catégories qui composent le déchet et en fonction du métal considéré. Leur toxicité varie considérablement d'un métal à l'autre.

Aucune précaution n'est envisagée dans la quasi-totalité des PED, ce qui expose les populations au risque de contaminations massives. La réduction du plastique réduira le Cd qui est sa principale source dans les ordures ménagères, le tri du verre induirait une baisse significative de As, Cr, Mn et du Pb. L'enjeu sanitaire et environnemental de ces éléments toxiques est particulièrement important quand on tient compte de leur période de demi-vie qui peut aller de quelques jours à quelques milliers d'années (Meoun et Le Clerc, 1999). Le tableau 5 présente les teneurs en métaux dans les déchets de certains PED.

Tableau 5: Les teneurs en métaux dans les déchets ménagers.

Teneurs en métaux lourds (mg/kg) / MS	Algérie (Mostaganem)	Mauritanie (Nouakchott)	Tunisie	Burkina Faso (Ouagadougou)
Cd	0,06	14	1,3-4,5	-
Cr	-	228	29-90	-
Cu	-	54	75-181	130-170
Hg	0,02	-	-	-
Ni	-	64	34-85	209-303
Pb	0,07	183	155-175	292-733
Zn	-	53	553-677	134-397
Références	Guermoud et al., 2009	Aloueimine et al. 2006 c	Hassen et al. 2001	Aina et al., 2007

I.1.5.3.Caractérisation microbiologique

Les déchets sont riches en microorganismes, offrant un milieu favorable à leur prolifération (support organique riche, température, condition d'aérobiose ou d'anaérobiose particulière). Les microorganismes retrouvés varient quantitativement et qualitativement en fonction du type de déchets (ordures ménagères, déchets d'activités de soins, déchets verts,...), du pH, de la température, du mode de stockage initial, puis du traitement de ces déchets. Deux types de microorganismes sont cependant caractéristiques : bactéries Gram négatives et les champignons de types *Aspergillus* et *Penicillium* (ROCORD, 2003)

Les virus pathogènes (coxackie, rotavirus, échovirus, poliovirus, hépatite, HIV) sont susceptibles d'exister dans les couches jetables ou les déchets issus d'activité de soin.

Les champignons sont naturellement présents dans l'environnement et prolifèrent dans les déchets, en particulier les déchets organiques, au détriment des autres espèces.

Au niveau des levures, on retrouve surtout des *Candida albicans*.

Il est important de mettre en relief cette caractéristique pour qu'elle puisse être prise en compte dans d'éventuelles mises en place de programme de valorisation et de recyclage des rejets, atténuant ainsi leur impact sur la santé. Elle peut servir aussi à la sensibilisation des personnes en contact direct avec les déchets et qui sont le plus souvent non protégées aussi bien dans les pays industrialisés que dans les PED. Hassen et al. (2001) ont identifié plusieurs microorganismes présents en nombre important dans les déchets au cours du compostage (spores bactériens, coliformes fécaux, *Escherichia coli*, streptocoques fécaux, staphylocoques, *Salmonelles* et *Shiguelles*). D'après Hoornweg et al. (2000), ces différents agents pathogènes trouvés dans les déchets sont d'origine humaine ou animale et peuvent provenir des boues de vidange, des couches-

culottes ou des déchets des animaux domestiques. Le tableau 6 montre les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les déchets ménagers (Schwartzbord et al.,1998).

Tableau 6 : Les principaux microorganismes susceptibles de se retrouver dans les déchets ménagers (Schwartzbord et al., 1998).

Microorganismes	Pathologie	Durée de vie
Bactéries entériques (G⁻)		
Salmonella sp	Salmonellose	
Shigella sp	Dysenterie bacillaire	<70 jours mais généralement
Yersinia sp	Gastro-entérite	<20 jours
Campylobacter jejuni	Gastro-entérite	
Escherichia Coli	Gastro-entérite	
Virus Entériques		
Virus de l'Hépatite A et E	Hépatite infectieuse	<100 jours mais généralement
Rotavirus	Gastro-entérite	<20 jours dans le sol
Entérovirus	Gastro-entérite	
Coxsackievirus	Poliomyélite	
Astrovirus	Infect respiratoire, Gastro-entérite,	
Virus des Hépatites B et C	Hépatite infectieuse	Dans le sang ou les liquides
Virus l'immunodéficience humaine acquise (HIV)	Hépatite infectieuse SIDA	humains 8jours
Protozoaires		
Cryptosporidium sp		
Giardia intestinalis	Gastro-entérite	<20 jours mais généralement
Entamoeba histolytica	Diarrhée	<10 jours
Balantidium coli	Dysenterie	
Toxoplasma gondii	Diarrhée et Dysenterie	
Helminthes	Toxoplasmose	
Ascaris lumbricoi des		
Trichuris trichura	Troubles gastro-intestinaux	
Toxocara sp	Diarrhée, douleurs abdominales	Plusieurs mois
Taenia sp	Diarrhée, douleurs abdominales Nervosité, Insomnie, Troubles digestifs, Anorexie	

I.1.6. Production des déchets ménagers

La connaissance de la production d'ordures ménagères est essentielle dans la planification d'un système de gestion. La quantité produite par les collectivités est variable en fonction de plusieurs éléments (Dortman, Bats ; 1985), dont, essentiellement, le niveau de vie de la population, la saison, le mode de vie des habitants, le mouvement des populations pendant les périodes de vacances, les fins de semaines, les jours fériés et le climat. De nombreuses études évaluent la quantité de déchets produite. Les résultats présentés dans le tableau 7 montrent des écarts importants. La quantité produite de déchets se traduit par le poids des ordures ménagères produites par habitant et par jour ou par an (kg/hab/j où kg/hab/an).

Tableau 7 : Production des déchets dans des différentes villes.

Continents	Pays	Villes	Ratios	Références
Afrique	Algérie	Saïda	0,48	Belkacem, 2011
		Sétif	0,89	Smati, 2012
		Batna	0,56	Sefouhi, 2012
		Alger	0,75-1	Kehila et al., 2009
		Annaba	0,48	Cheniti et al., 2013
		Mostaganem	0,59	Abdelli et al., 2015
		Biskra	0,55	Mezouari, 2011
		Moyenne nationale	0,50	Boukelia et Mecibah, 2012
	Maroc	Rabat	0,60	Ntabugi, 2013
		Marrakech	0,54	Ntabugi, 2013
		Fès	0,71	PNDM, 2004
		Grand Casablanca	0,89	Ntabugi, 2013
		Moyenne nationale	0,76	PNDM, 2004
	Tunisie	Tunis	0,84	Louati Halouani, 2012
		Sfax	0,60	Louati Halouani, 2012
		Sousse	0,86	Louati Halouani, 2012
		Moyenne nationale	0,50	SWEEP-Net, 2010
	Egypte	Caire	0,71	SWEEP-Net, 2010
		Alexandrie	0,84	SWEEP-Net, 2010
		Moyenne nationale	0,70	SWEEP-Net, 2010
	Mauritanie	Nouakchott	0,21	Aloueimine, 2006
	Cameroun	Yaoundé	0,85	Ntabugi, 2013
		Bafoussam	0,37	Ntabugi, 2013

	Benin	Abomey-Calavi	0,89	Topanou, 2011
		Cité de Sanaa	0,60	SWEEP-Net, 2010
		Tripoli	0,64	
		Moyenne nationale	0,77	SWEEP-Net, 2010
				Ntabugi, 2013
	Malaisie	Kuala Lumpur	1,70	Ntabugi, 2013
		Moyenne nationale	0,50-0,80	
				Ntabugi, 2013
		Honk Kong	0,70	Ntabugi, 2013
		Gangzhou	0,40	
	Inde	New Delhi	0,50	Talyan et al., 2007
		Moyenne nationale	0,41	Ntabugi, 2013
Europe	France	Paris	1,51	Ntabugi, 2013
		Moyenne nationale	1,44	Eurostat-News release, 2013
	Belgique	Moyenne nationale	1,27	Eurostat-News release, 2013
	Autriche	Moyenne nationale	1,51	Eurostat-News release, 2013
	Suisse	Moyenne nationale	1,89	Eurostat-News release, 2013
	Union Européen (UE)		1,38	Eurostat-News release, 2013
	Etats unis	Moyenne nationale	>2,5	Hoornweg et al., 2012
Amériques	Canada	Moyenne nationale	2-2,5	Hoornweg et al., 2012
	Argentine	Buenos Aires	1,4	Marie-Noëlle, 2008
		Uberlandia	0,51	Ntabugi, 2013
	Brésil	Mexicali	0,59	Ntabugi, 2013
	Mexique	Guadalajara	0,51	Ntabugi, 2013

La composition des déchets et leurs quantités spécifiques sont donc déterminées par les critères suivants (Dahmane, 2012):

- Revenu des familles,
- Pouvoir d'achat de la monnaie nationale,
- Niveau de vie des familles et besoins de consommation des différents membres de la famille,
- Offre de denrées alimentaires sur les marchés (structure et productivité de l'agriculture, conditions climatiques, infrastructures),
- Habitudes alimentaires (types de légumes, viandes, ...etc.),

- Type de préparation des repas (traitement de produits de l'agriculture ou préparation de plats déjà cuisinés et de légumes en boîtes),
- Lieu de restauration (cantine, maison, stand mobile),
- Offre de marchandises (biens de consommation),
- Type et dimensions des emballages de consommation et de denrées alimentaires,
- Consommation de journaux quotidiens, magazines,
- Soin des nourrissons (consommation de couches jetables par exemple),
- Tri préalable, au niveau des foyers, des déchets ménagers selon les composants récupérables et non récupérables.

I.2. Gestion des déchets ménagers

I.2.1. Qu'est-ce que la gestion des déchets

La gestion des déchets est une des branches de la rudologie. La rudologie est l'analyse globale (technique, économique, légale, politique, sociale) des rejets et pollutions de l'activité économique et de la vie quotidienne pour maîtriser et mettre en place des équipements et des techniques de traitement visant à limiter la dégradation du milieu, à améliorer l'aménagement de l'espace et la gestion économique et sociale, etc. Elle peut également concerner la recherche pour la mise au point de nouveaux matériaux à partir de déchets qui regroupent les opérations de la collecte, du transport, du tri et du traitement (la réduction à la source, le recyclage, le réemploi ou réutilisation, la valorisation (matière ou énergétique) et l'élimination des déchets.

La gestion des déchets, quant à elle, concerne tous les types de déchets, solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. La façon de gérer les déchets diffère d'un pays à l'autre (sa nature, sa politique, son degré de technologie...) et d'une ville à une autre (rural, urbaine ou extra-urbaine).

L'article 3 de la loi 10-19 définit la gestion des déchets comme 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.2.2. Stratégie, plans d'action et priorités

La connaissance de nos déchets sur le plan quantitative, qualitative et spatio-temporel, c'est la première démarche pour définir une stratégie d'action. Connaître nos déchets c'est connaître ses quantités, sa composition, sa nature, les interactions qui peuvent provenir entre les matériaux qui le composent et son comportement en fonction du temps.

La politique algérienne à travers les dispositions réglementaires mises en œuvre, consacre les actions de base de gestion écologiquement rationnelle des déchets à travers :

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et l'élimination des déchets ;
- la réhabilitation des décharges sauvages et leur restitution au paysage urbain et au profit des activités saines.
- redynamiser le rôle de la commune dans la gestion des déchets ;
- l'amélioration des infrastructures de gestion de déchets (CET, centres de tri, décharges,...) ;
- la stimulation de la participation du secteur privé et la création d'emplois dans le secteur;
- l'amélioration du recouvrement de la fiscalité locale, etc.

Cette stratégie consiste au niveau local (commune) à l'amélioration et la professionnalisation des capacités de gestion qui consiste particulièrement à :

- réorganiser l'administration communale chargée de la gestion des déchets,
- renforcer les capacités de collecte et de transport des services de la commune en charge de la gestion des déchets;
- mettre en place des équipements de collecte appropriés;
- mettre en œuvre un programme de sensibilisation des citoyens;
- ouvrir le service public de gestion des déchets urbains à l'investissement privé et à la concession.

I.2.3. Les objectifs de la gestion des déchets

Un plan de gestion de déchets décrit la façon de gérer les problèmes liées aux déchets et assure les objectifs suivants :

- prévenir ou réduire la production des déchets et leurs nocivités, depuis la fabrication jusqu'à la distribution des produits.
- organiser le transport des déchets et limiter les distances parcourues.
- valoriser les déchets par leurs réemplois, recyclage ou tous procédés de valorisation (matière ou énergétique).
- assurer l'information et la sensibilisation du public sur l'effet de la production et l'élimination des déchets sur l'environnement et la santé publique.

Les objectifs nationaux de la stratégie environnementale attendus à moyen et long terme sont donc les suivants :

- améliorer la santé et la qualité de vie du citoyen en diminuant la production de déchets et en introduisant leur gestion intégrée,

- conserver le capital naturel et améliorer sa productivité,
- réduire les pertes économiques et améliorer la compétitivité à travers l'augmentation du recyclage des déchets (matières secondes) et la récupération des matières premières,
- protéger l'environnement global.

D'autres objectifs, ont été également avancés :

- la nécessité d'une planification intégrée de gestion des déchets municipaux (amélioration et professionnalisation des capacités de gestion, réalisation de CET, etc.),
- l'élimination des décharges sauvages et la réhabilitation des sites,
- Le tri sélectif et la réduction à la source du volume des emballages.

Un des principaux objectifs d'action énoncés en 2005 était de réduire le volume des déchets destinés à l'élimination et d'augmenter la capacité de récupération (Djemaci et Chertouk, 2011).

I.2.4. Principe de la gestion des déchets

Le producteur ou le détenteur est le responsable de ses déchets ; il doit en assurer l'élimination. Il existe quatre principes relatifs à la gestion des déchets :

Prévention, elle concerne la réduction de la production des déchets et leur nocivité, l'organisation du transport et le principe du pollueur-payeur.

Valorisation, initialement, les principaux modes de la valorisation était 3R mais la nouvelle notion est basée sur 3RV-E. Elle comprend par ordre de priorité, la réduction à la source, le réemploi, le recyclage, la valorisation (en matière, énergétique) et l'élimination.

Elimination, elle consiste à interdire tout abandon ou brulage des déchets, les rejets non conformes aux réseaux collectifs et l'enfouissement des déchets bruts.

Information (transparence), c'est les relations entre les différents acteurs de la chaîne (industrie, administration, population, transporteur, centre de tri, centre de traitement,...).

L'état Algérienne a adopté d'autres principes que ceux cité précédemment dans son nouveau programme PROGDEM. Ce programme est fondé sur un ensemble d'actions et de mécanismes environnementaux dont les grands principes sont : la précaution, la prévention, la responsabilité élargie des producteurs et le principe du pollueur-payeur (Djemaci, 2012).

Précaution / Prévention, L'article (3) de la loi sur la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable définit des principes d'actions préventives et de correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable et qui impose à toute personne dont les activités sont susceptibles d'avoir un préjudice important sur l'environnement, de prendre en considération les intérêts d'autrui avant d'agir.

Le principe de précaution est un principe international utilisé dans le domaine de l'environnement et de la santé publique. C'est l'un des principes adopté par la déclaration de Rio en 1992 et dans le

droit de plusieurs pays. L'Algérie a adopté le protocole de Cartagena le 25 mai 2000 ainsi qu'un moratoire sur les OGM (Organisme Génétiquement modifié) dans lequel le principe de précaution a été intégré. Il en est de même dans le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) qui prévoit la mise en œuvre des cadres nationaux de biosécurité pour l'Afrique. La loi n° 83-03 février 1983 relative à la protection de l'environnement, dans son article 106, prévoit ce principe dans la matière des substances chimiques, des installations à risque et les déchets.

La prévention des déchets intervient non seulement sur le taux de production des déchets mais également sur le niveau global de la production de déchets, les risques intrinsèques aux matériaux, les risques et les impacts liés à la mobilisation et l'utilisation des matériaux. Les grands volets d'une politique préventive sont : les technologies propres, les écolabels, l'éco-conception, la suppression d'emballage et leur réutilisation.

La formation/sensibilisation, en Algérie, le principe de la sensibilisation et de la formation environnementale où l'éducation à l'environnement est l'une des priorités du ministère chargé de l'environnement à travers le PROGDEM. Il vise essentiellement trois catégories différentes : le planificateur, le producteur et enfin le consommateur.

Principe du pollueur-payeur, Le principe du pollueur-payeur (les 3P) a été introduit dans la loi de 2003 relative à la protection de l'environnement. L'article 3 en donne la définition suivante : « ... *toute personne dont les activités causent ou sont susceptibles de causer des dommages à l'environnement assume les frais de toutes les mesures de prévention de la pollution, de réduction de la pollution ou de remise en état des lieux et de leur environnement; ...* ». Ce principe implique que les coûts de la prévention, de la réduction à la source et du recyclage des déchets sont assumés par le pollueur.

La responsabilité élargie du producteur est une politique nouvelle de la prévention de la pollution et aussi un principe de gestion des déchets. Il a pour but de réduire la pollution à chaque étape du cycle de vie d'un produit en adoptant une nouvelle technologie. Il implique généralement un système obligatoire ordonné par les États, ou volontaire, par lequel les industries prennent l'initiative.

I.2.5. Les acteurs intervenants sur la gestion des déchets

Dans les pays en voie de développement, la gestion des déchets ménagers est organisée en trois principaux secteurs : le secteur public, le secteur privé formel et le secteur privé informel. Il y a d'autres acteurs qui interviennent sur la gestion des déchets ménagers comme la population, les organisations non gouvernemental et les associations. La participation de ces dernières est moins motivée dans les pays en développement que celle dans les pays développés. On développera ci-après les acteurs intervenants à la gestion des déchets solide ménagers dans le cas de l'Algérie (Djemaci, 2012).

I.2.5.1. Le secteur public

Il est représenté par les autorités nationale, régionale ou locale. Il a la responsabilité du contrôle et de la mise en application des dispositions de certains services urbains y compris la gestion des déchets solides.

Au niveau national

- **Le Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement (MATE)** est le premier responsable de la politique nationale de l'environnement. Il a été créé à la fin des années 1980 avec une dénomination variable dans le temps. Il est chargé de mettre en œuvre une politique moderne de développement durable, de déterminer ses objectifs, fixer les normes et la nomenclature et élaborer un plan national de gestion intégrée des déchets.
- **L'Agence Nationale des Déchets (AND)** créée par le décret exécutif n°02-175 du 20 mai 2002 et placée sous la tutelle du MATE. Elle dispose d'un instrument adéquat pour apporter de l'aide aux collectivités locales en matière de mise en œuvre de la politique nationale des déchets. Elle a deux principaux caractères : le premier est commercial en matière d'études et de recherche dans ses rapports avec les tiers tandis que le second lui confère le rôle d'un service public avec l'administration en lui confiant essentiellement l'assistance aux collectivités locales dans la gestion des déchets. Elle est chargée de la mise en place du Système Public de Reprise et de Valorisation des Déchets d'Emballages « Eco-Jem » et d'assister et de participer aux études d'optimisation de la collecte ordinaire, de la mise en place de la collecte sélective, de création et de gestion des centres d'enfouissement technique (CET).
- **L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD)** est créé le 3 avril 2002. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il est régi par les règles applicables à l'administration dans ses rapports avec l'État, et il est réputé commerçant dans ses relations avec les tiers. L'ONEDD est compétent en matière de collecte, de traitement, de production et de diffusion de l'information environnementale.
- **Le Conservatoire National des Formations à l'Environnement (CNFE)** a été créé en août 2002. Il assure deux missions principales : la formation des différents intervenants publics ou privés dans le domaine de l'environnement et l'éducation à l'environnement du grand public, notamment dans le milieu scolaire.

Au niveau régional

- Les **Inspections Régionales de l'Environnement** sont des organes décentralisés de l'État. Elles ont été créées par le décret n° 88-227 du 5 novembre 1988 portant attributions, organisation et fonctionnement des corps d'inspecteurs chargés de la protection de

l'environnement. Ces inspections ont pour mission de veiller au respect de la législation et de la réglementation dans le domaine de la protection de l'environnement, de rechercher et de constater les infractions en la matière.

- Les **Directions de l'Environnement de Wilaya (DEW)**, créées par le décret exécutif n°96-60 du 27 janvier 1996, elles sont venues succéder aux inspections de l'environnement de wilaya. Les directions de wilaya ont trois grands axes d'activité : *la coordination* entre les organes de l'État, des wilayas et des communes afin d'établir un programme de protection de l'environnement sur l'ensemble du territoire de la wilaya, *le contrôle* en matière de délivrance de permis, d'autorisations et de visas dans le domaine de l'environnement prévus par la législation et *l'information* qui permet aux directions de l'environnement de promouvoir des actions d'information, d'éducation et de sensibilisation en matière de préservation de l'environnement. En plus de ces missions, les DEW s'occupent des installations classées.

Au niveau local

Représenté par les communes et les groupements de communes ou l'intercommunalité, la réglementation en vigueur rend ces derniers responsables de l'ensemble des déchets produits sur leur territoire.

- **La commune** : d'après L'article 07 du code communal, la commune a la charge de la préservation de l'hygiène et de la salubrité publique notamment en matière d'évacuation et de traitement des eaux usées et des déchets solides urbains. Pour assurer sa responsabilité, elle doit organiser un service de gestion des déchets ménagers qui assure la collecte, le transport et le traitement des déchets. Dans le cas où la collecte et le transport sont assurés par le secteur privé, la commune impose les conditions de présentation des déchets à la collecte, fixe les normes de ramassage et l'évacuation des déchets et établit les cahiers des charges qui précisent les obligations auxquelles doivent être soumises les entreprises chargées du ramassage.
- **Le regroupement des communes** : il est mis en place dans le cas où les communes ne disposent pas de moyens suffisants pour assurer la gestion des déchets sur leur territoire. Celles-ci peuvent se regrouper ou s'associer pour une partie ou la totalité de la gestion des déchets ménagers. Le décret n° 84- 378 du 15 décembre 1984 stipule que « *L'Assemblée populaire communale organise, dans les conditions définies (...), sur son territoire, soit directement, soit en association par l'intermédiaire d'organismes intercommunaux et/ou appropriés, un service de collecte et d'élimination des déchets solides urbains, à l'exclusion de certains déchets* ». L'article 215 du nouveau code de la commune adopté en 2010 prévoit que deux ou plusieurs communes limitrophes peuvent s'associer pour aménager ou

développer en commun leurs territoires et/ou gérer ou assurer des services publics de proximité conformément aux lois et règlements.

I.2.5.2. Le secteur privé formel

Malgré l'ouverture du secteur public de la gestion des déchets au le marché privé par la loi de 2001, la participation de ce dernier dans ce domaine est très limitée. Suite à l'insuffisance des moyens matériels appropriés, certaines communes ont délégué quelques services de la gestion des déchets au secteur privé comme celui de la collecte, Bordj El Kifan, Kouba, Mostaganem et quelque quartier de la commune d'Oran, du recyclage et de la récupération (commune de Tizi-Ouzou).

Les nouveaux programmes d'aide social comme ceux de l'ANSEJ (agence national de soutien à l'emploi des jeunes opérationnel depuis le deuxième semestre 1997), l'ANGEM (Agence nationale de gestion du microcrédit créée en 2004) et l'ADS (Agence de Développement Social) ont permis la création de plusieurs petites entreprise participant dans la réutilisation des déchets triés. En 2008, plus de 873 récupérateurs agréés et répartis sur l'ensemble du territoire national ont été recensés (Sweep-net, 2010).

I.2.5.3. Le secteur Privé informel

Ce secteur est une caractéristique de la gestion des déchets ménagers dans les villes des pays en développement. Il représente une importante activité économique. Il est composé d'individus, de familles et de petites entreprises non officielles à bas revenu. Pour survivre, ils récupèrent les matériaux directement des différents points de récupération (les poubelles du producteur, les points de transit ou dans les sites de traitement). Les matériaux récupérés sont tous recyclables (cartons, plastiques, piles) et réutilisables (verres, ferrailles, textiles). Une fois récupérés ces matériaux sont revendus à des acheteurs ambulants. Ces derniers sont des récupérateurs intermédiaires qui revendent ces matériaux aux industries ou aux exportateurs.

Ce secteur garantit des emplois à environ 2% de la population des villes d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. Ces populations survivent grâce à la récupération de matériaux, exemple des « Zabbaleen » au Caire (Charney, 2005). En Algérie, le revenu des collecteurs est estimé à environ 1500 DA [15 €] par jour. Cette activité est la source de revenus de plus de 1 000 personnes. Le revenu mensuel des récupérateurs de papier se situe entre 40.000DA et 45.000 DA [400 à 450 €], soit 2.000 à 2.200 kg par semaine qui sont revendus à l'entreprise Tonic Emballage (Djemaci, 2012).

I.2.6. Mode de gestion

Le mode de gestion des déchets ménagers diffère d'un pays à un autre et d'une ville à l'autre, il dépend du contexte local et des études préalables. (Chrney, 2005)

Chaque collectivité étant différente de l'autre, la gestion de leurs déchets ménagers dépend des paramètres locaux les caractérisant. C'est pourquoi nous distinguons, en général, trois types de gestion :

I.2.6.1. La gestion directe (dite en régie) par la collectivité :

C'est le mode de gestion le plus utilisé dans les pays en voie de développement. La collecte, le transport et le traitement sont directement gérés par un des services de la collectivité. Toutefois, il arrive que certaines opérations soient, parfois, confiées à des intervenants extérieurs.

I.2.6.2. La gestion déléguée

Dans ce type de gestion, la collectivité délègue, sous sa responsabilité, une partie ou la totalité des opérations de collecte, de transport et de traitement à des entreprises extérieures, généralement du secteur privé.

Si la collecte et le transport sont confiés à des petites entreprises, le traitement, et parfois le transport à grande distance, sont assurés, quant à eux, par de grandes entreprises spécialisées.

I.2.6.3. La gestion communautaire

A ces deux modes de gestion, il est parfois greffé une gestion, appelée communautaire, qui fait participer les associations de quartier et des organisations non-gouvernementales. Leur participation à la gestion des déchets, avec les entreprises publiques ou privées, se limite le plus souvent à l'organisation des programmes de sensibilisation et de formation de la population et à des actions ponctuelles de nettoyage et de collecte.

I.2.7. Mode de gestion du service en Algérie

En Algérie, les types de gestion se ressemblent mais diffèrent parfois dans quelques caractéristiques. Le service de la gestion des déchets relève actuellement de quatre modes de gestion : gestion directe, l'établissement public à caractère industriel et commercial, le marché public et la délégation de service public (Dahman, 2012).

I.2.7.1. La gestion directe en régie

Le service de la collecte est pris totalement en charge par les collectivités locales. Elles l'assurent sur ses propres fonds, grâce à son personnel et ses propres équipements.

Le nouveau code de la commune, dans son article 151 précise que « La commune peut exploiter directement ses services publics sous forme de régie. Les recettes et les dépenses de la régie sont portées au budget communal » ; Ceci donne à la commune la possibilité de gérer directement, par régie et avec un budget autonome, son service de collecte des déchets ménagers. Conséquemment à cette disposition, ce mode de gestion a été adopté par la majorité des communes algériennes.

I.2.7.2. L'établissement public

La gestion par un établissement public consiste à confier la gestion des déchets ménagers de la commune à un établissement de droit public doté de la personnalité morale et de l'autonomie

financière. Juridiquement et financièrement distinct de l'autorité qui l'a créé, leur statut leur confère une gestion plus souple que celle de la collectivité locale. Il demeure toutefois rattaché à celle-ci par un acte de contrôle (tutelle). Ils ont été créés par L'article 153 du code de la commune de 2010.

On distingue les établissements publics administratifs (**EPA**) soumis aux règles de la comptabilité publique et les établissements publics industriels et commerciaux (**EPIC**) soumis à la comptabilité commerciale. Administrés par un Conseil d'Administration, leur budget n'est pas annexé à celui de la collectivité.

Ce mode de gestion est peu répondu actuellement.

Toutefois, ces établissements auront tendance à se développer davantage les années à venir du fait de la mise en œuvre du PROGDEM et de la création de plus de 100 centres d'enfouissement techniques (**CET**) au niveau national. En début de 2012, 42 EPIC ont été créés pour la gestion des CET.

I.2.7.3. Le marché public

Il s'agit là de contrats, encadrés par le code des marchés publics, liant la collectivité locale à des entreprises publiques ou privées (décret présidentiel n° 02-250 du 24 juillet 2002, modifié par le décret présidentiel n° 03-301 du 11 septembre 2003, modifié et complété par le décret présidentiel n° 08-338 du 26 octobre 2008).

Ce type de contrat fait appel à la procédure d'appel d'offre qui se fait par l'une des formes suivantes :

- l'appel d'offres restreint,
- la consultation sélective,
- l'adjudication,
- le concours.

Le contractant reçoit une rémunération pour la prestation fournie. Elle intervient selon les modalités suivantes :

- à prix global et forfaitaire ;
- sur bordereau de prix unitaires ;
- sur dépenses contrôlées ;
- à prix mixte.

Pour le respect des prix, le service contractant peut privilégier la rémunération du marché selon la formule à prix global et forfaitaire. L'article 11 du décret de 2003 définit les opérations qui s'inscrivent dans son champ. On note les opérations suivantes :

- l'acquisition de fournitures,
- la réalisation de travaux,

- la prestation de services (collecte, etc.),
- la réalisation d'études (études d'impact environnemental, etc.).

Ces dernières années, les contrats liés au service des déchets ont connu une forte augmentation sous l'impulsion de la réalisation des objectifs du PROGDEM (acquisition de camions à benne tasseuse, de conteneurs, réalisation de 1169 schémas directeurs, construction et équipement de centres d'enfouissement technique...).

I.2.7.4. Délégation de service public (concession)

La concession est un contrat par lequel la collectivité confie, sous son contrôle, l'exploitation du service à un tiers. Le code communal indique clairement que lorsque les services publics locaux ne peuvent être exploités en régies ou en établissements, la commune peut les concéder en respectant un cahier de charges. L'article 33 de la loi de 2001 prévoit que l'assemblée populaire communale peut concéder à des personnes physiques ou morales de droit public ou de droit privé tout ou partie de la gestion des déchets ménagers et assimilés, des déchets encombrants et des déchets spéciaux générés en petite quantité par les ménages. Elle intervient en général dans les villes accusant des défaillances en matière d'équipements et d'agents de collecte de déchets municipaux (Djemaci, 2012).

I.2.8. Problématique de gestion des déchets ménagers dans les PED

La gestion des déchets ménagers représente un enjeu majeur pour les pays en voie de développement (PED), aujourd'hui et dans les années à venir. Qui est un défi auquel doivent prendre en charge d'une manière efficiente. Mais l'absence de volonté politique d'inscrire cette question dans les priorités stratégiques de ces pays en tant que programme national à part entière est le principal handicap devant l'amélioration de la situation de manière générale.

La méconnaissance des gisements de déchets, tant du point de vue quantitatif que qualitatif (composition, propriétés physico-chimiques, etc.), ne permet pas la mise en place de stratégies fiables de gestion de ces déchets. En effet, la disponibilité des données sur la caractérisation des déchets générés à l'état brut et leur mise à jour périodique en fonction de l'évolution des modes de vie et des changements d'habitude des sociétés est considérée comme le premier pas dans une gestion efficiente et durable des rejets.

Dans les PED, ces données doivent concerner particulièrement les OM, qui représentent la plus grande partie des DUS, et doivent permettre aux responsables locaux de (Charney, 2005):

- évaluer la situation présente en matière de quantité et de qualité de génération des déchets au niveau des ménages et de suivre son évolution ;
- identifier, éventuellement, les spécificités des déchets en fonction des caractéristiques des populations et, par conséquent, de bien cibler les campagnes d'information, d'éducation et de communication (IEC) ;

- impliquer les ménages et les autres acteurs (récupérateurs, recycleurs, etc.) dans la gestion des déchets ;
- évaluer les potentialités économiques et élaborer des programmes de valorisation permettant de réduire les coûts de transport des déchets vers les décharges (en réduisant les masses de déchets grâce au tri à la source (les ménages), le développement de filières de traitements formelles et informelles, etc).
- impliquer les différents acteurs : ménages, récupérateurs informels, ONG, Associations, Comités de Quartier, etc.) ;
- optimiser le choix des modes de gestion des déchets n'ayant pu être valorisés ;
- prendre en compte l'évolution de la composition des déchets dans la planification de l'urbanisation future.

L'analyse actuelle de la situation de ces pays dans ce domaine montre des difficultés d'ordre institutionnel, organisationnel, technologique et financier (Rapport CCA, 2002 ; Enda Maghreb, 2003 ; Rapport, 2001). Parmi celles-ci on peut citer certaines qui sont communes à la majeure partie des PED avec toutefois de légères variations selon leur situation:

- L'absence de politique nationale et régionale en matière de gestion des OM qui représente le vrai problème dans le domaine. En effet, comme le signale le rapport « Reforming Infrastructure » (Mars 2004) de la Banque Mondiale (BM) rapporté par l'ADEME (2004), le besoin de régulation et d'intervention des pouvoirs publics et des collectivités locales dans le domaine de la gestion des déchets est primordial en tant qu'instrument de la politique de développement environnemental urbain.
- Le manque de coordination entre les différents acteurs intervenants dans le secteur ainsi que le manque de formalisation des actions qui suscitent chevauchement et conflit des compétences et des intérêts et entravent l'optimisation des actions des uns et des autres (Buenrostro et Bocco, 2003 et Arcens, 1997).
- L'insuffisance des moyens financiers alloués à la collecte et à l'évacuation des OM qui est due en grande partie à la faiblesse des recouvrements des taxes et à la méconnaissance des coûts de filière de ramassage.
- L'inaccessibilité aux moyens techniques modernes à cause notamment des coûts d'investissement et de fonctionnement élevés et de l'inadaptation de certaines recettes occidentales souvent considérées « prêtes à l'emploi » et choisies comme alternatives à un contexte spécifique (ADEME 2004). Ainsi, l'échec des unités de traitement des OM (UTOM) au Maroc, entre 1964 et 1980, (Hafid et al., 2004 et CIEDE, 1999) et celui de

l'incinération en Tanzanie et au Nigeria (Achankeng, 2003) sont directement liés à cette inadaptation des technologies aux conditions spécifiques des pays concernés.

- Le manque de sensibilisation et d'éducation des populations dans la recherche de solutions adaptées. En effet, l'approche participative est souvent négligée malgré son apport positif expérimenté dans la plupart des pays dans d'autres domaines tels que l'approvisionnement en eau potable (Aloueimine, 2005).

I.2.9. La politique de gestion des déchets ménagers en Algérie

En Algérie, la politique nationale en matière de gestion des déchets repose sur le Programme National de Gestion Intégrée des Déchets solides Ménagers (PROGDEM), adopté en 2002. Cette démarche intégrée, graduelle et progressive a été instituée, par la loi 01- 19 du 12 décembre 2001. Ce programme vise à :

- Redynamiser le rôle de la commune dans la gestion des déchets,
- Améliorer l'infrastructure de gestion des déchets (CET, centres de tri, décharges,...),
- Stimuler la participation du secteur privé et la création d'emplois dans le secteur;
- Améliorer le recouvrement de la fiscalité locale, etc.

La mise en exécution du PROGDEM s'est traduite par la reformulation des services de gestion des déchets. Cette instauration a accordé aux communes des schémas directeurs de gestion des déchets ménagers et assimilés. 908 schémas ont été achevés sont en cours de mise en œuvre, 100 centres d'enfouissement technique ont été réalisés au niveau des chefs lieux de wilayas et des villes importantes, 90 décharges contrôlées dont 8 achevées et 39 ont connu un état d'avancement de 60 à 80%. Un programme d'éradication et ou de réhabilitation de l'ensemble des décharges sauvages recensées au niveau des communes desservies par les centres d'enfouissement technique est initié. Les dix (10) plus importantes décharges sauvages ont été fermées et leur réhabilitation est en cours.

La modernisation et la mécanisation de la collecte des déchets s'est caractérisées par la réalisation de 100 stations de transfert (points de rupture de charge) pour l'économie de transport, et la réalisation de huit (08) centres d'enfouissement technique de déchets inertes à travers le territoire national. Ces derniers permettront une gestion rationnelle de ces déchets et leur valorisation en BTP.

En complément des opérations déjà engagées, d'autres actions ont été proposées comme la dotation des communes non encore pourvues de schémas directeurs communaux, le renforcement en moyens de collecte et de transport de 1069 communes (bacs, bennes tasseuses,...), et l'équipement de 218 centres d'enfouissement technique et de 300 décharges contrôlées à travers le territoire national. Cet effort a permis le traitement de plus de 75% des déchets ménagers et assimilés.

En tant qu'impératif économique, la récupération et la valorisation des déchets sont des composantes importantes du PROGDEM, contribuant à réduire la quantité des déchets enfouis, la récupération d'une fraction importante de matières premières secondaires et à contribuer à la création d'emplois verts. A ce titre, des mesures financières et fiscales sont prises pour encourager l'émergence et le développement des activités de récupération et de valorisation des déchets. Il s'agit notamment de :

- La promotion de la création des déchetteries au niveau de chaque chef-lieu de wilaya dont huit (8) sont opérationnelles, constituant l'interface récupérateurs-valorisateurs,
- La réalisation de 100 centres de tri permettant de cerner les contours de mise en œuvre du système public de récupération des déchets d'emballages Eco-jem, et généraliser l'opération à d'autres villes du pays,
- La réalisation et l'équipement de stations pilotent de compostage dont la mise en œuvre permettra de vulgariser cette pratique,
- Le développement de programme de communication et de sensibilisation de la population à ces activités.

Outre leur action en matière de sensibilisation environnementale, les associations activant au niveau des quartiers contribuent en soutenant les communes dans l'amélioration de l'hygiène et de la propreté des quartiers par des actions participatives autour de mini projets de collecte sélective et de récupération de la fraction valorisable de déchets ménagers et assimilés.

Concernant les zones dépourvues de service de gestion des déchets, le programme PROGDEM a permis la création de mécanismes de financement pour la mise en place de ce service (Djemaci et Chertouk, 2011).

Le dispositif « Blanche Algérie », a été lancé en 2006, pour encourager la frange des primo demandeurs d'emploi, sans moyen ni qualification, à contribuer par leurs activités à l'entretien et à l'amélioration du cadre de vie des populations des zones défavorisées. Le concept « Blanche Algérie » a permis l'insertion de jeunes chômeurs en partenariat avec des associations et les autorités locales. Durant la période 2005-2010, ce dispositif a permis l'insertion socioprofessionnelle d'environ 93.520 ouvriers chômeurs rémunérés au SNMG avec la couverture sociale, soit l'équivalent de 23.515 emplois d'insertion (en équivalent hommes/an). Le nombre de chantiers engagés a atteint 11.283, chantiers liés à l'entretien et à l'embellissement des quartiers ainsi que le nettoyage des plages (PAC, 2005)

Cette étape d'aide et d'encouragement de la frange des primo demandeurs d'emploi sans moyen ni qualification, intéressés par la création de la micro activité a permis aux jeunes bénéficiaires du dispositif « Blanche Algérie » d'acquérir une véritable expérience de terrain dans les domaines liés à l'entretien et à l'embellissement des quartiers ainsi que le nettoyage des plages. Cette

expérience a permis d'ouvrir de nouvelles perspectives en matière de création d'emplois (PAC, 2005).

I.3. La collecte

I.3.1. L'opération de la collecte

L'opération de la collecte se situe au cœur du processus de la gestion des déchets. C'est une opération d'ordre public qui entre dans le cadre de la protection de la santé des populations et de l'assurance d'une meilleure qualité de vie.

La collecte est l'ensemble des opérations qui consistent à enlever les déchets chez les producteurs ou des points de regroupement et de les acheminer vers leurs filières de traitement ou d'élimination (Addou, 2009).

Le service de la collecte se compose de deux étapes essentielles : la pré-collecte et la collecte elle-même.

I.3.1.1. Pré-collecte

La pré-collecte englobe toutes les opérations qui précèdent la collecte effective des déchets. Elle vise le recueil, le rassemblement et le stockage des déchets par les habitants d'un foyer, d'un immeuble, d'une cité ou par les personnels d'un organisme ou d'une entreprise, puis leur dépôt en des lieux réservés à ces déchets. Pour la pré-collecte, les déchets sont présentés dans divers contenants variant selon le type d'habitation et l'accessibilité des équipements (caissons métalliques, niches en dur, poubelles individuelles, sacs en plastique perdu ou bacs roulants) (Djemaci et Chertouk, 2011).

I.3.1.2. La collecte

La collecte traditionnelle des déchets urbains est le système le plus fréquent dans les pays en voie de développement. Elle est quotidienne dans certains quartiers ; elle fluctue en fonction des dispositions mises en place par les services techniques des villes et de l'état des infrastructures routières. Le tri sélectif n'est que très rarement envisagé à cause de l'important investissement financier qu'il requiert sur le plan de l'équipement, du nombre de poubelles et d'augmentation de la fréquence de ramassage, mais aussi à cause du manque de formation et de sensibilisation de la population (Charney, 2005)

Le but de la collecte est de libérer au plus vite le citoyen de ces déchets, faute de quoi ces derniers sont générateurs de nuisance sur l'environnement et le voisinage (Addou, 2009). Les dépotoirs clandestins sont à l'origine :

- de dégradation des sites.
- d'un aspect inesthétique,
- sources de risques de production de fumées toxiques à cause de l'élévation de température due à l'effet d'auto-caléfaction des ordures ménagères,

- un milieu de prédilection pour les rats, les souris, les mouches, les insectes responsables de transmissions des germes pathogènes.
- risque d'infiltration du lixiviat qui peut entraîner une contamination des eaux souterraines.

I.3.2. Le cadre juridique de la collecte en Algérie

Dans le but de faire face aux préoccupations écologiques et de santé individuelle et collective, il est devenu indispensable d'élaborer une politique environnementale globale relative aux déchets.

La loi 01-19 relative à la gestion des déchets est venue combler ce vide juridique en remplacement du seul texte en vigueur qui existait avant l'adoption de cette loi. Ce décret, n° 84- 378 du 15 décembre 1984, fixait les conditions de nettoyage, d'enlèvement et du traitement des déchets solides urbains. Il définissait la notion de déchets solides urbains, les modalités et la fréquence de la collecte et d'évacuation des déchets selon la taille des communes par rapport à leur population respective. Il établissait aussi les normes du choix d'aménagement et d'exploitation du site.

La loi de 2001, quant à elle, a voulu régler le problème des déchets ménagers dans sa globalité. Elle désigne la commune comme planificatrice de la gestion des déchets municipaux. À ce titre, elle doit établir un schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés comportant deux inventaires : l'un relatif aux quantités et à la composition des déchets produits sur son territoire, l'autre ayant trait aux emplacements des sites de traitement existants.

En plus, ce schéma communal de gestion des déchets ménagers doit répondre aux besoins de la commune en la matière, par le choix des systèmes de collecte, de transport et de tri des déchets, en tenant compte de ses moyens. Ce schéma est élaboré sous l'autorité du président de l'APC en accord avec le plan d'aménagement de wilaya.

Ce schéma communal de gestion des déchets ménagers est institué par les Articles 29, 30 et 31 de la Loi n° 01-19. L'Article 32 de la même loi attribue la responsabilité de la gestion des déchets ménagers et assimilés à la commune et permet la constitution de groupements de communes pour une gestion partagée de ces déchets.

Le Décret exécutif 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.

I.3.3. Les critères de qualité de la collecte des déchets ménagers

Ces critères dépendent des attentes des différents intervenants :

Pour les collectivités locales : un faible coût de la collecte pour de fortes quantités collectées, un fort taux de participation de la population avec un minimum de plaintes de sa part.

Pour les exploitant d'un centre de tri recevant les déchets collectés : bonne qualité et homogénéité des flux de matériaux collectés, petites quantité d'indésirables, fort tonnages collectés, basse fréquence de collecte, etc.

Pour les habitants : bonne régularité des enlèvements, faible coût, bonne propreté des rues, horaires de passage en journée, peu de bruit généré, pas d'encombrement des rues par les véhicules. (http://www.dictionnaire-environnement.com/collecte_ID7.html).

I.3.4. Actions préventives de la collecte

La modernisation de la collecte, indispensable à l'amélioration de la propreté dans les agglomérations urbaines, doit passer par:

- La généralisation progressive de la conteneurisation (collecte hermétique).
- La réalisation de déchetteries, pour éviter les rejets anarchiques de déchets non admis à la collecte (objets encombrants, pneus, batteries, déchets verts, gravats et les déchets spéciaux ménagers). A ce sujet, il est nécessaire de prévoir, à moyen terme, au moins une déchetterie pour 150.000 habitants.
- Le lancement par chaque commune urbaine de projets pilote de collecte sélective, en collaboration avec ECO-JEM et les entreprises spécialisées dans le recyclage. ECO-JEM est une structure créée par le MATE en vue d'impulser une dynamique dans le domaine de la valorisation des déchets d'emballage qu'un nouveau dispositif réglementaire est venu renforcer.
- La concession (privatisation) de la collecte, qui pourrait être envisagée par les communes.
- Pour les grandes villes, le recours au savoir-faire étranger s'avère nécessaire sous forme de partenariat ou de concession directe (expérience de certaines grandes villes de pays voisins qui ont eu à recourir à des entreprises étrangères pour l'amélioration de la propreté urbaine).
- Le compostage de déchets verts: un projet pilote sous forme d'unité mobile de petite capacité (équipements tractables) est nécessaire pour chaque Wilaya. Ces unités, faciles à exploiter, seraient installées de préférence à proximité des zones agricoles. Les quelques expériences de compostage d'ordures ménagères (tout venant, sans tri préalable) dans de grandes installations fixes (Blida, Alger et Tlemcen) se sont soldées par un échec ; d'où la nécessité de cibler en priorité les gisements de déchets organiques (déchets de marchés de fruits et légumes, les déchets de jardinage...) pour l'obtention d'un compost de bonne qualité.
- La généralisation future de la collecte sélective facilitera à long terme la réalisation d'installation fixe de grandes capacités (PAC, 2005).

I.3.5. Modes de collecte

Il existe en Algérie deux méthodes d'enlèvement des déchets ménagers :

- le porte à porte, dans lequel le service de la collecte assure un passage régulier pour l'évacuation des DSM ;

- l'apport volontaire, dans lequel le générateur assure le transfert des DSM vers un point de regroupement afin qu'ils soient transportés par le service chargé de l'opération vers un lieu d'élimination ou de traitement. Ce mode d'apport est très adapté à l'opération de tri sélectif (MATE, 2003).

I.3.6. Financement de la collecte

Les collectivités territoriales algériennes assurent le financement du service d'enlèvement des déchets urbains soit par le budget général des communes soit par la Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères (**TEOM**).

I.3.6.1. Budget général

En Algérie 100 % des communes ont adopté le système de financement du service public d'élimination des déchets par le budget général.

Les recettes du budget général des municipalités proviennent des taxes qu'elles perçoivent : taxe d'habitation, taxe professionnelle, taxe foncière sur les propriétés bâties et non bâties et la taxe d'assainissement (*Art.171 du Code des impôts*).

La situation financière des communes algériennes est très hétérogène. Chaque année plus de la moitié des communes enregistrent un déficit budgétaire.

La dotation de l'État à travers les différents programmes de développement est la principale source du budget communal. Elle consiste en :

- le transfert du budget d'équipement pour les investissements (déjà octroyés en partie dans le cadre de PROGDEM),
- les dotations de fonctionnement provenant du Fonds de l'environnement et de la dépollution (FEDEP) pour améliorer sensiblement la qualité de l'environnement,
- les dotations du fonds commun des collectivités locales (FCCL) qui relaieront celles du **FEDEP** ; ce qui nécessite au préalable sa réorganisation et un accroissement de ses ressources (Djemaci et Chertouk, 2011).

I.3.6.2. Taxe d'enlèvement des ordures ménagères (TEOM)

Instituée en 1993, cette taxe annuelle, forfaitaire et locale, a été opérationnelle en 1994 et imposée sur toutes les propriétés bâties (Loi de finances, 1993). La TEOM est instituée dans les communes où existe un service d'enlèvement des ordures ménagères. Elle est perçue auprès des usagers du service. Avant 2002, elle était connectée au nombre d'habitants par commune :

- 375 DA pour ceux qui résident dans les communes de moins de 50 000 habitants,
- 500 DA dans les communes de plus de 50 000 habitants.

En 2002, cette taxe a été sensiblement revalorisée par la loi de finances en fixant une fourchette obligeant les collectivités à ne pas dépasser un seuil maximum. Le montant de cette taxe applicable

aux ménages est de 500 DA à 1 000 DA. Les montants sont fixés par arrêté du président d'APC, après autorisation du wali. Le produit de la TEOM est versé intégralement aux communes.

Dans la pratique, cette taxe couvre entre 20 % à 30 % du budget consacré à la gestion des déchets, ce qui laisse conclure que cette taxe est loin de répondre aux frais de gestion des déchets (Djemaci et Chertouk, 2011).

I.3.7. Moyens de collecte

L'une des caractéristiques majeures des villes des P.E.D est l'insuffisance et le mauvais état des voies de circulation. Elles sont souvent mal entretenues et ne permettent pas une bonne circulation des véhicules de collecte. De plus, les véhicules sont chers et peu disponibles sur le marché local. Les différents types de collecte des déchets urbains nécessitent des modes de transport urbain allant des plus rudimentaires (charrettes) aux plus sophistiqués comme par exemple les camions à benne tasseuse (Charney, 2005).

Bien qu'il n'existe, en Algérie, aucune statistique fiable relative aux quantités de déchets collectés ou produites, les déchets collectés représentent seulement une fraction de la quantité totale produite. S'agissant de la logistique en place, le service de la gestion des déchets compte plus de 12 093 agents et 1 008 camions, 828 tracteurs, 109 bennes tasseuse, 194 remorques, 135 dumpers (AND, 2006). Mais ces chiffres ont certainement connu des évolutions notables au cours des dernières années avec notamment l'activation du plan national et des plans sectoriels et communaux de la gestion des déchets, l'État ayant consenti des investissements importants au cours du plan quinquennal 2010-2014 et projette d'en faire autant sinon plus pour la prochaine période.

Concernant les moyens matériels de l'opération, le MATE estime que le taux de 01 véhicule pour 7 500 habitants environ (en 2005) est loin d'être en conformité avec les normes universelles qui exigent un véhicule pour 4 000 habitants. L'un des objectifs fixés au PROGDEM est de permettre d'une façon significative le renforcement des capacités des communes en matière de collecte et de transports des déchets (Mate, 2005).

I.3.8. Optimisation de la collecte

L'optimisation des tournées de collecte des déchets vise à réduire au mieux les coûts environnementaux et financiers de la gestion, notamment en termes de réduction des kilomètres parcourus par les véhicules utilisés pour assurer cette tâche. Ceci impliquerait une diminution des émissions de polluants, de consommation de carburant et de temps de collecte.

Le but de l'optimisation n'est pas seulement de réduire les frais d'exploitations et les émissions polluante mais de : (McLeod et Cherrett, 2008).

- Maximiser la qualité du service,
- Réduire les kilomètres effectués,

- Réduire la durée de collecte,
- Utilisation optimale des ressources,
- Réduire au minimum les embouteillages liés aux opérations de collecte.

Les difficultés les plus communes rencontrées dans la gestion de la collecte des déchets est l'optimisation des ressources (matérielles, financières et humaines) pour un système de gestion de collecte efficace (Faccio et al., 2011).

Il existe plusieurs méthodes pour résoudre le problème d'optimisation. Parmi celles des plus anciennes utilisées, nous avons la méthode des problèmes de tournées des véhicules, classée dans la série des problèmes en recherche opérationnelle.

Le problème des tournées des véhicules a été introduit en 1959 par Dantzig et permet de modéliser et de résoudre les problèmes de transport opérationnel (Phan, 2010). Ce problème peut être formulé en deux grands axes selon l'emplacement des tâches à effectuer :

- tournées des véhicules sur arc (ARP) : est un problème de tournées de véhicules dans lequel les clients se trouvent le long des arêtes du réseau. Pour les servir, il faut parcourir l'arête. Ce problème peut être approprié à une collecte porte à porte (Phan, 2010).
- tournées des véhicules sur nœuds (PNR) : est un problème de tournées de véhicules dans lequel les clients se trouvent sur des "nœuds" du réseau. Pour les servir, il suffit de passer par ces points (c'est des points d'arrêt exactes des véhicules de collecte) (Nuortio et al., 2006) .

Le problème des tournées des véhicules est mathématiquement très exigeant (appartenant à l'ensemble des problèmes NP-difficiles), et ne peut être résolu par des méthodes exactes. Les pratiques heuristiques et méta-heuristiques (Algorithmes Ant Colony, recherche tabou, recuit simulé ou Les algorithmes génétiques) sont utilisées à cet effet et donnent la solution la plus optimale possible (Laporte et al., 2000).

Le problème d'optimisation de la collecte peut être aussi résolu par la méthode de la théorie des graphes, où le problème est présenté par un graphe. Ainsi, dans le domaine de la Recherche Opérationnelle, on s'appuie sur cette représentation graphique pour utiliser les méthodes de résolution connues dans cette théorie. Dans ce type de problème, le coût (qu'on cherche à minimiser) est souvent en fonction de la distance totale parcouru par les véhicules ou en fonction de leur temps de parcours.

Quelles que soient les méthodes utilisées pour résoudre le problème des tournées des véhicules et les fréquences de collecte, les systèmes de gestion des déchets ménagers sont de nature spatiale. Par conséquent, il est possible, et préférable de profiter des nouvelles technologies comme le SIG qui s'est avéré un outil puissant avec une capacité de fournir des informations spatiales détaillées avec un traitement efficace (Keenan, 1998). Plusieurs travaux appliquent le SIG pour réaliser des études

générales de tournées des véhicules (par exemple, Taylor et al., 2000; Ericsson et al., 2006) ou de collecte des déchets et de distribution des bacs (par exemple Tarantilis et al., 2004. ; Ghose et al., 2006; Apaydin et gönüllü, 2008 ; Tavares et al., 2009 ; Tavares et al., 2009; . Zamorano et al., 2009 ;Zsigraiova et al., 2009).

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES

II. Matériels et méthodes**II.1. Analyse physique****II.1.1. Composition physique (échantillonnage et caractérisation)**

Le protocole de prélèvement doit nous assurer un échantillonnage représentatif de tous les déchets entrants au CET au jour j. Pour cela, des prélèvements sur chaque camion entrant au site sont effectués tout au long de la journée.

Pour déterminer la composition physique des ordures, on a prélevé de chaque camion 1m³ de déchet. Les déchets sont ensuite déversés sur une aire de tri propre constituée d'une dalle de béton pour éviter leur contamination avec le sol et la fraction fine. Cette manipulation est renouvelée pour chaque camion. La totalité de l'échantillon obtenu est pesée, mélangée, puis quartée pour les analyses afin d'obtenir une quantité voisine de 400 Kg.

La caractérisation a été faite manuellement (méthode de quartage) (Gillet, 1985). Un tri a été effectué pour classer les déchets selon les principales catégories présentes dans des ordures ménagères (ADEME, 1993). Une classification simplifiée à sept constituants est adoptée. Les catégories étaient : déchets organiques (fermentescibles), plastique, papier-carton, verre, métaux, textile et autre. Les échantillons de déchets ont été obtenus aléatoirement sans distinction de l'origine de la municipalité. Des sacs en plastiques ont été utilisés dans la séparation des catégories. Chaque catégorie est pesée afin de déterminer sa composition.

La sécurité était assurée par l'usage de gants, le port de masques et de lunettes.

Une fois l'opération de pesée terminée, la fraction organique obtenue par la méthode de quartage était conduite au laboratoire pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques (Gillet, 1985).

II.1.2. Densité

Un récipient de 20 litres est pesé vide, puis rempli d'ordures ménagères et repesé. Les pesées sont effectuées sur un échantillon sans tassement puis tassées pour avoir les différentes masses volumiques. L'expérience est refaite 25 fois. Les masses volumiques sont calculées par la formule suivante :

$$\rho = m/v$$

Soit

ρ : masse volumique en kg/m⁻³ ;

m : poids obtenu en kg ;

v : volume du seau en m³.

II.2. Analyse chimique

Les analyses chimiques sont effectuées sur la fraction organique obtenue par la méthode de quartage.

II.2.1. Humidité et matière sèche

L'humidité (H%) est déterminé par la méthode normée Afnor NF U 44-171 d'octobre 1982.

Une masse supérieure à 100 g est mise à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant (environ 24 heures). L'humidité doit être déterminée rapidement, pour limiter les pertes de masse par évaporation.

La matière sèche (MS%) est le taux complémentaire du degré d'humidité.

$$H\% = \frac{(M0 - M1)}{M0} \times 100$$

$$MS\% = 100 - H\%$$

Soit

M0: la masse de l'échantillon brute (g)

M1 : la masse de l'échantillon après passage à l'étuve (g)

H%: le pourcentage d'humidité contenu dans l'échantillon

MS%: le pourcentage de matière sèche contenu dans l'échantillon

II.2.2. pH

Le potentiel hydrogène, pH, est déterminé selon la norme afnor NF ISO 10-390 de novembre 1994.

Une masse de 20 g de matière sèche tamisée à 1mm de diamètre est mise en solution dans 100 ml d'eau distillée. La suspension est homogénéisée par agitation magnétique pendant 15 minutes. La mesure du pH se fait directement par lecture sur un pH-mètre à électrode combinée.

II.2.3. Mesure de la teneur en matière organique

Selon la norme NF U 44-160 de novembre 1985, une masse de 50 g est calcinée à 550 °C pendant 2 heures dans un four Carbolite modèle GWF 1200. La teneur en matière organique totale (MOT%) ou en solide volatil est la différence entre la masse de l'échantillon brut ou séché à 105 °C et la masse de l'échantillon après calcination.

$$MOT\% = \frac{(M1-M2)}{M1} \times 100 \quad \text{pour l'échantillon sec}$$

$$MOT\% = \frac{(M0-M2)}{M0} \times 100 \quad \text{pour l'échantillon brut}$$

Soit

M0 : la masse de l'échantillon (g)

M0 : la masse de l'échantillon après passage à l'étuve (g)

M0 : la masse de l'échantillon après calcination (g)

MOT% : le pourcentage de matière sèche contenue dans l'échantillon

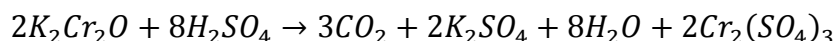
II.2.4. Carbone organique par la méthode d'ANNE

Le carbone organique est dosé selon la méthode d'Anne. Celle-ci consiste en une oxydation de la matière organique de l'échantillon par la solution de bichromate de potassium à chaud, en milieu

sulfurique. L'excès de bichromate de potassium non réduit, est titré par la solution de sel de Mohr en présence du diphényle-amine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. On déduit la partie réduite, proportionnelle à la teneur en carbone.

Une masse de 0,05 g de matière sèche broyée et tamisée à 0,25 mm est mise dans un ballon en verre de pyrex de 250 ml à colle rodé adaptable sur une colonne réfrigérante. On ajoute 10 ml de solution de bichromate de potassium 8% et 15 ml d'acide sulfurique pur (H₂SO₄). On le met sous l'eau du robinet quand on ajoute l'acide car la réaction est exothermique. Le ballon est placé sur la rampe chauffante en le raccordant au réfrigérant ascendant. Après la chute de la première goutte de condensation, nous poursuivons l'ébullition durant 5 min. Puis on transpose le contenu du ballon dans une fiole jaugée de 100 ml et on ajuste avec l'eau distillée. On prélève 10 ml de cette solution, on additionne quelques gouttes de ferroïne et on titre avec le sel de Mohr (0,2 N) jusqu'à changement de couleur (rouge vineux).

Le taux du carbone organique est calculé en se basant sur la réaction globale :



Le calcul du pourcentage du carbone organique est effectué par l'équation :

$$C\% = \frac{3 \times 10 \times T \times (y - x)}{p} \times 100$$

Avec:

x : le volume en ml de solution de sel de Mohr versé.

y : le volume en ml de solution de sel de Mohr versé pour le dosage du témoin.

p : le poids de l'échantillon en g

T : le titre du sel de Mohr

II.2.5. Teneur en azote

L'azote Kjeldahl est mesuré par la méthode normée Afnor ISO 11261. Une faible masse de l'échantillon d'ordre 0,1g est minéralisée à 180°C pendant une heure puis 2 heures à 360°C. Les résidus obtenus après digestion sont distillés après neutralisation de l'excès d'acide par la lessive de soude (on ne dit pas la lessive de soude chimiquement) 30%. Le distillat est récupéré dans un erlenmeyer avec de l'acide chlorhydrique (0,1M). La teneur en azote de l'échantillon est déterminée en dosant avec de la soude (0,1M) et du rouge de méthyle. La teneur en azote est donnée par :

$$N - NTK = \frac{(V1 - V0) \times 0.014 \times C \times 1000}{m} \quad \left(mg\ N - \frac{NTK}{Kg\ MS} \right)$$

Avec

$V0$: le volume de la solution de soude utilisé pour l'essai à blanc (mL)

$V1$: le volume de la solution de soude utilisé pour le dosage de l'échantillon (mL)

C : la concentration de la solution de soude utilisée lors du titrage (mol/L)

m : la masse de la prise d'essai (g)

Les nitrates sont calculés par la méthode au réactif de Zambelli (Rodier, 1984). Prélever 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de solution Zambelli. Agiter et laisser reposer 10 minutes. Ajouter 2 ml d'ammoniaque pur puis passer à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 543 nm.

Tableau 8: les étapes du dosage nitrate (courbe d'étalonnage)

Solution fille étalon 0.0023g/L NO₂⁻ (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	50	49	45	40	35	30
Réactif Zambelli (ml)	2	2	2	2	2	2
Après 10 minutes						
Ammoniaque pur (ml)	2	2	2	2	2	2
Correspondance en (mg/l de NO₂⁻)	0	0,046	0,23	0,46	0,69	0,92

Les nitrites sont déterminés par la méthode au salicylate de sodium (Rodier, 1984). Prélever 10 ml de l'échantillon dans un bécher. Evaporer à sec dans un bain de sable. Laisser refroidir. Ajouter 2 ml d'acide sulfurique concentré H₂SO₄. Laisser reposer 10 min. ajouter 15ml d'eau distillé et 1ml de salicylate de sodium. Puis passer à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 415 nm.

Tableau 9 : les étapes du dosage nitrite (courbe d'étalonnage)

Solution étalon d'azote nitrique 0.005 g/l	0	1	2	5	10
Eau distillé (ml)	10	9	8	5	0
Solution salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1
Concentration correspondante mg/l	0	0,5	1	2,5	5

Prise d'essai 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en mg/l d'eau.

Pour obtenir la tenir (NO₃) multiplier ce résultat par 4,43.

Pour effectuer les analyses des nitrites et des nitrates, une suspension de déchets ménagers à 20 g/L est préparée avec de l'eau distillée, agitée pendant 20 minutes, puis laissée décanter une heure avant la réalisation de l'analyse. Les déchets mis en suspension sont séchés, broyés et tamisés à un diamètre de 10mm (Charney, 2005).

II.2.6. Rapport C/N

Le rapport C/N est un indicateur efficace d'une bonne dégradation d'un substrat organique solide (le compostage). Son suivi est essentiel durant l'opération de compostage afin d'avoir un bon compost. Ce rapport C/N est calculé à partir des valeurs de carbone organique mesuré par oxydation et de la quantité d'azote N mesurée par la méthode normée Afnor ISO 11261.

II.2.7. Analyse des métaux lourds

L'analyse des métaux lourds est faite selon le protocole décrit par Ouddane, (1990), pour la recherche des métaux lourds dans les sédiments. Ce protocole consiste à placer environ 200 mg de déchets secs dans des godets en Téflon de 30 ml, préalablement nettoyées puis soumises à l'action d'acides concentrés par chauffage successif dans un bloc chauffant (Hotblock). Dans un premier temps, 10 ml d'acide fluorhydrique (48 % acide Suprapur) sont ajoutés, l'attaque se déroule pendant 24 heures à 140°C permettant principalement la minéralisation des silicates, des aluminosilicates et des carbonates. Dans un second temps et après l'évaporation quasi-totale de l'acide fluorhydrique, 2 ml d'acide nitrique (Merck suprapur, 65 %) et 6 ml d'acide chlorhydrique Merck, suprapur, 33 %) sont ajoutés pour une minéralisation complète du solide à 120°C. Ensuite, 5 ml d'eau Milli-Q sont ajoutés afin de solubiliser les métaux adsorbés sur les parois après l'évaporation de l'acide.

Enfin, l'ensemble est dilué avec de l'eau Milli-Q à un volume final de 20 ml. La solution est alors filtrée sur une membrane en acétate de cellulose (Swinnex, Millipore) de porosité 0,45 µm pour éliminer les particules de carbone restantes. Les minéralisations ont été réalisées en double, les écart-types calculés montrent en moyenne une bonne reproductibilité.

Ce protocole de minéralisation a été validé en effectuant des attaques de sédiments certifiés (PACS, HISS et MESS) du Conseil National des Recherches du Canada.

II.3. Analyses biologiques

II.3.1. Echantillonnage

10 grammes d'échantillon (déchets ménagers coupés en petits morceaux) sont prélevés et mis en suspension dans 90 ml d'eau physiologique stérile, agiter pendant une heure puis la filtrer. Des dilutions ont été faites (dilution 1 : 10) avant de procéder à l'analyse (CEAEQ, 2011).

II.3.2. Recherche des staphylocoques pathogènes (Norme XP-T 90-412)

Après filtration de l'échantillon sur une membrane cellulosique 0,45µm, cette dernière est déposée sur le milieu de culture spécifique tel que le milieu Chapman. Incuber à 37°C pendant 24 heures et si besoin 48 heures. Les souches de staphylocoques sont de taille importante et de couleur jaune. La confirmation de l'espèce est faite par l'utilisation de la galerie API.

II.3.3. Recherche des entérocoques (Norme NF ISO 7899-1)

Cette recherche se pratique en deux étapes :

- test présomptif sur bouillon de Rothe,
- test confirmatif sur bouillon de Litsky.

Milieu simple concentration : introduire 1 ml de l'échantillon et ses dilutions décimales dans des tubes à essai contenant 10 ml du milieu Rothe simple concentration stérile.

Milieu double concentration : introduire 10 ml de l'échantillon dans un tube à essai contenant 10 ml du milieu Rothe simple concentration stérile.

Incuber les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les tubes positifs présentent un trouble. Ceux-ci seront obligatoirement soumis au test confirmatif sur bouillon de Litsky.

II.3.4. Recherche des Clostridium sulfito-réducteurs et leurs spores (Norme Afnor NF EN 26461-1, ISO6461-1)

Il faut d'abord préparer le milieu de culture avant de passer à l'inoculation et l'incubation. Dans un bain Marie, placer quatre tubes contenant 20 ml de gélose de viande de foie. Après fusion de la gélose, laisser refroidir jusqu'à 55°C puis ajouter 1ml de solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer. Mélanger sans faire de bulles.

Pour la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs, dans quatre tubes stériles, répartir 5 ml de l'échantillon puis faire couler dans chaque tube le contenu d'un tube de milieu. Mélanger doucement et le faire refroidir sous l'eau de robinet. Incuber à 37 °C. Faire une lecture après 24 heures; une deuxième après 48 heures.

Pour la recherche des spores, il faut détruire la forme végétale par le chauffage de 20 ml de l'échantillon en bain Marie à 80 °C pendant 10 minutes et le refroidir rapidement sous l'eau du robinet à 55°C. Puis suivre les mêmes démarches que celle de la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs.

II.3.5. Recherche de Campylobacter jejuni (Norme ISO 17-995)

Après concentration de l'échantillon sur la membrane cellulosique 0,45µm, elle est déposée sur la gélose Skirrow et incuber en jarre anaérobie pendant 16 heures à 43 °C. Après 16 heures, enlever la membrane et prolonger l'incubation à 3 jours. Les colonies seront identifiées par l'usage de la galerie API 20 E.

II.3.6. Recherche de salmonella spp (Norme NF EN ISO 6579)

La recherche de selmonella spp s'effectue en quatre étapes : pré-enrichissement, enrichissement, isolement et identification.

Pré-enrichissement : mélanger 10 ml de l'échantillon avec un volume 10 fois plus que le volume de l'échantillon d'eau peptonée tamponnée simple concentration. Incuber le bouillonensemencé à 37°C pendant 16 heures au moins et 20 heures au plus.

Enrichissement : introduire 1 ml du bouillon de pré-enrichissement dans 20 ml du milieu d'enrichissement (cystine-sélénite ou Rappaport-Vasiliadis et le bouillon au tétrathionate). Incuber à 37°C pendant 48 heures.

Isolement : à partir du bouillon d'enrichissement, effectuer un isolement sur deux des géloses spécifique : gélose S-S (Selonella-Shigella), gélose Hektoen, gélose au sulfite de bismuth ou gélose lactosée au vert brillant et rouge de phénol.

Identification : identification par la galerie API 20 E.

II.3.7. Recherche de *Yersinia enterocolitica*

Faire un ensemencement de l'échantillon sur le milieu Mac Conkey. Incuber en jarre anaérobie à 37°C pendant 24 heures ensuite à température ambiante pendant 24 heures. Il est préférable d'incuber à basse température pour favoriser la croissance des *Yersinia enterocolitica* par rapport aux autres genres des Enterobacteriaceae ou d'autres familles. Identifier l'espèce par l'utilisation d'une galerie d'API 20 E.

II.3.8. Recherche des coliformes totaux (Norme NF V 08-050)

La recherche des coliformes totaux consiste en un ensemencement en profondeur de l'échantillon selon la méthode de routine NF V 08-050. Après fusion du milieu spécifique : la gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL). Laisser refroidir et maintenir le milieu à 44-47°C. Transférer 1ml de l'échantillon et ses dilutions dans une boîte de Pétri stérile. Couler 12 ml de la gélose, homogénéiser parfaitement et laisser refroidir sur une surface froide. Une fois solidifié, faire couler 4ml de la gélose pour former une deuxième couche. Laisser refroidir et incuber à 30°C pendant 24 heures. Identification par la galerie API 20 E.

II.3.9. Recherche des coliformes fécaux (thermo-tolérants) (Norme NF V 08-060)

La recherche des coliformes fécaux s'effectue par un ensemencement en profondeur, le même mode opératoire que celui de la recherche des coliformes totaux sauf à la température d'incubation qui est à 44,5°C.

II.3.10. Recherche des germes fécaux (Norme NF EN ISO 4833)

La recherche des germes fécaux consiste à la recherche de l'ensemble des germes d'origine fécale contenus dans l'échantillon. 01 ml de l'échantillon et ses dilutions sont transférés dans une boîte de Pétri stérile. Couler 14 ml de la gélose nutritive fondue et refroidie. Homogénéiser le contenu par un mouvement rotatif vertical. Laisser refroidir sur une surface froide. Couler une deuxième couche de la gélose (4 ml) et laisser se solidifier. Incuber en position retourné pendant 72 heures à 30°C.

CHAPITRE III

LA GESTION DES DECHETS MENAGERS

DANS LA VILLE DE MOSTAGANEM

III. la gestion des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem

III.1. Contexte socioéconomique de la ville

La ville de Mostaganem est une ville côtière de taille moyenne, qui se situe à 350 km à l'ouest d'Alger. Elle est limitée au nord par la mer méditerranée et à l'ouest par la ville d'Oran, seconde ville algérienne. Elle a une superficie de 50 km². Elle est située à 104 mètres d'altitude sur le rebord d'un plateau côtier de 124,9 Km de long (figure 1). Sa population est passée de 125 911 habitants en 1998 à 162 885 habitants au dernier recensement de 2008, avec un taux d'accroissement de 1,6% (OMS, 2008). La répartition de la population par zone d'habitat se présente comme suit : 46% dans la zone urbaine, 54% dans la zone rurale. La ville se caractérise par une population jeune, la tranche d'âge entre 0-29 ans représentant 62,8%, tandis que la population âgée (plus de 60 ans) ne représente que 6,91%.

Dotée d'un port, l'économie de la Wilaya est basée sur la pêche, l'agriculture, le tourisme et une industrie installée essentiellement sur le littoral (fabrication de lait et dérivés, raffinerie de sucre cristallisé, fabrication de chlore, unité de production de tabac...). Plusieurs points d'attraction font de cette wilaya une des régions des plus touristiques avec plus de 120 km de côte, un phare, des quartiers antiques, des grottes, des forêts, des terrains de fouille archéologique...).

L'Algérie a réalisé une nette amélioration dû à la croissance économique réalisée durant l'année 2014, où le PIB a augmenté de l'ordre de 2,7% en 2013 à 4,3% en 2014 et le taux de chômage a diminué de 9,8% en 2013 à 9,14% en 2014, ce qui a contribué à réduire le taux de pauvreté (FMI, 2015). Cette croissance économique a influencé l'ensemble des villes Algérienne.

Cette situation a entraîné, pour la ville de Mostaganem, une nette augmentation du pouvoir d'achat et de la consommation des ménages grâce, d'une part, à la diminution du taux de chômage dans la ville, estimé à 8,77% conséquence directe du développement des secteurs de la communication, des services et des travaux publics. Le nombre de projets d'investissement déclarés dans la wilaya de Mostaganem est de l'ordre de 1 360 projets dont le coût global est 234 785 millions de dinars avec la création de 22 315 postes d'emplois prévus. (ANDI, 2015) ; et d'autre part, à l'augmentation des salaires à partir de 2005. Le salaire national minimum garanti (SNMG) est passé de 15 000 DA en 2008 à 18 000 en 2012 contre 4 000 DA en 1996. Sa révision a eu des effets positifs sur les pensions de retraite inférieures à 75% du SNMG ainsi que sur les allocations familiales et la prime de scolarité qui ont connu, elles aussi, une revalorisation substantielle.

III.2. Identification des activités génératrices des déchets ménagers

Les déchets sont générés de façon continue et en quantité croissante. Leurs quantités et compositions diffèrent d'une activité à une autre. Les activités génératrices de déchets ménagers sont :

Chapitre III la gestion des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem

Les ménages : ils constituent la principale activité génératrice de déchets ménagers. Le nombre de ménage est passé de 27 148 ménages au dernier recensement de 2008 pour atteindre 30 338 ménages en 2015 avec une moyenne de 6 personnes par ménage.

Les campus universitaires : qui sont en nombre de 8 avec une capacité d'accueil globale dépassant les 35 000 lits.

Les cantines scolaires : la ville compte plus de 100 écoles primaires, 26 collèges d'enseignement moyen et 11 lycées. Chaque établissement est doté d'une cantine scolaire.

Les hôtels : la ville englobe 21 établissements hôteliers d'une capacité de 1 343 lits.

Le secteur sanitaire : la ville dispose de 3 hôpitaux et d'une maternité publique d'une capacité de plus de 1 261 lits. Le secteur privé compte 4 cliniques privées, 96 cabinets médicaux, 19 cabinets dentaires et 36 agences pharmaceutiques.

Les marchés, les commerces et les magasins : dont 4 marchés de fruits et légumes importants et 7 000 magasins.

L'industrie : le tissu industriel de Mostaganem est constitué de neuf unités industrielles s'articulant autour de quatre branches principales : l'industrie agro-alimentaire, l'industrie du bois et de la cellulose, l'industrie manufacturière et les mines et carrières.

Autres : Parmi les activités qui génèrent le moins de déchets ménagers, citons l'abattoir (15 à 51 têtes d'ovins/semaine, 5 à 7 têtes de bovins/semaine), le port maritime, le port de pêche et de plaisance d'une capacité de 234 unités, les administrations, le service de curage des voiries...

III.3. Mode de gestion des déchets ménagers de la ville

La gestion des déchets au niveau de la ville Mostaganem est restée longtemps assimilée à la collecte et à leur transport vers les décharges sauvages (figure 1), un moyen bon marché et environnementalement peu recommandable pour se débarrasser des déchets. De ce fait, le grand public garde une image très négative de la gestion des déchets ménagers qui a pourtant beaucoup évoluée avec le temps. Elle s'est considérablement complexifiée et s'est modernisée ces dernières décennies. Il n'est plus question d'évacuer et d'éliminer les déchets comme par le passé mais plutôt de le faire dans des conditions propres et durables pour préserver la santé et l'environnement. Dans cette exigence, les procédés se sont perfectionnés, les filières de traitement se sont multipliées afin que chaque catégorie de déchet soit gérée au mieux.

Pour l'élimination des déchets ménagers, l'Algérie a opté pour la construction de centres d'enfouissement techniques (CET) de classe 2 dont l'objectif était d'atteindre 300 CET exploités en 2014. L'état d'avancement des travaux selon une enquête réalisée par les services du Ministère de l'Environnement, se présente comme suit :

- 241 études de schémas directeurs communaux de gestion des déchets municipaux finalisées dont 106 ont été validées.

- 90 CET réalisés et équipés au niveau des chefs-lieux dont 16 ont fait l'objet d'expertises et sont prêts à être mis en exploitation.
- 31 CET en cours de réalisation, dont 22 ont atteint un taux de réalisation physique supérieur à 50 % dans 22 wilayas (chef-lieu et intercommunaux), dont 20 ont fait l'objet d'une expertise des travaux.
- 18 CET dans 15 wilayas (chef lieu et intercommunaux) sont en phase d'étude dont 6 ont fait l'objet d'une expertise du site d'implantation.

Cette politique permet d'éradiquer dans l'immédiat 4500 décharges anarchiques existantes à l'échelle nationale sur un total de 6000, et à la récupération de 157 000 hectares de terre à aménager en jardins et espaces verts (Djamel, 2007).

Ces installations d'enfouissement des déchets ménagers sont devenues de véritables sites industriels, soumis à une réglementation stricte et faisant l'objet de règles rigoureuses de conception, d'exploitation et de surveillance (Molitta, 2009).

Dans ce contexte, la ville de Mostaganem s'est dotée d'un centre d'enfouissement technique qui est situé dans la municipalité de Sour à 22 kilomètres du chef-lieu du département. Ce centre a été conçu pour recevoir les déchets ménagers de sept municipalités environnantes : Mostaganem, Sayada, Ain Tedeles, Sour, Ain Boudinar, Kheireddine et Oued El-Kheir. Il a été réalisé sur une superficie de 15 hectares et comprend 2 casiers de 100 000 m³ au totale et d'une durée de vie de 10 ans. Les équipements et matériel d'exploitation disponibles se composent de :

- Un compacteur à pied de mouton
- 08 camions à benne tasseuses
- Un camion 2,5 tonne
- Un chargeur sur pneus
- Un tracteur a citerne

Son coût de réalisation est estimé à plus de 536 000 €. Il est appelé, selon sa fiche technique, à traiter 60 tonnes de déchets ménagers quotidiennement pour le compte des sept municipalités.

L'étude de sa réalisation a commencé en 2002 et n'a été livré qu'en novembre 2010 et son exploitation a commencé en novembre 2011. Au démarrage, le CET a connu beaucoup de problèmes et a été fermé à plusieurs reprises à cause des émanations de mauvaises odeurs, l'envole des déchets légers dans l'atmosphère, les débordements du lixiviat pour mauvais dimensionnement des bassins de récupération, le manque d'expérience et de qualification du personnel. Ce dysfonctionnement ne nous a pas permis d'avoir les données par saison pour l'année 2011.

Le principe d'exploitation des casiers utilisé dans le CET est basé sur la technique d'enfouissement en alvéoles comme le montre la figure 2, contrairement à celle qui est la plus répandue en Algérie et qui repose sur l'exploitation de la totalité de la surface. Cette technique présente certains

inconvenients tels que la circulation des engins, la mauvaise maîtrise des opérations, la grande superficie à traiter, l'inondation par temps de pluies entraînant l'immobilisation totale de toutes activités, difficultés dans le compactage des ordures, colmatage des tuyaux d'évacuation des lixiviats.

Les ordures arrivant au CET sont systématiquement pesées et contrôlées. Aucun autre type de déchet comme les déchets d'activités de soins, déchets toxiques ou autres n'est accepté. Un tri est effectué à l'entrée du CET et on laisse passer certains déchets comme les sachets, les films ou petits emballages en plastique. Il faut noter qu'il y a absence de tri sélectif par le citoyen.

Les déchets sont disposés en alvéoles sur une épaisseur de 1 mètre de hauteur, puis compactés et ensuite recouverts de matériaux isolant (souvent de la terre). Les lixiviats sont drainés par des canalisations adéquates jusqu'aux bassins de décantation. Une étude concernant leur traitement est en voie de finalisation.



Figure 1: Décharge sauvage



Figure 2: enfouissement en alvéole

III.4. Problématique de saturation du premier casier

Suite au mauvais dimensionnement du volume des casiers et la sous estimation des quantités des déchets ménagers produites par la ville de Mostaganem et les 6 municipalités devant déverser leurs déchets aux CET de Sour, le premier casier a atteint son point de saturation après 03 ans d'exploitation seulement et non 5 ans comme il a été prévu par l'étude de 2002. Les quantités déchets étaient estimées à 65t/j (gisement de 1984), alors qu'en 2009, la ville de Mostaganem seule générait 128,5t/j.

Il semblerait qu'il n'a pas été tenu en compte l'évolution des quantités de déchets qui allaient être générées à partir de novembre 2011, date d'ouverture du CET, de la poussée démographique, du développement de la ville avec ses 6 municipalités, du taux de croissance de la production des déchets par an (20%).

III.5. Evolution de la production des déchets ménagers de la ville

Les déchets ménagers résultent de la consommation quotidienne des ménages, des établissements publics (écoles, hôpitaux, etc.), des locaux commerciaux et des entreprises. Les quantités produites par la ville de Mostaganem sont en progression continue dû à l'évolution de la société algérienne en général vers une société de consommation, l'intégration de l'Algérie dans l'économie de marché, l'augmentation du pouvoir d'achat du citoyen (augmentation des salaires, réduction du taux de chômage, développement du secteur industriel et agricole...) et le mouvement saisonnier de la population. La figure 3 représente cette évolution avant la construction du CET de 2011 à 2013 durant son exploitation.

Les quantités produites étaient de 65 T/j en 1983 et ont atteint 128,5 T/j en 2009, puis elles ont rétrécie en 2011 à 75 T/j pour augmenter de nouveau jusqu'à atteindre 105 T/j en 2013.

Si l'on compare cette production de la ville, on remarque des quantités plus importantes avant la construction du centre que celles produites pendant l'exploitation du centre. Ainsi en 2009, 128,5 T/j de déchets ménagers ont été générées (AEEC, 2009), alors qu'en 2013 il n'y a eu que 105 T/j ; hors, on devrait s'attendre à une augmentation de la quantité mais le phénomène inverse s'est produit. Ces diminutions s'expliquent par le résultat de pesées plus précises à l'entrée du CET, alors qu'auparavant elles étaient estimées en fonction du poids en charge des camions. Ces résultats sont donc plus fiables. On remarque une évolution importante et logique des quantités des déchets en 2011, 2012 et 2013 avec un taux de croissance moyen de 20%, dû, d'une part, à la fermeture des décharges sauvages et, d'autre part, au nombre croissant de vacanciers et de touristes dont le nombre augmente annuellement (estimé à 8 millions en 2013).

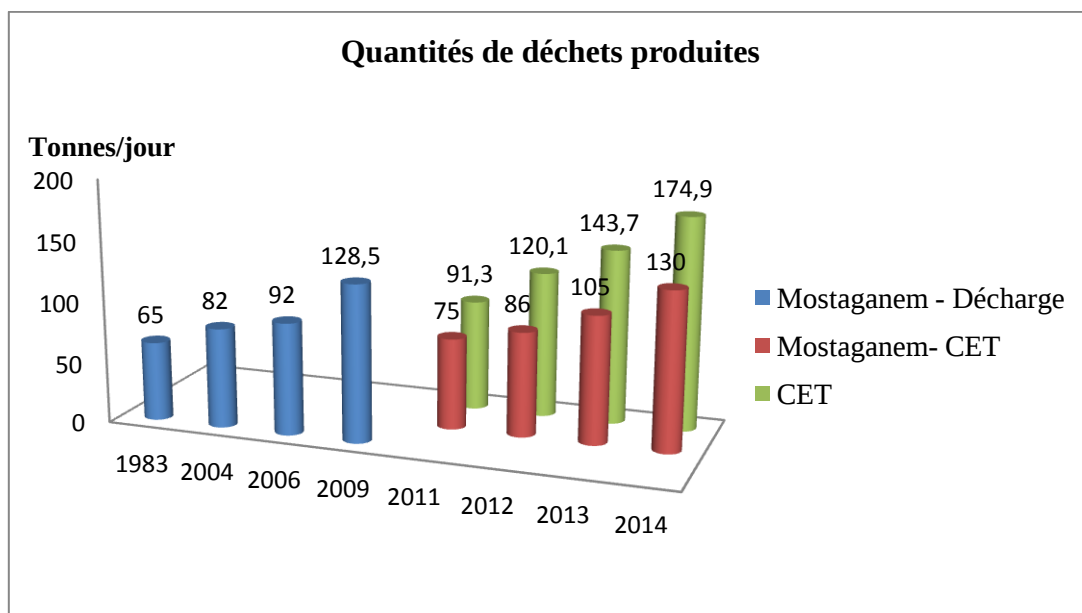


Figure 3: Evolution des quantités par an (en tonne/jour)

Le ratio qui était de 0,62 kg/hab/j en 2004 (Guermoud et al., 2009) s'est stabilisé à 0,47 - 0,48 kg/hab/j en 2011/2012 puis a augmenté à 0,59 kg/hab/j en 2013 pour atteindre 0,73 kg/hab/j en

2014. A titre comparatif, le ratio moyen national est de 0,5 kg/hab/j (MATE-CNFE, 2009). On constate qu'au niveau de la ville de Mostaganem, cette moyenne est proche de la capitale (0,74 kg/hab/j) (Mezouari, 2011), mais plus élevée par rapport à celle de la moyenne nationale et de celles des villes moyennes comme Saida (0,48 kg/hab/j) (Belkacem, 2011), Biskra (0,55 kg/hab/j) (Djemaci, 2012), Batna et Adrar (0,56 kg/hab/j) (Sefouhi et al., 2012; Boudouaya, 2010).

III.6. Quantités des déchets reçues au CET

Le CET reçoit les déchets de sept municipalités : Mostaganem (chef lieu), Ain Tedeles, Sayada, Kheireddine, Sour, Oued El-Kheir et Ain Boudinar. Les quantités des déchets ménagers reçues ont augmenté de 91,3 T/j en 2011 à 120,1 T/j en 2012 pour atteindre 143,7 T/j en 2013 et 174,9 T/an en 2014 avec un taux d'augmentation de 24% en 2012 et de 16 % en 2013 et 2014. Le ratio moyen dans le CET est passé de 0,34 à 0,53 kg/hab/j de 2011 à 2014 comme l'indique le tableau 10. Cette évolution dans la production de déchet par habitant et par jour est tout à fait comparable à celle des moyennes et petites villes.

Le ratio obtenu par le CET (0,53) est inférieur à celui de la ville de Mostaganem (0,73). Ceci s'explique par la forte population de la ville, ses activités commerciales, industrielles, universitaires, scolaires... alors que les 6 autres municipalités sont de petits villages, de faibles consommations avec des activités plutôt agricoles et donc peu génératrices de déchets.

Tableau 10: Quantités des déchets ménagers reçus au CET pour les 7 municipalités

ville	2011			2012			2013			2014		
	Population	T/j	Ratio Kg/hab/j	Population	T/j	Ratio Kg/hab/j	Population	T/j	Ratio Kg/hab/j	Population	T/j	Ratio Kg/hab/j
Mostaganem	170 829	67,1	0,39	173 562	86,0	0,48	176 339	105	0,59	179161	130	0,73
Ain Tedeles	40 367	11,0	0,27	41 368	14,5	0,35	42 030	16,5	0,39	41457	19,1	0,46
Sayada	30 220	6,2	0,20	30 703	8,3	0,27	31 194	8,1	0,26	30620	9,4	0,31
Kheireddine	28 952	3,1	0,11	29 416	5,3	0,18	29 886	7,0	0,23	29479	8,1	0,28
Sour	23 779	2,6	0,11	24 159	3,6	0,15	24 546	3,9	0,16	24211	4,5	0,19
Oued El-Kheir	18 206	0,2	0,01	18 450	0,7	0,04	18 793	1,1	0,06	18537	1,3	0,07
Ain Boudinar	6 356	1,1	0,17	6 457	1,7	0,26	6 560	2,1	0,32	6471	2,4	0,38
Total	270 368	91,3	0,34	324 115	120,1	0,37	329 348	143,7	0,44	329936	174,9	0,53

III.7. Production des déchets en fonction des saisons et du mois de jeûne (ramadan)

La région de Mostaganem est réputée pour attirer pendant la saison estivale des millions de touristes engendrant des conséquences sur la production des déchets.

La figure 4 donne les quantités de déchets ménagers produites par saison pour l'ensemble des municipalités et au niveau du CET. En 2012 la production des déchets ménagers de l'ensemble des municipalités qui exploitent le CET, suit une séquence croissante : été (153,7 t/j) > automne (131,3 t/j) > printemps (102,9 t/j) > hiver (93,1 t/j) ce qui est une progression logique dans la région, dont la consommation en été est importante due au nombre élevé de touristes. La consommation en automne est aussi importante qu'en printemps et en hiver à cause des mois chauds de l'arrière saison. Les ratios ont été calculés pour les mêmes périodes : été (0,50 kg/hab/j) > automne (0,40 kg/hab/j) > printemps (0,32 kg/hab/j) > hiver (0,30 kg/hab/j).

La même séquence est observée en 2013 avec une légère augmentation par rapport à 2012 : été (167,6 t/j) > automne (156,7t/j) > printemps (137,5t/j) > hiver (113t/j) avec les ratios suivants : été (0,52 kg/hab/j) > automne (0,48 kg/hab/j) > printemps (0,42 kg/hab/j) > hiver (0,35 kg/hab/j).

En 2014, on remarque la même séquence observée en 2012 et 2013 avec une remarquable augmentation : été (194 t/j) > automne (182 t/j) > printemps (159,5 t/j) > hiver (131 t/j) avec les ratios suivants : été (0,6 kg/hab/j) > automne (0,56 kg/hab/j) > printemps (0,49 kg/hab/j) > hiver (0,40 kg/hab/j).

Le même constat a été observé pour la ville de Mostaganem durant ces trois années, la quantité des déchets générée suit la même séquence que celle du CET. En 2012, elles sont de 113 t/j en été > 98 t/j en automne > 69 t/j en printemps > 63 t/j en hiver avec les ratios suivants : été (0,65 kg/hab/j) > automne (0,57 kg/hab/j) > printemps (0,40 kg/hab/j) > hiver (0,36 kg/hab/j). En 2013, elles sont de 126 t/j en été > 117 t/j en automne > 97 t/j en printemps > 80 t/j en hiver avec les ratios suivants : été (0,73 kg/hab/j) > automne (0,67 kg/hab/j) > printemps (0,56 kg/hab/j) > hiver (0,46 kg/hab/j). Pour 2014 le même constat est remarqué avec des quantités plus élevées, elles sont passées de 151,7 t/j en été > 140 t/j en automne > 116,4 t/j en printemps > 95,5 t/j en hiver avec les ratios suivants : été (0,87 kg/hab/j) > automne (0,81 kg/hab/j) > printemps (0,67 kg/hab/j) > hiver (0,55 kg/hab/j).

Le mois de jeûne (ramadan) est connu comme devant être un mois d'abstinence et de jeûne du lever jusqu'au coucher du soleil, d'entraide entre les citoyens, de prise en charge des plus démunis et d'échanges sur les plans économiques, socioculturels etc.... Or depuis longtemps ces pratiques ont totalement changé et il s'ensuit un comportement individualiste sur le plan alimentaire entraînant une surconsommation et par conséquent une importante production de déchets ménagers. La première étude effectuée par notre équipe n'a pas réussi à avoir des données exactes au cours de la période de jeûne (Guermoud et al., 2009), mais avec l'exploitation du CET, nous avons aisément extrait les quantités relatives aux mois de jeûne de ces trois dernières années qui se sont étalés du 20

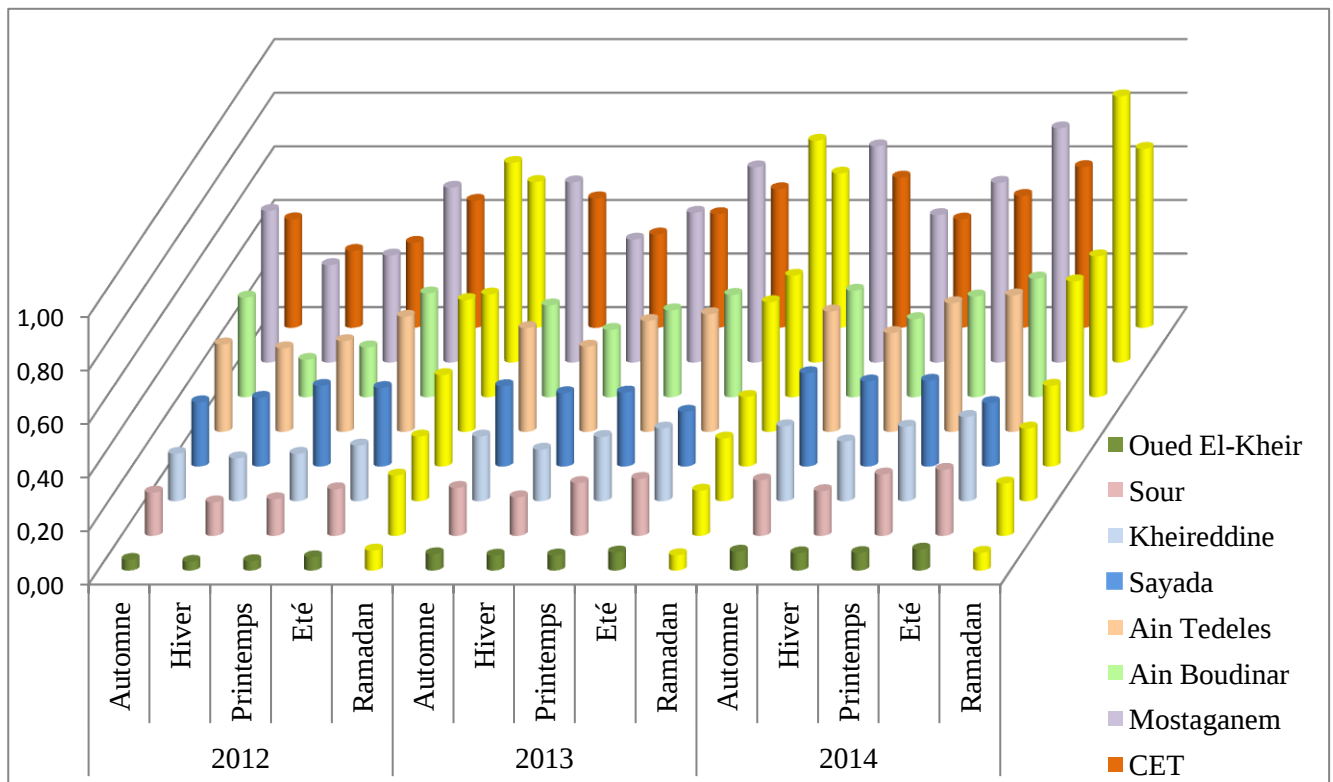
Chapitre III la gestion des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem

juillet au 19 août en 2012, du 10 juillet au 9 août en 2013 et du 18 juin au 17 juillet en 2014 , sachant que les estivants ne se déplacent pratiquement pas pendant ce mois.

Pour le mois de jeûne de 2012, les quantités des déchets ménagers générés au niveau de la ville de Mostaganem sont passées de 86 t/j à 129 t/j et de 120,1 t/j à 177t/j au niveau de CET, le ratio est passé de 0,46 à 0,67 kg/hab/j et de 0,36 à 0,50 kg/hab/j pour les deux zones étudiées respectivement.

Pour 2013, elles sont passées de 105 t/j à 144 t/j pour la ville et de 143,7 t/j à 187 t/j où le ratio est passé de 0,59 à 0,80 kg/hab/j pour la ville et de 0,46 à 0,56 kg/hab/j pour le CET. Quand à 2014, les quantités ont augmenté de 130 t/j à 172,4 t/j pour la ville et de 174,9 t/j à 216,5 t/j. Le ratio est passé de 0,73 kg/hab/j à 0,99 kg/hab/j pour la ville et de 0,53 à 0,67 kg/hab/j pour le CET. L'augmentation de cette production est due essentiellement au changement des habitudes alimentaires, plus spécifiques en ce mois en Algérie et dans les pays du Maghreb qui se caractérise par une exagération dans la nutrition à tous les niveaux (alimentation, protéines, poissons, eaux minérales, boissons gazeuses, sucreries spécifiques, jus, fruits et légumes...).

Figure 4: Les quantités des déchets générés en tonne par jour par saison et le mois de jeûne



III.8. Composition des déchets ménagers

III.8.1. Composition des déchets ménagers dans le CET et dans la ville de Mostaganem

La quantité et la nature des déchets générés sont des indicatrices socio-économiques fonctions du degré du développement national. La grande différence de la production des déchets entre les villes des pays développés (1,5 à 2,2 kg/hab/jour) et celle des villes des pays en voie de développement (généralement de moins 1kg/hab/jour) est remarquable. Cela est dû souvent aux modes de consommation au niveau alimentation, culture, scolarisation, universités etc. Les pays industrialisés consomment plus de produits et utilisent plus d'emballage. Il y a aussi des différences dans la production de déchets entre les villes et les zones rurales dans les pays en voie de développement (Ojeda-Benitz et al., 2003).

Les déchets ménagers sont un mélange hétérogène de plusieurs produits dont la composition peut varier avec ses sources de génération, les habitudes alimentaires, le niveau socio-économique, la situation géographique, les flux de population, leurs déplacements... (Ebot Mangaa et al., 2008). Les sept catégories généralement admises dans la classification des déchets ménagers sont la matière organique, le papier-carton, le plastique, le verre, le métal, le textile et les divers. Le tableau 11 résume les différentes compositions des déchets ménagers de 1983 à 2013 pour la ville de Mostaganem et pour le CET de 2012 à 2013.

La composition des déchets ménagers reçus au CET n'a pas beaucoup changé ces deux dernières années. On constate que la fraction fermentescible est plus importante au niveau du CET qu'à Mostaganem ville et peut atteindre 70%. Cette différence réside dans le mode de vie plus rural des 6 municipalités avec de faibles revenus et par conséquent un mode de vie nutritionnel moins marqué que celui des grandes agglomérations, et de très faibles activités commerciales. On note aussi une production plus faible au niveau des emballages en plastique qui sont le plus souvent réutilisés par les habitants des petites municipalités (11,7% maximum en 2013) par rapport à la ville où elle est de 14%. Pour les autres catégories, on ne constate pas une grande variation. Par contre on assiste au niveau de la ville de Mostaganem à une diminution de la matière organique qui est passée de 78% en 1983 à 67% en 2013, le plastique de 2,7% à 14%, le papier-carton s'est stabilisé autour de 12%, le reste sans grande variation. On note que le taux du papier-carton a chuté par rapport à 2004 (Guermoud et al. 2009) à cause de l'arrêt définitif de l'entreprise de fabrication du papier.

La diminution de la matière organique est due au changement nutritionnel qui s'opère au niveau de la population par l'utilisation des conserves, des produits congelés, des plats préparés, le fast-food...

Tableau 11:évolution de la composition des déchets ménagers de la ville de Mostaganem et du CET

Catégories	Mostaganem (%)				CET (%)		
		2001	2004	2009	2013	2012	2013
	1983 (ANAT, 2001)	(ANAT, 2001)	(Guermoud et al. 2009)	(AEEC, 2009)	(cette étude)	(cette étude)	(cette étude)
Matière organique	78	77,5	64,6	67,6	67	70	68
Plastique	2,7	7,5	10,5	14,5	14	10,8	11,7
Papier, carton	12	13	15,9	10	12	11,5	12
Verre	1,1	0,5	2,8	1,6	1,8	1,3	1,5
Métal	2,2	1,5	1,9	1,2	1,2	1,5	1,1
Textile	3,4	/	2,3	3,4	2,4	2,7	2,6
Divers	/	/	2	1,7	0,4	2,2	3,1

Le plastique a augmenté ces trois dernières décennies passant de 2,7 à 14% pour la ville de Mostaganem et à 11,7% au niveau du CET, résultat de l'usage important des emballages en plastique au niveau des eaux minérales, les produits laitiers, les produits de nettoyage et d'entretien, contrairement au papier-carton, verre, métaux et textile qui n'ont pas subi de fortes variations pendant ces périodes et qui restent très peu utilisés dans le quotidien des citoyens algériens.

III.8.2.Composition des déchets dans les villes algériennes en fonction de leur position géographique

Si l'on compare ces résultats aux villes du littoral, des hauts plateaux et du grand Sud (tableau 12), on remarque qu'au niveau des trois grandes villes côtières Alger, Oran et Annaba, la matière organique (fermentescible) oscille entre 40 et 50% alors que pour Mostaganem, Bejaia et Boumerdes elle varie de 67 à 73%. Dans les villes d'intérieur, elle varie de 56% à 83% avec une moyenne de 70%, contrairement aux villes du Sud où elle est moins importante avec un taux moyen de 55%. Ce qui donne une moyenne nationale de 62%. Cette différence reste liée aux différents modes d'alimentation entre les habitants des grandes villes du littoral plus portés vers les repas rapides, préparés ou en conserves, alors que pour ceux des villes intérieures et du grand sud, elle est plus orientée vers les céréales, les légumes secs, fruits et légumes de saison.

Le plastique, composé essentiellement des emballages (PVC, PEHD), présente des taux variables. Dans les villes du littoral, la moyenne est de 12,86% avec un maximum à Oran (24,9%) et un minimum à Boumerdes (8,5%). Dans les villes intérieures, la moyenne est de 9% avec un maximum à Constantine (13%) et un minimum à Djelfa (2,4%). Pour les villes du sud, il se situe entre 20% et 12%. La moyenne nationale est de 12%. Les faibles taux de plastiques enregistrés dans certaines villes s'expliquent par la réutilisation des bouteilles d'emballage et l'existence du secteur informel qui le récupère avant la collecte pour une éventuelle valorisation.

Le papier/carton représente entre 3,2% et 13,7 % dans les villes du littoral, 6,9% à 17,7% dans les villes intérieures et 8,3% à 18,5% dans les villes du Sud. La moyenne nationale est de 9%. Les taux élevés du papier et carton à Batna et Ghardaïa (17,7% et 18,5%) sont dû aux industries de fabrication de papier.

Le textile est important dans Alger, Oran, Annaba et Ghardaïa (10 à 15%) à cause de l'existence d'industrie du textile. Pour les autres villes, le taux varie entre 2 et 5%.

Le verre et les métaux sont rejetés en très faibles quantités, de l'ordre de 2 à 3% pour toutes les villes algériennes sauf à Bordj Bou Arreridj et Ghardaïa où les métaux représentent plus de 12%, ce qui pourrait s'expliquer par la présence des industries électroniques et électroménagères. Les taux faibles enregistrés au niveau de l'ensemble des autres villes sont dû à l'absence d'une culture de consommation des produits conservés dans les emballages en verre et/ou en métaux. Pour les ferreux, ils sont récupérés par le secteur informel avant leur collecte.

Tableau 12: composition en % des déchets ménagers dans les villes algériennes en fonction de leur position géographique

	Les villes	population	O.M	Plastique	Papier,	verre	Métaux	Textiles	divers	Références
		2008			carton					
Villes du littorale	Alger (2008)	2 364 230	54,0	16,4	13,4	1,7	1,7	11,6	0,9	(Bouklia et Mecibah, 2012)
	Oran (2011)	609 940	52,3	24,9	7,2	1,2	1,7	9,9	2,8	(Dahman, 2012)
	Annaba (2011)	257 359	45,7	10,0	5,2	0,8	2,1	15,0	20,7	(Cheniti et al., 2013)
	Bejaïa (2009)	177 988	69,4	12,3	11,1	0,7	2,7	3,3	0,5	(Guermoud et al., 2009)
	Mostaganem (2013)	162 885	67,0	14	12,0	1,8	1,1	2,4	0,45	Ce travail
	Boumerdes (2008)	41 685	73,0	8,5	9,2	1,6	3,2	4,9	/	(Djemaci, 2012)
	Constantine (2009)	448 374	70,0	13,0	11,0	2,0	3,0	/	1,0	(Boukelia and Mecibah, 2012)
Villes des hauts plateaux	Batna (2012)	290 645	56,8	10,9	17,7	1,8	1,8	10,3	1,2	(Sefouhi et al.,2012)
	Djelfa (2009)	289 226	83,5	2,4	7,9	1,2	1,7	1,4	1,9	(Guermoud et al., 2009)
	Tiaret (2007)	201 263	73,6	6,6	11,5	0,1	0,7	3,3	4,5	(Mehdi et al., 2007)
	Chlef (2011)	178 616	62,9	2,7	3,2	1,7	0,6	5,2	23,5	(Tahraoui Doum at al., 2012)
	Bordj Bou Arreridj (2006)	168 346	61,0	9,0	15,5	/	12,3	2,2	/	(Mezouari, 2010)

Chapitre III la gestion des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem

	Tlemcen (2009)	140 158	71,0	11,0	11,0	1,0	3,0	2,0	13,0	(Guermoud et al., 2009)
	Saida (2011)	128 413	73,0	8,4	6,9	3,3	2,4	/	/	(Belkacem, 2011)
Villes du grand Sud	Biskra (2006)	205 608	49,0	12,0	18,5	1,5	0,5	/	/	
	Ghardaïa (2006)	93 423	58,3	20,0	8,3	/	13,3	/	/	(Mezouari, 2011)
	Adrar (2010)	64 781	60,1	12,0	11,8	2,2	7,3	/	6,6	(Boudouaya, 2010)
	Moyenne nationale (2010)	/	62,0	12,0	9,0	1,0	2,0	/	14,0	(Gourine, 2010)

III.8.3. Composition des déchets ménagers dans certains pays du monde

La composition des déchets que nous avons présentée dans cette étude et pour certaines villes algériennes n'est pas trop différente par rapport à la moyenne nationale de certains pays. En effet, sans qu'il puisse être établi une corrélation stricte (rigoureuse) avec le niveau socio-économique d'un état, la composition des déchets ménagers reste variable et liée à plusieurs paramètres cités plus haut. Néanmoins, cette étude confirme des données établies et constatées dans les études sur les déchets. La part de la matière organique (fermentescible, putrescible, déchets verts...) est prépondérante dans les pays en voie de développement : Algérie 62%, Maroc 65 %, Tunisie 68 %, Egypte 60%, Jordanie 56% excepté en Mauritanie (4,8%) où elle est valorisée comme aliment de bétail au sein même des ménages (tableau 13). Dans les pays industriels cette fraction reste inférieure à 50% (Charney, 2005) : USA 25%, France 32,2%, Danemark 29%, Pays Bas 35%, Allemagne 14%, Italie et Suisse 29%, Japan 30% et Grèce 45%. Ceci se traduit par les comportements très différents au niveau des habitudes alimentaires, aux situations géographiques Nord-Sud, aux différents niveaux socioculturels, aux comportements civiques des citoyens, aux déplacements des populations... La part du papier-carton est plus importante dans ces pays (42 % au Japon) qui sont de grands consommateurs de papier journaux, magazines, papeterie, livres, prospectus publicitaires, emballage... La grande production du verre dans les déchets ménagers en France est due aux approvisionnements des secteurs dans lesquels la France est traditionnellement performante et possède une forte spécialisation, comme la production viticole, la parfumerie et la pharmaceutique (M.F.E.I.E, 2008). Les italiens et les allemands considèrent les emballages en verre et en papier/carton plus écologique que le plastique. (UBIFRANCE, 2011). Les résultats trouvés dans notre étude montrent que la nature des déchets ménagers au niveau de l'Algérie et de la région de Mostaganem a tendance à ressembler à certains pays développés, ce qui pourrait signifier une évolution positive dans le comportement du citoyen algérien s'il participe à la gestion efficace des déchets qu'il génère.

Tableau 13: la composition en % des déchets ménagers dans quelques pays du monde

Pays	Référence	Matière organique	Plastique	Papier- Carton	Verre	Métal	Divers
Algérie	(Guurine, 2010)	62,0	12,0	9,0	1,0	2,0	14,0
Maroc	(SWEEP NET, 2012)	65,0	10,0	8,0	2,0	1,0	14,0
Tunisie	(Djemaci, 2012)	68,0	11,0	9,0	2,0	6,0	4,0
Mauritanie	(Alouemine, 2006)	4,8	20,0	7,3	4,0	4,2	59,7

Chapitre III la gestion des déchets ménagers dans la ville de Mostaganem

Egypte	(Djemaci, 2012)	60,0	12,0	10,0	3,0	2,0	3,0
Jordanie	(Djemaci, 2012)	56,0	13,0	16,0	7,0	5,0	3,0
France	(ADEME, 2008)	32,2	11,2	21,5	13,0	3,0	19,4
Danemark	(OCDE, 2008)	29,0	0,8	27,0	5,0	6,0	32,0
Pays-Bas	(OCDE, 2008)	35,0	19,5	26,0	4,0	4,0	12,0
Grèce	(Hafidi, 2002)	45,0	11,0	22,0	4,0	4,5	13,5
Italie	(OCDE, 2008)	29,0	5,0	28,0	13,0	2,0	23
Allemagne	(OCDE, 2008)	14,0	22,0	34,0	12,0	5,0	39
Suisse	(OCDE, 2008)	29,0	15,0	20,0	4,0	3,0	29,0
Japon	(Skordilis, 2004)	30,0	8 -10	40-42	7-13	4-7,5	/
Chine	(Yuan et al., 2005)	59,2	15,7	10,1	3,4	1,1	10,5
Inde	(Talyan et al., 2007)	38,6	6,0	5,6	1,0	0,2	48,6

III.9. Caractérisations physico-chimique des déchets ménagers

La caractérisation physico-chimique effectuée sur les échantillons de déchets a permis de déterminer les paramètres les plus significatifs tels que le taux d'humidité, la matière sèche, le taux de cendres, les matières volatiles, le rapport C/N, le pH, la conductivité, l'azote total et les métaux lourds dans le but d'aider à la prise de décision concernant le choix de filières de valorisation. Cette dernière est fonction des besoins de la région pour s'orienter vers une valorisation matière et/ou énergétique (compostage, méthanisation, incinération). La connaissance des métaux lourds permet une indication sur les risques dans le compostage.

Tableau 14: résultats de la caractérisation physicochimique des déchets ménagers de la ville

Paramètres	(Cette étude)	2009 (Guermoud et al. 2009)
Humidité	85,5 %	58,9 %
pH	5,5	6,1
Densité	480 kg/m ³	360 kg/m ³
Conductivité	3980 µS/cm	/
Matière sèche	14,5%	37%
Matière volatile	68,3 %	63%
Carbone organique	35,1%	29,5%
Azote	1,5 %	1,5%

C/N	23,4	19,7
Métaux lourds	Concentration (mg/kg)	Normes
Cd	< L.D	10
Cr	< L.D	1000
Ni	< L.D	200
Pb	< L.D	800
Zn	< L.D	100
Cu	300	1000
Al	19 500	-
As	400	-
B	2 960	-
Bi	70	-
Ca	200 000	-
K	150 070	-
Mg	38 160	-
Mn	< L.D	-
Na	75 230	-
Se	1 730	3000-4000
Sr	710	-

Humidité

L'analyse de l'humidité a été faite seulement sur la fraction fermentescible, l'expérience a été refaite plusieurs fois pendant plusieurs compagnes.

On a précisé les déchets fermentescible pour l'analyse d'humidité car ils représentent la fraction majoritaire des déchets enfouis dans le CET de Sour (70%). On n'a pas pris en considération les autres composants, car le papier-carton et le plastique sont récupérés à 80% et les autres (métal, textile, verre et autre) représentent des pourcentages minimes d'ordre 2% et ne renferment pas beaucoup d'humidité.

D'après les résultats obtenus, on constate que les déchets renferment une quantité assez importante d'humidité, plus de 80%, du à la nature des déchets (fermentescibles) comme c'est le cas pour toutes les villes des pays en développement.

L'humidité est une condition nécessaire pour la dégradation de la matière organique. L'eau est indispensable aux réactions biochimiques comme elle permet aussi l'échange de nutriments et de microorganismes. Certains auteurs indiquent que la production du biogaz est ralentie très fortement et tend à s'annuler pour une humidité inférieure à 20 % (Lee et Jones-Lee, 2004).

La teneur en eau permet de fixer les conditions d'exploitation du casier et sa connaissance permet de caler certains paramètres d'exploitation comme l'aptitude au compactage, l'épaisseur des couches de mise en dépôt, la durée minimale avant le recouvrement.

Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH est un indicateur de dégradation. D'après les résultats d'analyse du pH, on constate que les déchets ménagers entrant au CET ont un pH inférieur à 7 donc caractéristiques des premières phases de dégradation.

Densité

Deux méthodes peuvent être appliquées pour la mesure de la densité des déchets entrants au CET. La première mesure peut être réalisée à l'aide d'un récipient de volume connu rempli puis pesé. Et la deuxième peut être calculée en fonction du poids du camion entrant et de sa capacité de transport. Cette estimation ne prend pas en compte le fait que les camions sont plus ou moins remplis. Même en incluant cette imprécision de mesure, la marge d'erreur entre les deux calculs est de 50% (Aloueimine, 2005). C'est pour cette raison qu'on a choisi la première méthode pour le calcul de la densité. L'expérience a été refaite 25 fois pour les deux types de densité (sans tassement et avec tassement).

La densité des déchets ménagers entrant au CET est de 480 kg/m^3 . Ce résultat est comparable à celui des pays en développement dont les valeurs sont comprises entre 200 et 400 kg/m^3 ; Maroc 350 kg/m^3 ; Tunisie et Colombie 300 kg/m^3 ; Malaisie 240 kg/m^3 ; Pakistan 130 kg/m^3 ; Mauritanie 410 kg/m^3 (Wicker, 2000 ; Zurbrugg & Ahmed, 1999 a). La densité des déchets est plus élevée dans les pays en développement que dans les pays industriels (Aina, 2006).

Conductivité

La mesure de la conductivité apporte une information globale sur la quantité d'espèces chargées présentes dans les déchets. Elle constitue un paramètre intéressant à suivre pour évaluer la charge minérale. La conductivité est une mesure très utile pour suivre l'évolution de la dégradation des déchets au sein du massif. Les bactéries vont effectuer des transformations qui se traduisent par des accumulations de sels, comme les nitrates, phosphates et permettent d'évaluer la pollution minérale présente. D'après le tableau 14, on constate une faible conductivité dans les déchets entrant au CET.

Teneur en matière organique

Le pourcentage important de la teneur en matière organique des déchets provient de plusieurs types de catégories, qui sont : les fermentescibles, les composés dégradés et les papiers – cartons. Ce résultat est relativement faible comparé à d'autres déchets dans les PED tels que l'Ile Maurice avec 85 % et la Tanzanie avec 80 % (Mohee, 2002 et Mbulingwe et Kassenga, 2004) (Alouemine), mais reste trop important par rapport au pays industrialisés.

Teneur en carbone organique

La teneur en carbone organique a été mesurée par la méthode d'Anne qui consiste à oxyder le carbone au bichromate de potassium à chaud. L'échantillon est composé de la fraction fermentescible et du papier carton. La teneur en carbone organique est bien ici la conséquence de la teneur en matière organique contenue dans les déchets. Le rapport carbone organique sur matière organique peut être suivi comme un indicateur de dégradation des déchets au sein du massif et peut traduire une relation entre la MO biodégradable et le carbone organique. Selon certains auteurs (Gachet, 2005 ; François, 2004 ; Aina, 2006 ; Mezouari, 2011), ce rapport diminue en fonction de l'âge des déchets.

Teneur en azote

La détermination de la teneur en azote est nécessaire afin d'apprécier l'aptitude des ordures au traitement par le compostage. Les micro-organismes dans le processus de compostage ont besoin d'éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium et oligo-éléments).

Rapport C/N

Le rapport C/N exprime la proportion des quantités bio-disponibles en carbone et en azote, et il constitue un facteur important de la décomposition aérobie des produits organiques. La valeur optimale qui peut garantir un bon démarrage et un bon déroulement du compostage des déchets ménagers se situe selon les auteurs entre 20 et 30. Dans notre cas, le rapport C/N est d'ordre 23,4. Cette valeur est considérée comme optimale pour l'obtention du compost.

Les micro-organismes consomment 15 à 30 fois plus de carbone que d'azote (Biocycle, 1989). Pour des déchets ménagers avec un rapport C/N faible, on peut ajouter des matières riches en carbone comme des copeaux ou de la sciure de bois, de la paille, du papier ou toute matière cellulosique ou ligneuse. Ces additifs peuvent aussi jouer le rôle d'agents structuraux.

Dans le cas contraire, avec un rapport C/N fort, on peut ajouter des matières riches en azote comme les algues marines, les tontes de gazon et certaines boues résiduaires.

Métaux lourds

La concentration en ions métalliques est déterminée par la méthode ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) exclusivement sur la fraction biodégradable fine. Les résultats d'analyse (voir tableau 14) montrent une faible concentration en métaux lourds due à la quasi absence de leurs sources potentielles telles que les piles, les batteries, les accumulateurs, les thermomètres, les seringues, les câbles électriques, etc. Si on tient compte uniquement de ces analyses, on constate que nos déchets ne représentent pas de danger sur le sol et l'environnement dans le cas de valorisation de la matière organique par compostage.

III.10. Caractérisation microbiologique

Un des risques majeurs liés aux déchets ménagers sur la santé humaine est sans doute la contamination microbienne (Mashhood, 2011) par le personnel qui est en contact direct avec les ordures. On trouve dans ces milieux des agents biologiques dangereux avec des risques de contamination majeurs pouvant entraîner des infections, des gastro-entérites, des septicémies, des méningites, des syndromes respiratoires et digestifs ainsi que l'hépatite A. Les troubles digestifs (nausées et diarrhées) sont particulièrement observés chez les éboueurs alors que les balayeurs et les conducteurs ne les présentent pas. Ils sont plus fréquents en été à cause de la température et la nature des aliments qui sont plus riches en eaux et par conséquent facilement véhiculés vers les travailleurs (Iven et al., 1999).

Les microorganismes varient quantitativement et qualitativement en fonction du pH, température et mode de traitement (compostage, méthanisation, centre de stockage).

Les effets peuvent être locaux (pollution de l'eau, travailleurs, riverains...) ou délocalisés (gaz à effet de serre, épandage du compost...). L'impact des risques "invisibles" (gaz à effet de serre, risque biologique) est plus difficile à évaluer car il dépend du type, du volume et de la concentration du rejet considéré, de sa capacité à persister et à se répandre dans l'environnement et de sa probabilité de contact avec la population (Cemagref, 2006).

En l'absence d'études d'impact des déchets ménagers sur le personnel de la collecte et du centre d'enfouissement technique au niveau régional, nous avons jugé utile d'aborder dans un premier temps, l'identification des micro-organismes à risques susceptibles d'exister dans les déchets ménagers et le danger de leur impact. Le tableau 15 regroupe les résultats concernant les microorganismes présents dans les déchets ménagers de Mostaganem.

Tableau 15: résultats d'analyse des microorganismes dans les déchets ménagers

Agents biologiques identifiés	Concentrations
Coliformes totaux	118 x 10 ⁶ UFC/g
Coliforme fécaux	120 x 10 ⁴ UFC/g
Germes fécaux	97 x 10 ⁵ UFC/g
Clostridium sulfito-réducteur * (T, V)	Présents
Staphylococcus pathogènes	Présents
Salmonella sp * (V)	Présents
Shigella sp *	Présents
Yersinia enterocolitica *	Présents
E.coli <i>Escherichia coli</i> * (T)	Présents
<i>Campylobacter jejuni</i> *	Présents

Les espèces indiquées par un astérisque sont celles pour lesquelles il existe un classement du pouvoir infectieux au titre de la directive 2000/54/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition par des agents biologiques. Ils sont classés avec des indications sous forme de notes. Ainsi, les agents biologiques identifiés avec la lettre T produisent des toxines, ceux avec V ont des vaccins efficaces disponibles.

Dans l'état actuel de ce travail, il nous a été impossible d'avoir des données exactes sur le personnel plus ou moins touché par ces risques pour établir les corrélations de cause à effet entre les types de micro-organismes détectés dans les ordures ménagères et les troubles incriminés.

III.11. Valorisation des déchets ménagers au niveau du CET

III.11.1. Le principe des 3R-VE

Actuellement les déchets ménagers sont une valeur économique positive pour peu que l'on s'intéresse à leur gestion. L'exploitation des ressources contenues dans ces déchets peut présenter un impact positif sur la préservation de l'environnement, l'économie de ressources naturelles, la réduction de la consommation des énergies fossiles, la participation au développement durable sur l'activité socio-économique de la région par la construction d'entreprises, la création d'emplois etc. L'ensemble des déchets peuvent faire l'objet de valorisation : recyclage du papier/carton, verre, métal, transformation du plastique, compostage et ou méthanisation de la matière organique et en dernier, l'incinération des non valorisables avec récupération d'énergie. La politique d'appliquer le principe des 3R-VE (Réduction à la source, Recyclage, Réemploi, Valorisation, Elimination des déchets) dans les conditions appropriées est le choix préférentiel pour nos déchets ménagers d'autant plus qu'il est maintenant facile de les gérer convenablement au niveau du CET. Dans le but d'apporter les arguments nécessaires aux collectivités locales et au secteur privé du bien fondé de cette politique, nous avons évalué le coût de cette valorisation par catégorie de déchet pour 2012 et 2013. Le tableau 16 donne les quantités estimées qui devaient être valorisées par recyclage ou compostage, les quantités réelles valorisées par le CET ainsi que les montants de vente en DA pour 2012 et 2013. Au sujet de la matière organique, nous avons déterminé la quantité de compost susceptible d'être générée en tenant compte des pertes au cours du compostage (36%) (Devisscher, 1997).

Tableau 16 : les quantités en tonnes et les montants de vente en millions de DA des déchets ménagers valorisées

Catégories		Compost	Plastique	Papier- carton	Métaux	textile	Total
2012	Quantité estimée	30685,5	4 734,3	5 042	66	3, 2	40531,0
	Montant de vente estimé	429,6	78,4	23,7	16,3	0.75	548,75
	Quantité réelle vendue	00	132	25,4	0,4	0,6	158,4
	Montant réel de vente	00	2,2	0,19	0,20	0,14	2,73
	% de valorisation	00	2,78	0,5	0,6	18,75	0,4
2013	Quantité estimée	35666,3	6 136,7	6 294	787	3,7	36047,4
	Montant de vente estimé	319,5	130,4	39,3	37	0,86	527,06
	Quantité réelle vendue	00	245	2,8	0,8	1,9	250,5
	Montant réel de vente	00	3,3	0,1	0,32	0,43	4,15
	% de valorisation	00	4	0,04	0,1	51,35	0,69

On constate l'absence d'une stratégie de valorisation par les collectivités locales et par le secteur privé malgré la mise en œuvre du décret n° 02-372 du 11 novembre 2002, relatif aux déchets d'emballage qui prévoit la création d'un système public de reprise, de recyclage et de valorisation, dénommé « ECOJEM ».

S'il existe des filières de valorisation, le CET aurait totalisé une entrée d'argent de 300 millions de DA en 2012 et 418,5 millions de DA en 2013 (tableau 16), ce qui représente un manque à gagner non négligeable pour le CET.

Au niveau national, des estimations faites par les services du Ministère de l'Environnement font état de la possibilité de récupérer 760 000 t/an de déchet répartis en 385 000 t/an de papier, 130000 t/an de plastique, 100 000 t/an de métaux, 50 000 t/an de verre et 95 000 t/an de matières diverses. Leur valorisation s'élèverait à 3,5 milliards de DA (PROGDEM, 2011). Malheureusement le taux de

recyclage ne dépasse pas 2%. Les raisons de ce manque d'engouement réside principalement dans l'absence d'une véritable stratégie dans la politique de la gestion des déchets par le manque d'encouragement au niveau des investissements dans la construction d'entreprises pour la transformation de plastique, des usines de compostage, des incinérateurs avec récupération d'énergie, des industries du papier et de verre pour leur recyclage. Nous pouvons citer à titre d'exemple le problème du recyclage du papier, au niveau de la société algérienne Tonic Emballage spécialisée dans la production d'emballage en Algérie. La capacité de recyclage de l'industrie papetière existante localement ne dépasse pas les 10 % de l'ensemble des déchets générés annuellement, sachant que la consommation nationale de papier et carton est estimée à 600 000 tonnes/an, alors que la production locale ne dépasse pas les 50000 tonnes/an. Les importations en papier et dérivés s'élèvent à près de 32,5 milliards de DA. Ainsi, près de 335 000 tonnes de déchets sont mis en décharge annuellement. La société Tonic Emballage pense augmenter son taux de recyclage de 10 % à 38 % si le tri et la collecte sélective seront assurés et si l'état encourage la création de petites entreprises de récupération (Djemaci et Chertouk, 2011).

III.11.2. Compostage

Le compostage est obtenu par la dégradation de la matière organique en présence de l'air et dans un milieu riche en micro-organismes spécifiques. Selon Bouhadiba, 50% des 7.8 millions de tonnes d'ordures produites par an pourraient être compostables, produisant 2 à 3 millions de tonnes de compost. La détermination des paramètres physico-chimiques a donné 68 à 70% de matière organique, 5,5 pour le pH, 23,4 pour le rapport C/N, 3 980 $\mu\text{S/cm}$ pour la conductivité, le taux d'humidité de l'ordre de 80%, ce qui favorise le compostage de cette fraction des déchets. Rappelons que la région de Mostaganem est une région fortement agricole. Au niveau national, le compostage ne représente que 1 % de l'ensemble des valorisations des déchets produits en Algérie (Djemaci, 2011 b).

L'expérience nationale en matière de valorisation des ordures ménagères par compostage reste rétrécie à cause de la non maîtrise de cette technique et peut-être aussi à une exploitation lente pour avoir du compost. En d'autres termes, l'algérien n'est plus intéressé par une profession mais par un gain important facile et rapide. On peut citer le cas de l'unité de compostage à Gué de Constantine réalisée par la ville d'Alger en 1971. Elle a cessé de fonctionner en 1986, et d'après le PNUE en 2004, les problèmes étaient dus à la dégradation des équipements et probablement à la non maîtrise de la technique pour la production de compost destiné au secteur agricole. Celle de Tlemcen est arrêtée depuis les années 80 faute de tri pour disposer de la matière organique. Hormis l'unité de compostage de Blida, sis à Beni Mered (dont le compost est de mauvaise qualité à cause des impuretés de l'incinérateur hospitalier d'Isser, il n'existe pas d'autres installations de traitement de déchets à Alger (PNUE, 2005).

Le coût des déchets traités par compostage est estimé à 2 700 DA/T et le coût de la tonne de compost produit est de 5 400 DA/T (Djemaci, 2011 b).

D'après nos analyses concernant la valorisation la plus appropriée, nous avons trouvé que le compostage est la meilleur filière de valorisation.

Afin d'encourager l'investissement dans cette valorisation, nous avons déterminé l'évaluation économique de l'opération compostage pour 2012 et 2013.

En effet, si l'on projette les résultats de ces deux années, on remarque que l'investissement dans le compostage est rentable. Pour les deux années, les bénéfices réalisés seraient intéressants avec un taux de 42,4% pour des quantités de compost produites : 30 685,5 tonnes en 2012 et 22 828 tonnes en 2013. Les montants des ventes auraient été respectivement de 429 millions de DA et 319 millions de DA avec des bénéfices possibles de 181 millions de DA et 135 millions de DA.

III.11.3. Production de biogaz au niveau du CET

Le biogaz est produit par la décomposition biologique anaérobie de la matière organique des déchets ménagers en présence de micro organismes spécifiques. Il est composé essentiellement de 60-65% de méthane, 40-35% de dioxyde de carbonique. Ce processus dépend de quelques paramètres optimisés tels le pH, la température, le potentiel d'oxydo-réduction, la charge organique et le temps de séjour hydraulique.

En plus des valeurs de ces paramètres, la production de méthane est liée à la quantité de déchets biodégradables (BW_i) calculé à partir de l'éq. (1) (Gillet, 1985).

$$BW_i = OM_i \cdot CP_i \quad (1)$$

Avec :

i : l'année d'enfouissement des déchets ménagers.

BW_i : le pourcentage de la fraction biodégradable par an ;

OM_i : pourcentage de la matière organique par an ($OM_{2012} = 70\%$; $OM_{2013} = 68\%$);

CP_i : pourcentage du papier-carton par an ($CP_{2012} = 11,5\%$; $CP_{2013} = 12\%$);

L'évaluation du biogaz dégagé au niveau du CET par les ordures enfouies a été déterminé pour les années 2012 et 2013.

La quantité des déchets biodégradable entrant au CET est égale à:

$$BW_{2012} = 70\% + 11,5\% = 81,5\%$$

$$BW_{2013} = 68\% + 12\% = 80\%$$

Plus de 80% des déchets ménagers enfouis dégagent du biogaz. Supposant que 01 kilogramme de matière biodégradable sèche contient potentiellement 350 - 400 l de biogaz. Les déchets ménagers reçus au CET contiennent plus de 68% de matière organique, 31,7% de la matière biodégradable.

La réserve en m^3 par tonne de matière biodégradable est donnée par l'éq. 2 (Gillet, 1985) :

$$Q_i = BW_i(OM_i \cdot dM_i \cdot 375) \quad (2)$$

Où

Q_i est la réserve de biogaz en m^3 ; dM est le pourcentage de la matière minérale (31.7%); 375 l est la valeur moyenne de réserve.

$$Q_{2012} = 81,5\%(70\% \times 31,7\% \times 375) = 67,82m^3$$

$$Q_{2013} = 80\%(68\% \times 31,7\% \times 375) = 64,67m^3$$

Sachant que la quantité des déchets ménagers enfouis en 2012 et 2013 est respectivement 120,1 tonnes/jour et 143,7 tonnes par jour, la réserve en biogaz annuelle est :

$$\text{En 2012: } 67,82 \times 120,1 \times 365 = 3 \times 10^6 m^3 / an$$

$$\text{En 2013: } 64,67 \times 143,7 \times 365 = 3,31 \times 10^6 m^3 / an$$

III.11.4. Valorisation du biogaz

L'élimination du biogaz est obligatoire car c'est un gaz qui représente une importante nuisance sur l'environnement et la santé. C'est un gaz à effet de serre où le méthane est 21 fois plus nocif que le CO_2 , et il contient des éléments traces toxique et cancérigène tels que benzène, toluène, xylènes, etc, il présente un risque d'incendie et d'explosion sur site du à son accumulation.

La récupération du biogaz est devenue maintenant primordiale due aux dangers qu'il pose à l'environnement et les risque d'explosions sur sites. Le biogaz récupéré est valorisé en plusieurs filières.

La combustion de 1 m^3 de méthane libère 8570 Kcal, qui, en équivalent énergie donne un litre de gas-oil, 0,94 m^3 de gaz naturel ou 9,7 Kw/h d'électricité (Addou, 2009).

En brûlant la quantité de méthane dégagée par le CET, on peut récupérer une énergie thermique de $28,37 \times 10^9$ Kcal ou $322,04 \times 10^5$ Kw/h pour l'année 2013.

En valorisant une tonne de méthane par combustion, on évite le rejet de 5.4 tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Addou, 2009).

III.11.5. Incinération

L'incinération est un mode de traitement et d'élimination des ordures ménagères très répandu dans les pays industrialisés qui permet la réduction d'environ 90 % du volume et 75 % de la masse des déchets et la destruction complète des bactéries. Elle consiste à brûler les ordures dans un four spécialement adapté à une température d'environ 850 °C en libérant de la chaleur, de la vapeur, des effluents gazeux (fumées), des mâchefers (30 %) et des cendres volantes (3 - 4 %) (FoE, 2002 et Kaibouchi, 2004).

En Algérie, l'incinération est appliquée uniquement pour les déchets hospitaliers au sein des hôpitaux. Pour les déchets ménagers, ce mode de traitement n'est pas adopté même si cette solution semble plus écologique que l'enfouissement. Elle présente au moins trois inconvénients liés aux :

- taux d'humidité qui est très élevé (largement supérieur à 70%) du à la prédominance de déchets organiques dans les déchets ménagers,

- coût de traitement plus élevé suite aux frais d'équipement et d'exploitation,
- le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I) des déchets ménagers est relativement faible environ 1 000 Kcal/Kg (Wicker, 2000) et ne permet pas une auto-combustion en raison de la teneur en humidité trop élevée des déchets. Ce qui est le cas des déchets ménagers de la ville de Mostaganem. Dans un travail précédent, Guermoud (2009) a trouvé une valeur du pouvoir calorifique inférieur de l'ordre de 1490 kcal/kg qui est une valeur nettement inférieure à celle requise pour une incinération avec valorisation énergétique.

Ces raisons font qu'il n'est pas rentable d'incinérer ces ordures ménagères dans l'état où elles se trouvent. Il est préférable d'effectuer un tri et récupérer les déchets non valorisables à forte valeur de PCI qui pourront faire l'objet d'incinération avec récupération énergétique.

CHAPITRE IV

**OPTIMISATION DE LA COLLECTE DES
DECHETS MENAGERS DE LA VILLE DE
MOSTAGANEM**

IV. Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Avant de passer à l'étude de l'optimisation, il était nécessaire d'étudier le service actuel de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem et les 6 autres municipalités qui déversent leurs déchets dans le CET de Sour. A noter que l'étude de l'optimisation concernera la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem seulement.

IV.1. Présentation du service actuelle de la collecte des déchets ménagers

IV.1.1. Caractérisation de la collecte

La loi-cadre algérienne de 2001 désigne la municipalité comme l'organisme compétent pour assurer le service public d'enlèvement et d'élimination des déchets tout en prévoyant un schéma municipal et en assurant son financement. Dans ce cadre, la municipalité de Mostaganem a divisé la ville en 16 secteurs (figure 5). Etant donné l'insuffisance de ses moyens en matière d'équipements et de personnel appropriés, elle a été amenée à déléguer la collecte des déchets de 11 secteurs à des entreprises privées.

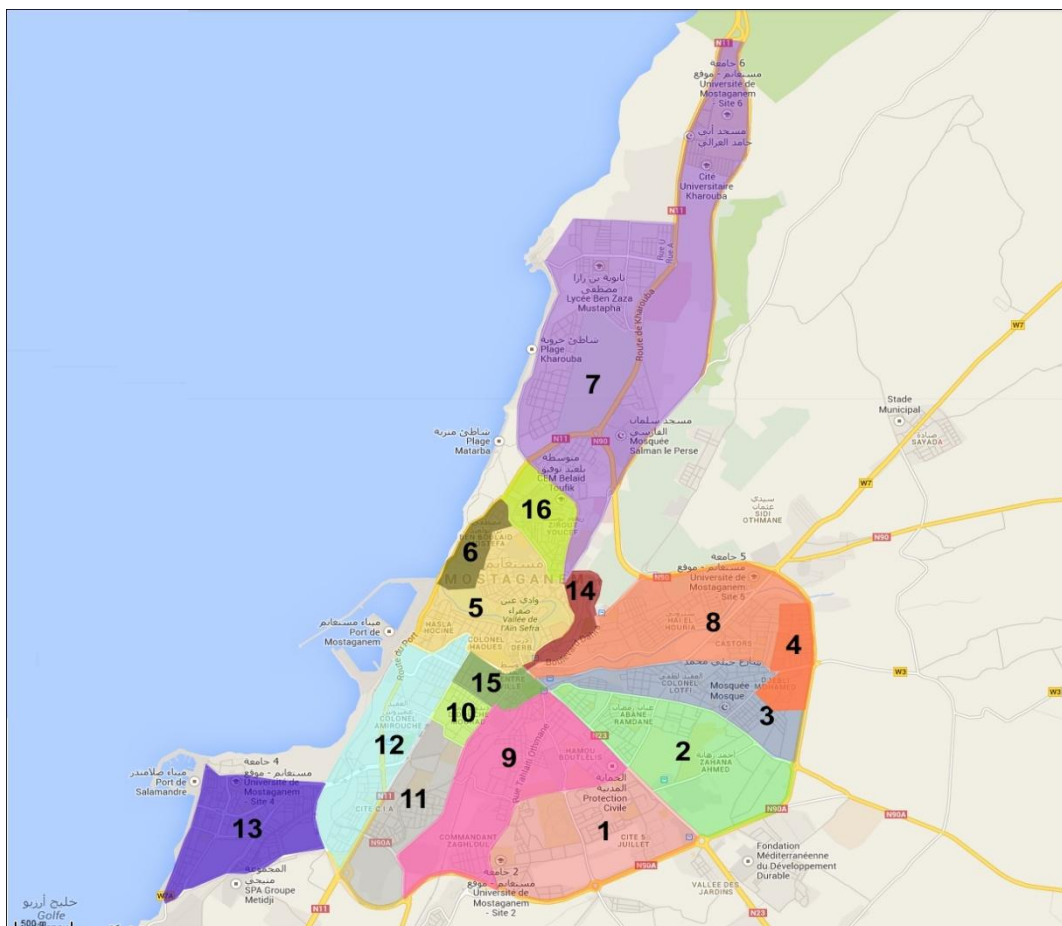


Figure 5: Identification des secteurs de collecte de la ville

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

La collecte et le transport constituent le maillon fort de la gestion des ordures ménagères. C'est une étape qui a lieu sur la voie publique et relève par conséquent du service de voirie. Dans la plupart des secteurs existants, la collecte s'effectue suivant la collecte dite « collecte porte à porte ». Elle commence le long des boulevards et artères principales du secteur puis continue à l'intérieur des quartiers sur les lieux de dépôt. Elle se fait en deux étapes, une première qui correspond à la collecte normale et une deuxième pour les dépôts d'ordures venant après la première tournée. Cette situation, c'est à dire le non respect des horaires de collecte, oblige parfois les opérateurs à prolonger la collecte au-delà des horaires habituels. La fréquence de collecte est de 7 jours sur 7. Le nombre de rotations dépend de la quantité de déchets collectés et du type de véhicule. Le temps réel de l'opération est important si on considère qu'un véhicule réalise en moyenne trois rotations (aller – retour) pour le CET distant de 27 km de la ville de Mostaganem. La collecte est précédée par une pré-collecte pour pallier à quelques insuffisances, en particulier dans les quartiers inaccessibles aux véhicules de collecte (vieille ville, rues exigües...). Cette pré-collecte est effectuée pour un meilleur rendement en élargissant la couverture du service de ramassage des ordures aux quartiers périphériques.

Le système de porte à porte présente certes des avantages à savoir une facilité de dépôt pour les générateurs de déchets (population), cependant, il présente quelques inconvénients liés aux coûts élevés de gestion, car nécessitant un nombre important en moyen humain et équipement. L'application du porte à porte représente 38% de la collecte globale de la ville.

La flotte de matériels roulant dont dispose la ville est de 19 camions à benne tasseuse en bonne état dont les capacités diffèrent d'un secteur à l'autre comme l'indique le tableau 17.

La ville de Mostaganem présente un caractère urbain avec des habitations collectives, semi collectives et individuelles, des centres commerciaux, des sites universitaires, des centres hospitaliers, des cliniques...

Il est à noter que le parcours moyen de la collecte d'un secteur est de 155,5 Km. La collecte s'effectue à 98%. Le déficit des 2% restant représente les points noirs concernant les déchets souvent jetés dans les bas côtés des routes, dans certaines zones extérieures aux agglomérations et aux alentours des anciennes décharges sauvages. Le rapport de la Banque mondiale de 2004 mentionne que le taux de collecte en Algérie est à 65 % dans les villes moyennes et à 92 % dans les grandes villes. Selon Odunze et al. (2004) dans la ville de Zaria au Nigeria 54% des ordures ménagères sont collectées, 22% sont déversées anarchiquement dans la nature, 19% sont incinérées. Au Maroc, le taux de collecte est voisin de 70 à 80 % dans les zones urbaines où le niveau de vie est élevé alors qu'elle est de 2 % dans les milieux ruraux (ONEM, 2011). Dans la ville de Porto-Novo moins de 40% des déchets ménagers sont collectés (Bliki, 2011).

Tableau 17: le système actuel de la collecte des déchets ménagers

Secteur	Capacité du camion (m³)	Nombre de camions	Fréquence	Nombre de caisson 660 L	Nombre de caisson 220 L	Longueur du secteur (Km)
1	8	2	3	98	0	363,1
2	8	1	2	34	4	108,5
3	8	1	2	20	1	119,1
4	10	1	2	2	1	97,4
5	10	1	2	19	5	200,1
6	10	1	2	34	14	125,6
7	18	1	3	33	17	181
8	8	2	3	10	4	141
9	10	1	2	14	1	245
10	8	1	2	19	12	119,6
11	8	1	2	10	3	131,9
12	12	1	1	20	3	69,0
13	12	2	2	18	48	289
14	10	1	2	26	3	119
15	12	1	2	36	13	62,5
16	12	1	2	54	5	116,4

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Concernant les autres communes exploitant le même CET que Mostaganem (Sayada, Ain Tedeles, Sour, Ain Boudinar, Kheireddine et Oued El-Kheir), la collecte s'effectue à 98%, 7 jours sur 7 à une seule fréquence à cause du caractère semi-urbain et parfois rurale (les quantités des déchets générés n'étant pas aussi importantes que celles produites par la ville de Mostaganem). Le mode de collecte porte à porte est le plus répandu dans ces municipalités où il dépasse le taux de 70% excepté pour Kheireddine et Oued El-Kheir où il ne présente que 50%, contrairement à la ville de Mostaganem (38%). La caractérisation de la collecte des différentes municipalités exploitant le CET de Sour est mentionnée dans le tableau 18.

Tableau 18: caractéristiques de la collecte des municipalités exploitant le CET de Sour

Villes	Taux de couverture (%)	Nombre de secteur	Fréquence de collecte	Mode de collecte		Longueur moyenne de secteur (km)
				Porte à porte	A port volontaire	
Mostaganem	98	16	03	38%	62%	155,25
Ain Tedeles	98	05	01	70%	30%	45
Sayada	98	04	01	70%	30%	68
Khairreddine	98	03	01	50%	50%	50
Sour	98	02	01	90%	10%	22
Oued El-kheir	98	02	01	50%	50%	21
Ain Boudinar	98	02	01	90%	10%	47

IV.1.2. Moyens de collecte

Le nombre d'agents chargés de la collecte est en régression depuis les années 80 où il y avait un agent pour 500 habitants contre 1 500 en 2005 (MATE, 2005). Selon nos enquêtes, actuellement un agent couvre 1 225 habitants. Le parc automobile de collecte des déchets pour la ville est estimé à un camion à benne tasseuse pour environ 11 021 habitants, soit un déficit de 64 %. Malgré les efforts de l'état, la collecte reste loin des normes internationales qui donnent un véhicule pour 4 000 habitants (MATE, 2005). Au niveau des 7 municipalités, un agent couvre 1 450 habitants et un camion 9 687 habitants, soit un déficit de 59% (tableau 19).

Tableau 19: Moyens de collecte pour les villes exploitant le CET de Sour

Villes	Matériel utilisé	Nombre d'agents
Mostaganem	1 camion pour 11 021 habitants	1 agent pour 1 225 habitants
Ain Tedeles	1 camion pour 6005 habitants	1 agent pour 1 167 habitants
Sayada	1 camion pour 7 798 habitants	1 agent pour 1 950 habitants
Khaireddine	1 camion pour 5 977 habitants	1 agent pour 1 758 habitants
Sour	1 camion pour 12 273 habitants	1 agent pour 4 091 habitants
Oued El-kheir	1 camion pour 18 793habitants	1 agent pour 3 759 habitants
Ain Boudinar	1 camion pour 6 650habitants	1 agent pour 2 189 habitants
Total	1 camion pour 9 148 habitants	1 agent pour 1 450 habitants

IV.1.3. Financement de la collecte

Les collectivités territoriales algériennes assurent le financement du service d'enlèvement des déchets ménagers à partir du budget de la municipalité et de la Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères (TEOM) payable par le citoyen, le professionnel et l'industriel. Près de 100% de municipalités ont adopté le système de financement du service public d'élimination des déchets sur leur propre budget (Djemaci and Chertouk, 2011).

Le montant de la taxe de collecte des ordures ménagères est fixé comme suit :

- Entre 500 et 1 000 DA par local à usage d'habitation,
- Entre 1 000 et 10 000 DA par local à usage professionnel, commercial, artisanal ou assimilé,
- Entre 5 000 et 20 000 DA par terrain aménagé pour camping et caravanes,
- Entre 10 000 et 100 000 DA par local à usage industriel, commercial, artisanal ou assimilé,

Il a été constaté que les 2/3 des ménages ne payent pas la taxe à Mostaganem. Nous avons réussi à connaître le déficit pour quelques villes algériennes (tableau 20) avec le taux de recouvrement qui ne dépasse pas les 24%.

Tableau 20: Taux de recouvrement de TEOM

	Montant versé (milliers de DA)	Montant prévus (milliers de DA)	Taux de recouvrement
Alger	72 718	451 307	16%
Annaba	28 825	255 040	11%
Bechar	2 489	37 673	8%
Blida	23 614	299 882	12%
Chleff	19 091	162 529	23%
Constantine	68 768	294 208	18%
Oran	51 522	284 561	2%

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Ouargla	1858	81 366	7%
Sétif	37326	157 785	24%

La situation persiste malgré le réaménagement de cette taxe par la Loi de Finances 2002. Or, la même loi de finance précise que "Les Assemblées populaires communales sont chargées, dans un délai maximum de trois (3) ans à compter du 1er janvier 2002, de la liquidation du recouvrement et du contentieux de la taxe d'enlèvement des ordures ménagères". Il n'y a pas eu de résultats encourageant et il serait judicieux, à notre avis, d'intégrer cette taxe en tranches trimestrielles par exemple dans la facture de la consommation d'électricité et du gaz.

IV.1.4. Coût de la collecte

La municipalité de Mostaganem a estimé le coût de la collecte par jour et par secteur. Il varie de 10 000 DA à 15 000 DA. Le coût de la collecte en 2012 a dépassé les 80 millions de DA. A cause du mauvais fonctionnement du service de la collecte (rendement insuffisant), la municipalité a décidé de changer le mode de paiement dès le début de 2013 en passant du mode de paiement par journée au mode de paiement par tonne. Elle a estimé le coût d'une tonne de déchets collectés à 2 100DA. Ce qui a donné une dépense de plus de 80 millions DA pour la collecte des déchets durant l'année 2013 avec une quantité supérieur à celle de 2012. Malgré le changement de mode de paiement, les dépenses n'ont pas changé. Le recouvrement de cette taxe par les ménages est très faible, de l'ordre de 3%.

Pour les autres communes, il nous a été impossible d'estimer le coût de la collecte des déchets ménagers, sa prise en charge étant intégrée dans les dépenses globales de la commune sans possibilité de ventilation.

IV.2. Optimisation de la collecte des déchets ménagers

La ville de Mostaganem, d'une superficie de 50 km², a été choisie comme étude de cas pour notre recherche sur l'optimisation de la collecte des déchets ménagers. Ce choix a été motivé par l'absence d'étude antérieure, sa position de chef-lieu de wilaya, une ville touristique et disposant de multiple circuits par rapport aux autres municipalités qui exploitent le même CET.

La ville de Mostaganem dispose de 16 circuits de collecte non équilibrés affectés aléatoirement entre 581 point de collecte dont 447 caisson de 660 L et 134 caisson de 220 L et autres points de collecte en mode porte à porte. La longueur des secteurs à l'intérieur de la ville varie entre 8,1 km et 33,1 km.

Le mode de collecte qui diffère d'un secteur à autre, la fréquence et la capacité des camions sont attribués aléatoirement dont il résulte une collecte anarchique. Aucune étude des quantités de déchets ménagers n'a été faite pour accorder adéquatement les différentes capacités des conteneurs et les différentes capacités de camion de collecte aux particularités de chaque secteur. La capacité actuelle des camions varie de 7 m³ à 12m³, de cela résulte un nombre important de rotation de

déchargement au CET qui est de l'ordre de 33,5 rotations/j entraînant un coût élevé de la collecte (maintenance- temps de travail).

En plus, le système actuel de collecte génère des quantités importantes d'émission de polluants de gaz et de particules à effet de serre (G.E.S).

Dans le but d'avoir une collecte optimisée à moindre coût avec réduction des G.E.S nous avons entrepris l'étude sur le choix de la collecte à proposer aux collectivités locales en tenant compte de l'ensemble de paramètres et contraintes inhérents à ladite collecte.

Cinq scénarios d'optimisation sont proposés. Ces scénarios consistent à définir de nouveaux circuits sous les critères du chemin le plus court, minimiser le temps de collecte et réduire ainsi la consommation de carburant. Afin de réaliser ces objectifs, nous avons utilisé le logiciel ARC-GIS qui est un système d'information géographique (SIG).

Une représentation réaliste de la situation étudiée est effectuée sur la base d'une carte bidimensionnelle géo référenciée en tenant compte des paramètres pertinents influençant la consommation de carburant.

IV.3. Calcul de la consommation du carburant

Après avoir défini les nouveaux itinéraires des 16 secteurs sous les critères de la distance la plus courte ou le temps de passage minimum, nous avons calculé la consommation du carburant. A cet effet, nous avons utilisé une base de données assez conséquente pour chaque segment de la route en tenant compte la vitesse, la charge du camion, le code de la route, le type de route, la circulation, la diminution du trafic de la circulation...

La consommation totale du carburant est calculée selon l'équation :

$$TFC = \sum(Lseg_i . fc_i) \quad (1) \quad (\text{Jovičić et al., 2011})$$

Où : $Lseg_i$ représente la longueur du segment de la route (km).

fc_i est la consommation du carburant pour chaque segment de route (g. Km^{-1}).

Sachant que :

$$fc_i = FCS . SCF \quad (2)$$

$$FCS = 1068,4 \times V^{-0.4905} \quad (3) \quad (\text{Jovičić et al., 2011})$$

FCS : désigne la consommation basique du carburant qui dépend de la vitesse des camions dans chaque segment.

SCF : facteur de classe de la route. Il dépend de l'état, de la nature et du code de la route, la circulation et l'apaisement de la circulation.

Il existe 17 classes de route. Chaque segment de route est classé selon un certain nombre de critères (Ericsson et al., 2006). Le facteur de classe de la route est évalué pour chaque segment. Le tableau

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

21 montre les 17 classes de route avec les paramètres affectés pour chaque type de zone, de trafic, de la nature de la circulation. Le facteur de classe de route varie de 1 à 1,80.

Chaque segment de rue a été associé à chaque classe de rue et attribué avec le facteur approprié de classe. Le facteur de classe n'est pas un résultat d'expérience ou de mesure, c'est une évaluation de la consommation du carburant pour les différentes classes des rues et les différents états du trafic (Ericsson et al., 2006).

Tableau 21: les différentes classes des routes et leurs descriptions (Ericsson et al., 2006)

Classe de la rue	secteur	N° de voie	Circulation	Stop ou céder	Mesures d'apaisement de la	Facteur de classe de la rue (SCF)
				le passage	circulation	
01	Rural	2	Non	Non	Non	1,00
02	Rural	1	Non	Non	Non	1,05
03	Rural	1	Non	Oui	Non	1,10
04	Urbain	2	Non	Non	Non	1,15
05	Urbain	2	Oui	Non	Non	1,20
06	Urbain	1	Non	Non	Non	1,25
07	Urbain	1	Oui	Non	Non	1,30
08	Urbain	1	Non	Oui	Non	1,35
09	Urbain	1	Non	Non	Oui	1,40
10	Urbain	1	Non	Oui	Oui	1,45
11	extra urbain	2	Non	Non	Non	1,50
12	extra urbain	2	Oui	Non	Non	1,55
13	extra urbain	1	Non	Non	Non	1,60
14	extra urbain	1	Non	Oui	Non	1,65
15	extra urbain	1	Non	Non	Oui	1,70
16	extra urbain	1	Non	Oui	Oui	1,75
17	extra urbain	1	Oui	Non	Non	1,80

IV.3.1. Calcul des émissions des polluants

Les polluants générés par les camions pendant la collecte sont essentiellement les oxydes de carbone (CO, CO₂) et d'azote (NO_x) qui sont des gaz à effet de serre et les molécules particulaires (PM). La quantité émise dépend principalement des distances parcourues ainsi que d'autres paramètres tels que la vitesse, l'accélération/décélération, l'état et l'inclinaison de la route, l'état et la charge du camion,... Elle est déterminée par la méthode de Hickman et al., 1999 selon l'équation (4) pour chaque segment de route :

$$E_i = \sum(E_{i,hot} + E_{i,cold}) \quad (4)$$

avec :

$$E_{i,hot} = \varepsilon_{i,c} \times d_{tr} \quad (5)$$

et

$$\varepsilon_{i,c} = \left(K_1 + av + bv^2 + cv^3 + \frac{d}{v} + \frac{e}{v^2} + \frac{f}{v^3} \right) \times \left[\left(K_2 + rv + sv^2 + tv^3 + \frac{u}{v} - 1 \right) z + 1 \right] \quad (6)$$

$$E_{i,cold} = \varepsilon_{i,cold} N \quad (7)$$

La nomenclature des différents paramètres des équations (4, 5, 6 et 7) est résumée dans le tableau 22.

Tableau 22: nomenclature des paramètres utilisés pour le calcul des émissions des polluants

[Zsigraiova et al., 2013]

Nomenclature	
E_i	les émissions totales du polluant i (g),
E_{i,hot}	les émissions chaudes du polluant i (g),
E_{i,cold}	les émissions froides du polluant i (g),
ε_{i,c}	le facteur d'émission chaude corrigé pour le polluant (g/km),
ε_{i,cold}	le facteur d'émission froide pour le polluant i (g/démarrage à froid)
d_{tr}	la distance parcourues (km),
V	la vitesse moyenne (km/h),
Z	la fraction de la charge transportée,
N	nombre de démarrages à froid,
k₁, a, b, c, d, e, f et k₂, r, s, t, u	Coefficients selon le poids de total de véhicule.

IV.3.2. Calcul des émissions polluantes du système actuel de la collecte

Avant de commencer l'étude sur l'optimisation, nous avons jugé utile de calculer les quantités des émissions des polluants générés par les camions pendant la collecte actuelle afin de les comparer aux résultats des différents scénarios proposés. Le calcul de ces quantités a été réalisé selon les données prélevées sur le terrain et d'après l'équation 4. Les résultats obtenus montrent que les

véhicules rejettent chaque année 655 tonnes/an de gaz à effet de serre. Le CO₂ représente la plus grande fraction avec 643 tonnes/an, 4,3 tonnes/an de CO et 7 tonnes/an de NO_x. Les molécules particulières (PM) représentent 0,7 tonne/an.

IV.4. Optimisation des tournées des véhicules

Nous avons utilisé le logiciel de cartographie Arc Gis 10.2 et l'extension Network Analyst de la série ESRI pour optimiser la collecte des déchets ménagers. Pour pouvoir exécuter le programme, certaines données ont été nécessaires et nous les avons par conséquent prélevées sur le terrain. Il s'agit:-

- (i) des coordonnées GPS des points de collecte, du garage (point de départ/fin du circuit) et du centre d'enfouissement technique,
- (ii) des quantités de déchets générées dans chaque point de collecte,
- (iii) de la capacité et du nombre des véhicules destinés à la collecte,
- (iv) de l'itinéraire de chaque véhicule,
- (v) des noms des quartiers et des rues,
- (vi) de la vitesse limite,
- (vii) de l'état des routes,
- (viii) de la circulation (trafic routier), etc.

L'optimisation des tournées est faite sur le même réseau de conteneurs (les mêmes points) du système actuel de la collecte. Le flux de données de la méthodologie proposée est résumé dans la figure 6.

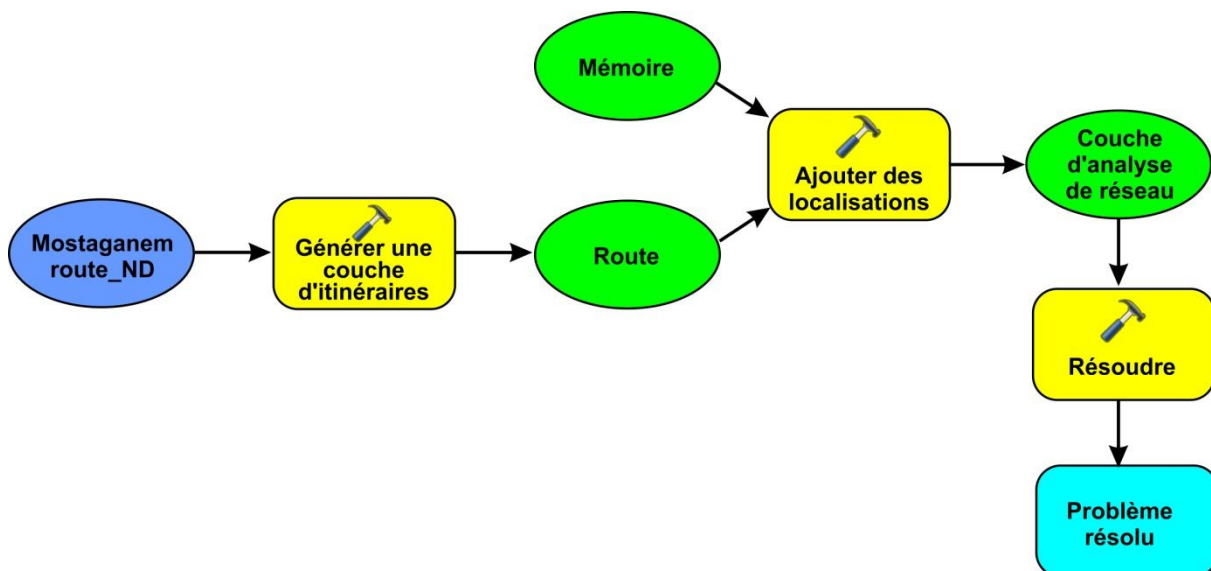


Figure 6: Le flux de données de la méthodologie proposée

Présentation des cinq scénarios pour mettre au point cette étude d'optimisation.

IV.4.1. Scénario 1. Optimisation des distances

Dans ce scénario, nous avons maintenu les mêmes secteurs de collecte utilisés actuellement par le service de la collecte, avec le même nombre de véhicules et les mêmes charges. On recherchera ainsi le trajet (l'itinéraire) le plus court.

IV.4.2. Scénario 2. Optimisation du temps

Nous avons gardé le même système de collecte utilisé, c'est à dire les mêmes points de collecte, le même nombre et même charge des camions et nous avons optimisé le temps de travail (itinéraire à temps réduit).

IV.4.3. Scénario 3. Proposition de véhicules de 12m³ de capacité

Nous avons proposé dans ce scénario d'uniformiser les capacités des véhicules à 12m³ avec une seule rotation.

IV.4.4. Scénario 4. Proposition de construction d'un centre de transfert

Aucun centre de transfert n'a été prévu lors de la construction du centre d'enfouissement technique de Mostaganem. Cet handicap a posé beaucoup de problèmes sur le temps de ramassage, la fréquence des tournées, le transport, les carburants, la pénibilité du travail..., ce qui a augmenté le coût de la collecte ainsi que la pollution engendrée par les camions. Notons que le CET se trouve à 25 km de la ville de Mostaganem. L'existence d'un centre de transfert permet de surmonter ces difficultés et d'en réduire le coût. Pour ce scénario, nous avons proposé la construction d'un centre de transfert des déchets à 7 Km de la ville de Mostaganem en gardant le système actuel de la collecte (les mêmes points de collecte, le même nombre et capacité des camions, comme l'indique la figure 7.

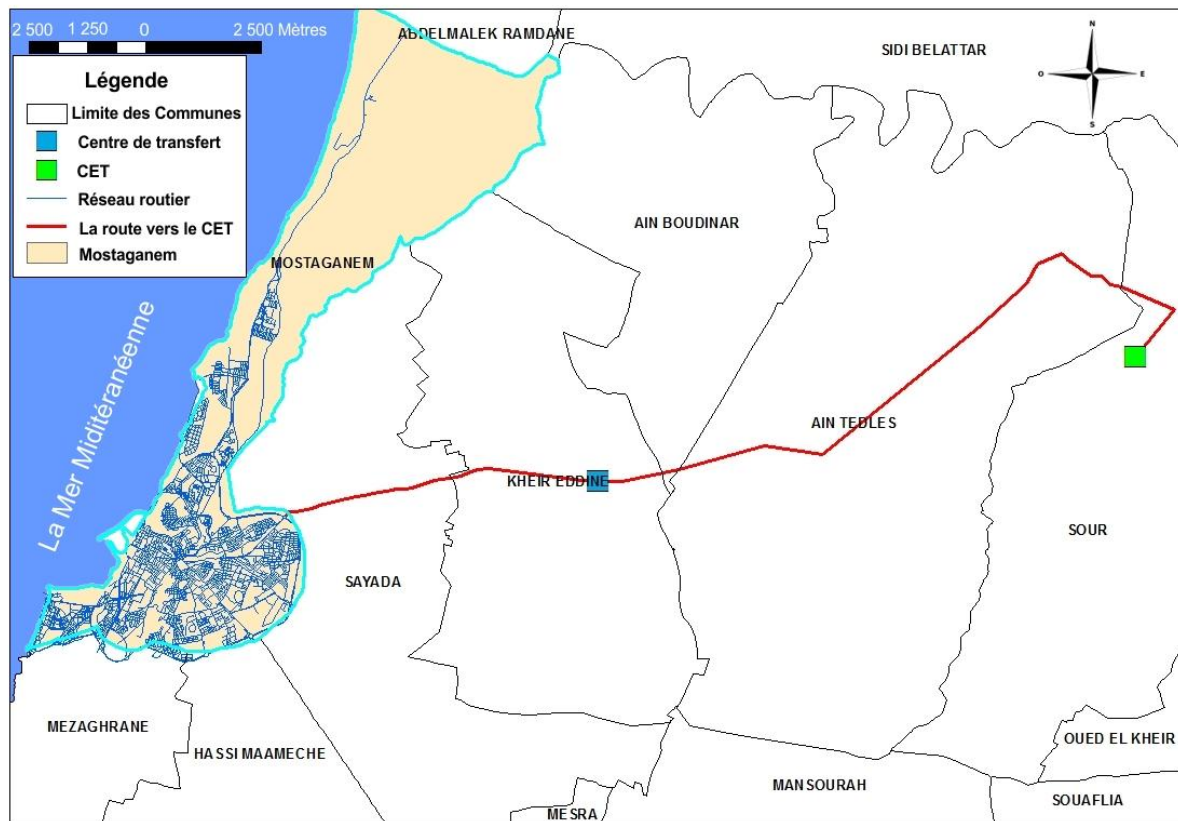


Figure 7: le nouveau système de gestion des déchets ménagers de la ville

IV.4.5. Scénario 5. Proposition de construction d'un centre de transfert avec des camions de 12m³ de capacité

Dans ce cas, nous avons proposé la construction d'un centre de transfert en utilisant des camions de 12m³ de capacité comme il a été prévu dans le scénario 3.

IV.5. Résultats de l'optimisation

IV.5.1. Scénario 1 : optimisation des distances

Dans ce scénario, nous avons gardé le même nombre de secteur de la collecte (16 secteurs) avec le même nombre et les mêmes capacités des camions utilisés actuellement. Toutes les données nécessaires pour chaque segment ont été introduites dans le logiciel pour obtenir l'itinéraire optimal (le chemin le plus court). Les conteneurs sont remplis quotidiennement de déchets ménagers car le tri sélectif n'est pas appliqué. Pour cette raison, les capteurs de niveaux de remplissage n'ont pas été utilisés comme dans les travaux de Teixeira et al., 2004; Simonetto et Borenstein, 2007; Komilis, 2008; Apaydin et gönüllü 2008 ou Tavares et al., 2009.

Dans un premier temps, nous n'avons pas pris en considération les distances de vidange à chaque remplissage des camions. Comme la capacité des camions n'est pas suffisante, il est obligé de vidanger en moyenne 2 fois pour terminer la collecte du secteur.

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Pour ce premier cas, les résultats donnant les nouveaux itinéraires sont rassemblés dans la figure 8. On note un abattement de 24,5% (de 280,4 km/j à 211,5 km/j) au niveau des distances. Le temps de travail a été réduit de 15,7% (de 268 min/j à 226 min/j), et la consommation du carburant de 25% (de 102,9 L/j à 77 L/j).

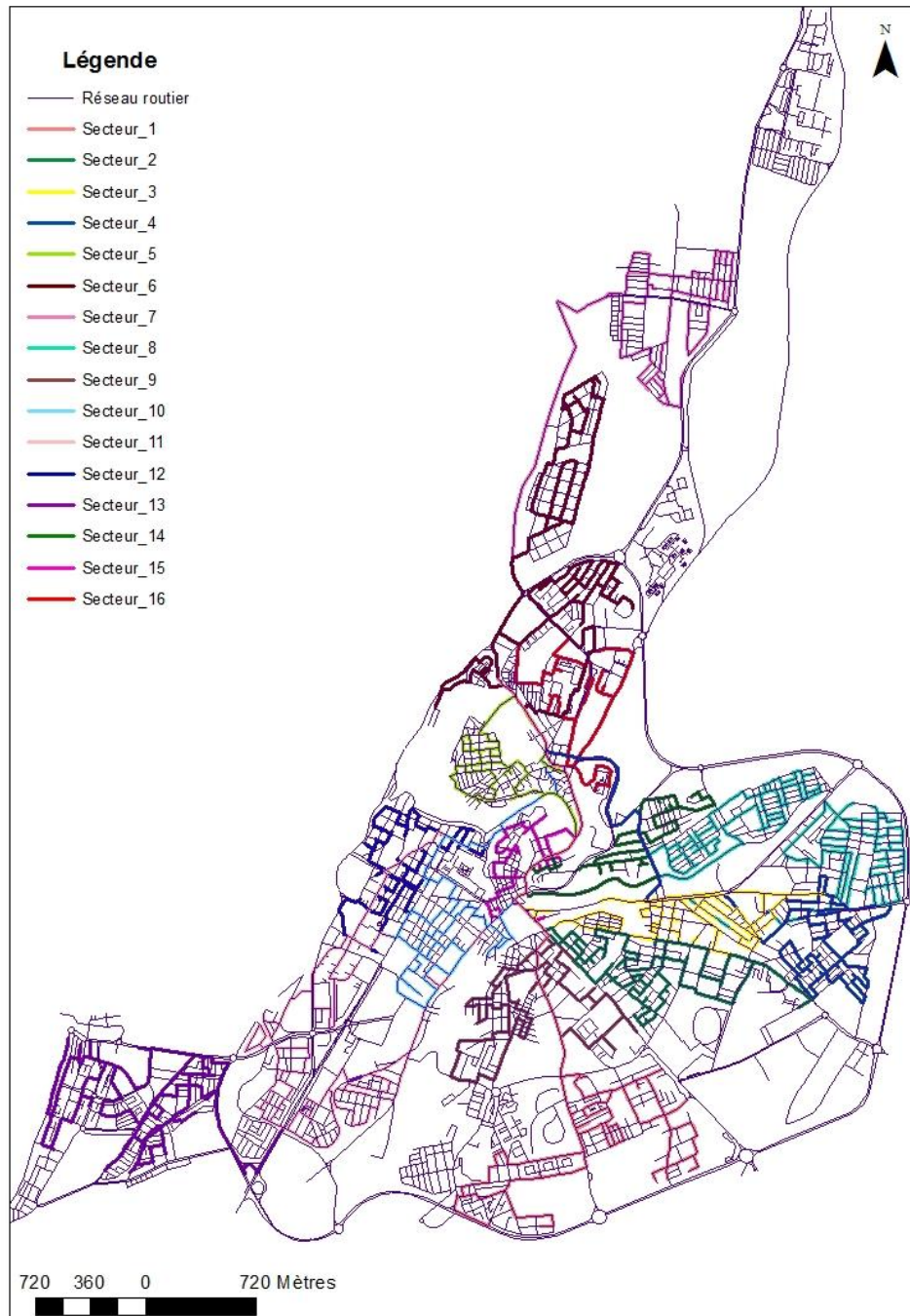


Figure 8: les nouveaux secteurs proposés pour l'optimisation des distances

Tableau 23: Résultats d'optimisation des distances à l'intérieur de la ville

N°_Secteur	Distance (Km)			Temps de travail (Min)			Consommation de carburant (L)		
	Longueur	Longueur	%	Etat	Etat	%	Etat	Etat	%
	Actuelle	Optimisée	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation
1	19,56	17,14	12,4	29	25	13,79	6,6	5,8	12,12
2	15,48	13,31	14,0	21	18	14,29	5,2	4,5	13,46
3	19,10	14,65	23,3	26	20	23,08	6,7	5,1	23,88
4	16,43	13,90	15,4	22	20	9,09	5,7	4,9	14,04
5	9,36	5,87	37,3	14	9	35,71	4,2	2,6	38,10
6	17,56	14,67	16,4	22	19	13,64	5,4	4,5	16,67
7	19,17	13,88	27,6	23	16	30,43	6,4	4,7	26,56
8	33,12	21,76	34,3	45	31	31,11	11,1	7,3	34,23
9	14,35	12,65	11,8	19	18	5,26	4,8	4,2	12,50
10	11,62	10,01	13,84	17	15	11,76	5,0	4,3	14,00
11	23,88	19,00	20,44	30	26	0,00	10,3	8,2	20,39
12	14,98	9,65	35,6	16	14	12,50	6,2	4,0	35,48
13	31,08	21,99	29,3	36	31	13,89	12,2	8,6	29,51
14	14,60	9,05	38,0	15	13	13,33	6,1	3,8	37,70
15	11,97	6,57	45,1	12	9	25,00	4,2	2,3	45,24
16	8,12	7,45	8,2	13	11	15,38	2,7	2,5	7,41
Total	280,38	211,55	/	268	226	/	102,9	77,3	/

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Dans un deuxième temps, nous avons pris en considération les distances parcourues pour vidanger (54 km à chaque vidange). On constate que la longueur moyenne des nouveaux secteurs est de 144,6 km (-10,9 km que la longueur des secteurs actuels). Les distances parcourues ont été réduites de 7,0 % (de 2488,3 km/j à 2313,4 km/j), le temps de travail de 4,63 % (de 398 min/j à 390 min/j) et enfin la consommation du carburant a été diminuée de 7,8 % (de 914,4 L/j à 842,9 L/j), faisant passer le coût de la collecte de 2100 DA/tonne à 1200 DA/tonne, soit une réduction de 42,8% du coût actuel. Le tableau 24 montre les résultats de l'optimisation pour chaque secteur.

Tableau 24: Résultats d'optimisation des distances (cas général)

N°_Secteur	Distance (Km)			Temps de travail (Min)			Consommation de carburant (L)		
	Longueur	Longueur	%	Etat	Etat	%	Etat	Etat	%
	Actuelle	Optimisée	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation
1	363,1	358,3	1,3	405	386	4,7	121,9	120,3	1,4
2	108,5	106,3	2,0	397	379	4,5	36,5	35,7	2,0
3	119,1	114,6	3,7	402	381	5,2	41,6	40,0	3,8
4	97,4	94,9	2,6	398	381	4,3	34,0	33,1	2,7
5	200,1	113,9	43,1	390	370	5,3	89,8	51,1	43,1
6	125,6	122,7	2,3	398	380	4,5	38,8	37,9	2,3
7	181,2	175,9	2,9	399	377	5,5	60,8	59,1	2,8
8	141,1	129,8	8,0	421	393	6,6	47,3	43,6	7,9
9	244,7	241,3	1,4	395	380	3,8	82,3	81,0	1,6
10	119,6	118,0	1,3	393	377	4,1	51,4	50,7	1,4
11	131,9	127,0	3,7	406	388	4,4	56,7	54,6	3,7
12	68,9	63,6	7,7	392	376	4,9	28,7	26,5	7,8
13	289,0	259,9	10,0	412	393	4,6	113,6	102,2	10,0
14	119,1	117,0	1,7	391	375	4,1	49,9	49,1	1,7
15	62,5	54,7	12,6	388	371	4,4	21,8	19,1	12,5
16	116,4	115,4	0,8	389	373	4,1	39,1	38,8	0,7
Total	2488,3	2313,4	/	6376	6080	/	914,4	842,9	/

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Pour les émissions des polluants de cette partie, on constate une légère réduction de l'ordre de 6,9%. Le tableau 25 résume les quantités et les pourcentages de réduction des émissions de polluants pour ce scénario.

Tableau 25: résultats de l'optimisation des distances sur les émissions des polluants

	Quantité actuelle (kg/an)	Quantité optimisée	Pourcentage d'optimisation
CO	4290,7	4 035,7	6
CO ₂	642 755,9	599 641,5	6,7
NO _x	6961,7	6 451,6	7,3
PM	732,5	685,6	6,4

Ce résultat est du essentiellement au :

- Nombre important des rotations de vidange (33,5 rotations par jour),
- Temps de vidange des conteneurs (les moteurs des camions doivent rester en marche car les véhicules de la ville de Mostaganem disposent d'un auto-compacteur ou d'un bras de grue pour déverser)

Passage des véhicules à faible vitesse lors de la collecte de porte à porte (≥ 10 km/h sachant que 38% de la collecte de la ville est en mode porte à porte) (Abdelli et al., 2015).

IV.5.2. Scénario 2 : optimisation du temps

Dans ce scénario, nous avons optimisé les itinéraires de collecte selon le critère du temps de passage le plus court. Les résultats de cette optimisation sont moins intéressants que celles de l'optimisation des distances. Les itinéraires proposés ont un temps de passage réduit mais les distances parcourues sont plus longues que celle proposés dans le scénario 1. La longueur moyenne de ces nouveaux itinéraires est de 152,6 km (- 2,9 km que le secteur actuel et plus long de 8 km que le secteur proposé dans le scénario 1), entraînant plus de consommation de carburant et d'émissions de polluants. Le temps de passage à l'intérieur de la ville a été minimisé à cause du choix des routes dont leurs état était parfait, la vitesse de passage plus grande et avec moins de trafic sur les routes.

D'après le tableau 26, on remarque une faible réduction des distances parcourues (-1,9%) par rapport au système actuel (de 2488,3 km/j à 2441 km/j) et une réduction de consommation de carburant de 1,9% (de 914,4 L/j à 896,9 L/j). Par contre, le temps a connu une réduction de 21,4% (de 398 min/j à 312,6 min/j). Le coût total de la collecte a été réduit de 42,2 % (de 2100 DA/tonne à 1210 DA/tonne).

Concernant les émissions de polluants, elles ont été diminuées de 1,8 % (de 655 tonnes/an à 643 tonnes/an).

Tableau 26: résultats de l'optimisation du temps de travail (Scénario 2)

N°_Secteur	Distance (Km)			Temps de travail (Min)			Consommation de carburant (L)		
	Longueur	Longueur	%	Etat	Etat	%	Etat	Etat	%
	Actuelle	Optimisée	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation
1	363,1	361,5	8,3	405	341	15,8	121,9	121,4	0,4
2	108,5	107,4	7,4	397	335	15,6	36,5	36,1	1,1
3	119,1	117,0	10,9	402	337	16,2	41,6	40,9	1,7
4	97,4	96,6	4,8	398	335	15,8	34,0	33,7	0,9
5	200,1	196,7	36,7	390	325	16,7	89,8	88,3	1,7
6	125,6	124,2	8,1	398	335	15,8	38,8	38,4	1,0
7	181,2	176,3	24,5	399	332	16,8	60,8	59,2	2,6
8	141,1	131,7	28,1	421	346	17,8	47,3	44,2	6,6
9	244,7	243,6	10,0	395	334	15,4	82,3	81,8	0,6
10	119,6	118,5	9,6	393	332	15,5	51,4	50,9	1,0
11	131,9	128,4	14,8	406	342	15,8	56,7	55,2	2,6
12	68,9	67,1	12,8	392	334	14,8	28,7	27,9	2,8
13	289,0	280,9	26,2	412	344	16,5	113,6	110,4	2,8
14	119,1	116,1	19,9	391	331	15,3	49,9	48,7	2,4
15	62,5	59,9	21,5	388	327	15,7	21,8	20,9	4,1
16	116,4	115,4	12,9	389	327	15,9	39,1	38,8	0,8
Total	2488,3	2441,0	/	6376	5357	/	914,4	896,9	/

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Le tableau 27 mentionne la diminution des quantités des émissions pour chaque polluant, dû aux distances importantes traversées quotidiennement.

Tableau 27: résultats de l'optimisation du temps sur les émissions des polluants

	Quantité actuelle (kg/an)	Quantité optimisée	Pourcentage d'optimisation
CO	4 290,7	4 222,9	1,6
CO ₂	642 755,9	631 294,8	1,8
NO _x	6 961,7	6 825,9	1,9
PM	732,5	719,9	1,7

IV.5.3. Scénario 3 : proposition de véhicules de capacité de 12m³

Les capacités non appropriées avec des charges différentes des camions de collecte utilisées actuellement imposent 33,5 rotations/jour. Cette situation représente le problème majeur du système actuel de la collecte de la ville. Pour y remédier, nous avons optimisé la collecte en proposant des camions de capacité de 12 m³ avec une seule rotation de vidange à la fin du service. L'optimisation a été faite sur les distances car il s'agit du critère adopté dans ce scénario (l'optimisation des distances est plus efficace que celle du temps).

Le résultat obtenu propose un découpage de la ville en 24 secteurs, d'une longueur moyenne de 65,6 km. Soit une réduction de 58% de sa longueur actuelle (155,5 km). Ainsi, on obtient une réduction de 36,7% sur les distances parcourues par jour (de 2488,3 km/j à 1 575,8 km/j), 15,9 % sur le temps de travail (de 398 min/j à 334,8 min/j) et 42,1% sur la consommation du carburant (de 914,4 L/j à 529,2 L/j) (voir tableau 28).

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Tableau 28: résultats de l'optimisation des distances avec proposition de véhicules de capacité de 12 m3

N° du secteur	Distance (Km)	Temps de travail (Min)	Consommation de carburant (L)
1	58,4	326,6	19,6
2	57,4	326,0	19,3
3	58,7	328,0	19,7
4	70,1	336,1	23,5
5	71,8	342,9	24,1
6	64,5	332,5	21,6
7	62,0	329,2	20,8
8	68,1	338,7	22,9
9	66,4	332,9	22,3
10	64,5	332,8	21,7
11	61,8	331,1	20,8
12	64,5	333,6	21,6
13	74,6	342,1	25,0
14	64,8	333,4	21,7
15	67,3	336,1	22,6
16	66,0	336,4	22,2
17	67,4	337,6	22,6
18	70,9	340,5	23,8
19	70,9	341,5	23,8
20	70,5	340,2	23,7
21	65,5	335,3	22,0
22	66,2	335,4	22,2
23	67,4	338,7	22,6
24	56,2	331,0	18,9
Total	2313,4	/	529,2

Le coût total de la collecte est réduit de 44,9%, soit de 2 100 DA/tonne à 1 150 DA/tonne). Pour les émissions des polluants, on constate une réduction de 34,8 % (de 655 tonnes/an à 427 tonnes/an). Le tableau 29 résume les résultats de l'optimisation pour chaque polluant.

Tableau 29: résultats de l'optimisation des distances et l'usage des véhicules de 12 m³ sur les émissions des polluants

	Quantité actuelle (kg/an)	Quantité optimisée	Pourcentage d'optimisation
CO	4290,7	2956,5	31,1
CO₂	642 755,9	419 018,90	34,8
NO_x	6961,7	4 328,90	37,8
PM	732,5	487,8	33,4

IV.5.4. Scénario 4 : Proposition de la construction d'un centre de transfert

Pour améliorer l'optimisation du coût de la collecte et les émissions des polluants, on a proposé la construction d'un centre de transfert à 7 km de la ville de Mostaganem afin de réduire les distances parcourues pour la vidange au CET qui est de 27 km.

Dans cette étude, nous avons gardé le même système de collecte (le même nombre et capacité des camions et la fréquence de passage pour les 16 secteurs tout en optimisant la longueur des trajets des tournées des véhicules.

Les résultats du tableau 30 montrent une réduction de 71,8% (de 155,5 km à 43,8 km) par rapport à la longueur moyenne des secteurs qui est passée à 43,85 km et 71,8% (de 2488,3 km/j à 701,5 km/j) pour les distances. Ceci est dû à la réduction de la distance entre la ville et le CET et les fréquences de vidange. Le temps de travail a diminué de 18,6% (de 398 min/j à 324 min/j). On obtient aussi 72,0 % (de 914,4 L/j à 255,6 L/j) de réduction sur la consommation du carburant du fait de la réduction des distances des rotations (40 km à chaque rotation).

Tableau 30: résultats de l'optimisation des distances avec proposition de construction d'un centre de transfert (scénario 4)

N°	Distance (Km)			Temps de travail (Min)			Consommation de carburant (L)		
Secteur	Longueur	Longueur	%	Etat	Etat	%	Etat	Etat	%
	Actuelle	Optimisée	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation	Actuel	Optimisé	Optimisation
1	363,1	101,1	72,2	405	331	18,3	121,9	33,97	72,1
2	108,5	41,3	61,9	397	324	18,4	36,5	13,88	62,0
3	119,1	42,6	64,2	402	326	18,9	41,6	14,90	64,2
4	97,4	41,9	57,0	398	326	18,1	34,0	14,63	57,0
5	200,1	33,9	83,1	390	315	19,2	89,8	15,20	83,1
6	125,6	42,7	66,0	398	325	18,3	38,8	13,18	66,0
7	181,2	55,9	69,2	399	322	19,3	60,8	18,77	69,1
8	141,1	63,8	54,8	421	337	20,0	47,3	21,41	54,7
9	244,7	40,7	83,4	395	324	18,0	82,3	13,65	83,4
10	119,6	38,0	68,2	393	320	18,6	51,4	16,34	68,2
11	131,9	47,0	64,4	406	331	18,5	56,7	20,20	64,4
12	68,9	23,7	65,6	392	319	18,6	28,7	9,85	65,7
13	289,0	50,0	82,7	412	336	18,4	113,6	19,65	82,7
14	119,1	37,0	68,9	391	318	18,7	49,9	15,55	68,8
15	62,5	20,6	67,0	388	314	19,1	21,8	7,18	67,1
16	116,4	21,5	81,5	389	316	18,8	39,1	7,21	81,6
Total	2488,3	701,6	/	6376	5184	/	914,4	255,57	/

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Toutes ces réductions influent obligatoirement sur le coût total de la collecte qui passe de 2 100 DA/tonne à 1 120 DA/tonne, soit une réduction de 46,5 %. Les émissions des polluants sont réduites de 67,9 % (de 655 à 210 tonne/an). Le tableau 31 montre ces réductions pour chaque polluant.

Tableau 31: résultats de l'optimisation des distances avec proposition de la construction d'un centre de transfert

	Quantité actuelle (kg/an)	Quantité optimisée	Pourcentage d'optimisation
CO	4 290,7	1 708,3	60,2
CO ₂	642 755,9	206 151,0	67,9
NO _x	6 961,7	1 796,6	74,2
PM	732,5	256,4	65,0

IV.5.5. Scénario 5 : proposition de la construction d'un centre de transfert avec des camions de capacité 12m³

D'après les résultats des scénarios 3 et 4, on constate que la proposition de construire un centre de transfert améliore davantage l'optimisation plutôt que la proposition d'augmenter la capacité des camions à une seule rotation de collecte. Dans ce scénario 5, nous avons étudié l'effet de la construction d'un centre de transfert avec l'utilisation de camions de 12m³ de charge avec une seule rotation pour les 24 nouveaux secteurs proposés.

Les résultats montrent une réduction maximale de la collecte de 47,0 %, soit un prix de 1 100 DA/tonne. Cette diminution est due essentiellement à la réduction des distances parcourues pour la vidange qui est passée de 33,5 rotations à 24 rotations et des distances entre la ville et le CET (de 27 km à 7 km).

Les résultats que nous avons trouvé (tableau 32) montrent une réduction de 75,6 % sur les distances parcourues quotidiennement (de 2 488,3 km/j à 615,7 km/j), 45,5% (de 398 min/j à 217 min/j,) sur le temps de travail, 77,4% (de 914,4 L/j à 206,8 L/j) sur la consommation de carburant et 71,3% (de 655 tonnes/j à 188 tonnes/j) sur les quantités des polluants, les détails de l'optimisation pour chaque polluants sont motionnés dans le tableau 33. Ce scénario présente les meilleurs résultats par rapport à l'ensemble des scénarios étudiés.

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Tableau 32: résultats de l'optimisation des distances avec proposition d'usage de véhicules de capacité de 12 m3 et la construction d'un centre de transfert

N° du secteur	Distance (Km)	Temps de travail (Min)	Consommation de carburant (L)
1	18,4	208,6	6,2
2	17,4	208,1	5,8
3	18,7	210,1	6,3
4	30,1	218,1	10,1
5	31,8	224,9	10,7
6	24,5	214,5	8,2
7	22,0	211,2	7,4
8	28,1	220,7	9,4
9	26,4	214,9	8,9
10	24,5	214,8	8,2
11	21,8	213,1	7,3
12	24,5	215,6	8,2
13	34,6	224,1	11,6
14	24,8	215,4	8,3
15	27,3	218,1	9,2
16	26,0	218,4	8,7
17	27,4	219,7	9,2
18	30,9	222,5	10,4
19	30,9	223,5	10,4
20	30,5	222,2	10,3
21	25,5	217,3	8,6
22	26,2	217,4	8,8
23	27,4	220,7	9,2
24	16,2	213,0	5,4
Total	615,8	5206,9	206,8

Tableau 33: résultats de l'optimisation des distances et l'usage des véhicules de 12 m3 et la construction d'un centre de transfert sur les émissions des polluants.

	Quantité actuelle (kg/an)	Quantité optimisée	Pourcentage d'optimisation
CO	4290,7	1568,9	63,4
CO ₂	642 755,9	184422,1	71,3
NO _x	6961,7	1553,8	77,7
PM	732,5	232	68,3

IV.6. Comparaison des résultats

Dans le but de comparer les performances des scénarios proposés, nous avons rassemblé dans la figure 9, l'ensemble des résultats en tenant compte des distances des parcours quotidiens, du temps de travail, de la consommation du carburant, du coût total de la collecte et des émissions des polluants. A noter que le coût actuel de la collecte est de 2 100 DA la tonne et les émissions de polluants sont en moyenne de 655 tonnes/an (CO, CO₂, NO_x et PM) où le CO₂ représente la partie majoritaire.

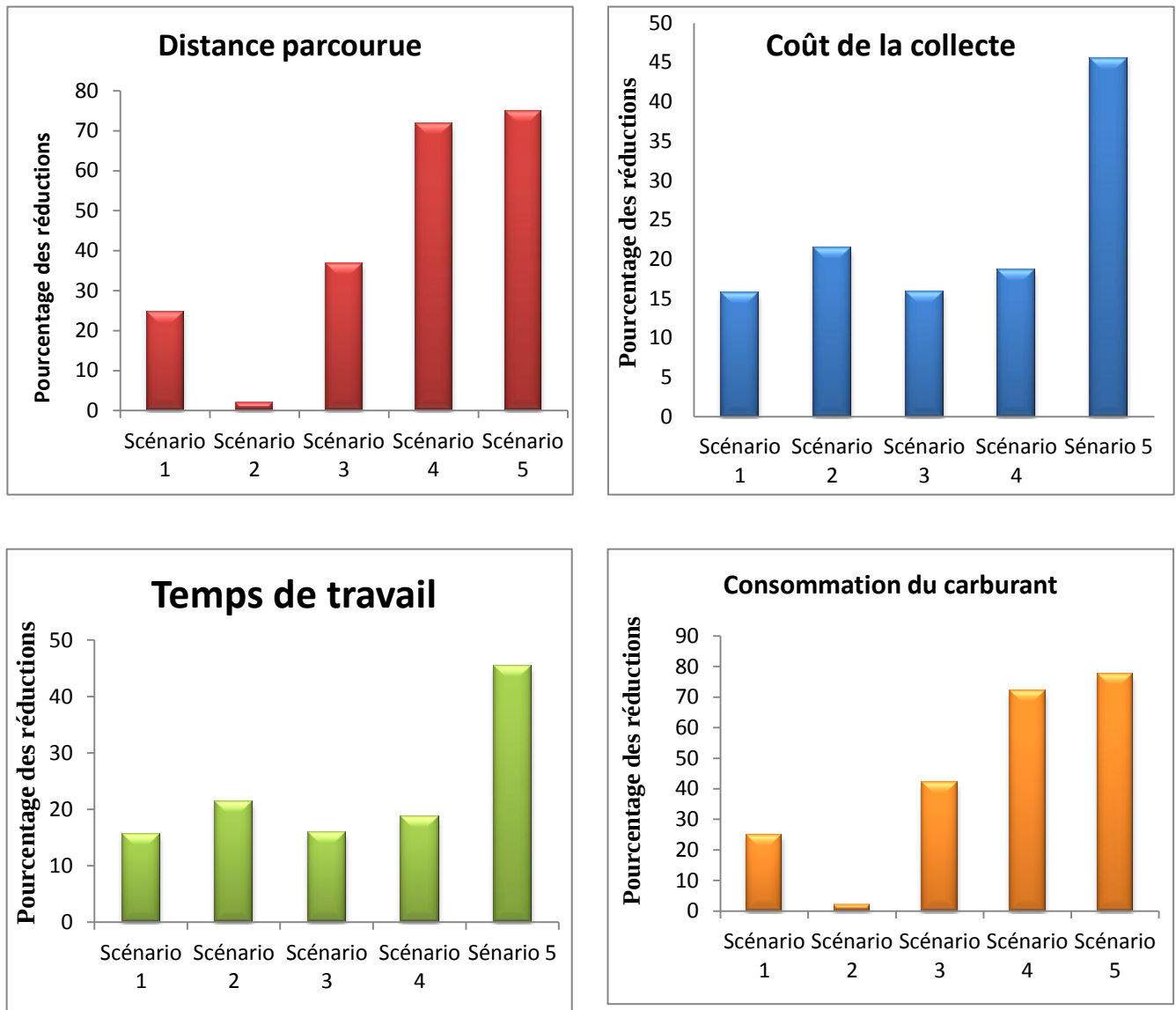


Figure 9: résultats globale de l'optimisation de la collecte

Les scénarios 1 et 2 proposent une réduction considérable du coût de la collecte, de 2 100 DA/tonne à 1 200 DA/tonne et 1 210 DA/tonne respectivement. Les quantités émises de polluants n'ont été réduite que de 45 tonnes/an et 12 tonnes/an (6.7% et 1.8%). Ce résultat est dû essentiellement aux parcours importants de la collecte, aux fréquences élevées des rotations et aux capacités non appropriées des camions. Pour ces raisons, nous avons écarté ces deux scénarios.

Chapitre IV Optimisation de la collecte des déchets ménagers de la ville de Mostaganem

Le scénario 3 améliore le coût de la collecte en la baissant à 1 150 DA/tonne et les émissions de polluants à 427 tonnes/an (34.8%).

Par contre, les scénarios 4 et 5 sont les deux propositions les plus optimales où on a enregistré les coûts les plus bas pour la collecte, 1 120 DA/tonne pour le scénario 4 et 1 100 DA/tonne pour le scénario 5. Les quantités des émissions des polluants sont tombées à 210 tonnes/an et 188 tonnes/an respectivement (67,9% et 71,3%). Ces améliorations sont dues, d'une part, à la construction du centre de transfert et, d'autre part, à la diminution des rotations de vidange, suite à l'augmentation de la capacité des camions à 12m³.

En définitive, ces résultats montrent un gain de 20 à 40% du coût de la collecte des déchets ménagers et du transport par rapport à l'état actuel. Ceci est à rapprocher avec ceux obtenus pour l'optimisation des distances par Apaydin et de Gonullu, 2008, (24%) ; Karamidas, 2008 (30%) ; Jovičić et al., 2011(20%), Verma et Bhonde, 2014 (23.3%), Zsigraiova et al., 2013 (28%) et ceux trouvé par Zsigraiova et al., 2013 pour l'optimisation du temps (43%).

Conclusion générale

Cette étude a permis en premier lieu d'évaluer qualitativement et quantitativement l'évolution des déchets ménagers dans le CET depuis sa création. Nous avons déterminé la composition des ordures ménagères et les paramètres physico-chimiques et bactériologique dans le but d'une étude économique de valorisation et de risque sanitaire du personnel en contact avec les ordures, et d'avoir des données fiables pour l'optimisation de la collecte.

L'exploitation du centre d'enfouissement technique de Mostaganem a permis une nette amélioration dans l'élimination des déchets des 7 municipalités étudiées. La collecte a été aussi améliorée et une amorce dans la valorisation au niveau du CET a été encouragée par les collectivités locales. Il subsiste encore quelques insuffisances qui disparaîtront avec l'acquisition de l'expérience, le savoir faire, la formation, l'éducation et la sensibilisation des citoyens.

L'un des problèmes majeurs à surmonter dans cette gestion reste le tri sélectif au niveau de la population. Des actions ont été menées dans des villes, des quartiers, malheureusement le constat est toujours le même : aucune amélioration dans le tri et la collecte reste à l'état initiale où tous les déchets ménagers sont mélangés dans les poubelles. La valorisation des déchets est subordonnée en premier lieu à la réussite du tri sélectif que doit effectuer le citoyen, en deuxième position par l'encouragement du gouvernement à investir dans ce domaine et aider le secteur privé à activer dans la création de petites entreprises de valorisation et en dernier lieu à la construction de déchetteries dans les villes pour récupérer tous les déchets valorisables et assainir nos rues et campagnes et faire de nos déchets des matériaux recyclables, réemployables, incinérables, compostables, méthanisables dans le but de préserver l'environnement et les ressources naturelles pour les générations futures dans le cadre du développement durable.

Le principe à suivre n'est plus de déterminer à priori le meilleur mode de traitement des déchets ménagers, mais d'optimiser et de fédérer l'ensemble des pratiques de gestion des déchets, ce qui a fait l'objet de notre seconde partie de cette étude.

L'étude de l'optimisation de la collecte des déchets de la ville de Mostaganem a été faite par l'utilisation du logiciel Arc-Gis, en utilisant des données réelles et précises.

Parmi les cinq scénarios étudiés, les plus intéressants au niveau coût et réduction des polluants sont ceux qui favorisent la construction de centre de transfert. Le scénario 4 basé sur l'optimisation des distances et le maintien des camions utilisés actuellement permet à la municipalité d'avoir un gain de 416000 euros par an et diminuer la quantité de GES de 445 tonne/an. Cette proposition peut-être exploitée dans les meilleurs délais par la construction du centre de transfert.

L'application du scénario 5 peut se faire graduellement après le 4, il suffit de remplacer graduellement les camions existants par ceux ayant une capacité de 12 m³. Dans ce cas de figure, le

budget de la collecte des déchets sera réduit de moitié et les émissions de GES réduites pratiquement de tiers.

Références bibliographiques

Abdelli, I. S., Asnoune, M., Arab, Z., Abdelmalek, F., Addou, A., 2015. Management of household waste in sanitary landfill of Mostaganem district (Western Algeria). J Mater Cycles Waste Manag. DOI 10.1007/s10163-015-0415-6.

Achankeng, E., 2003. Globalization, Urbanization and Municipal Solid Waste Management in Africa, African Studies Association of Australasia and the Pacific 2003 Conference Proceedings - African on a Global Stage; 22 pages.

Addou, A., 2009. Développement durable traitement des déchets valorisation élimination, Ed. Ellipses, France.

ADEME, 1993. MODECOM, Méthode de caractérisation des ordures ménagères (connaître pour agir, guide et cahiers technique), Ed. ADEME, France

ADEME, 1999. Composition des ordures ménagères en France (données et référence), 60 pages.

ADEME, 2004. La gestion des déchets dans les pays en développement, 3 pages ; www.ademe.fr/ademeinternational/rapport_activites_2004/La_gestion_des_dechets.pdf

ADEME, 2005-b. Mieux connaître les déchets produits à l'échelle du territoire d'une collectivité locale ; Guide Méthodologique ; Version Expérimentale ; 111 pages.

ADEME, 2008. Campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères : que trouve-t-on aujourd'hui dans nos poubelles ?, Résultats de la campagne MODECOM 2007-2008. <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=62275&ref=23117&p1=B>

AEEC, 2009. Etude du schéma directeur de gestion des déchets générés par les activités urbaines de la municipalité de Mostaganem, Algérie.

AFNOR NF EN 26461-1 – ISO 6461-1, juillet 1993. Qualité de l'eau– Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (clostridia). Partie 1 : méthode par enrichissement dans un milieu liquide.

AFNOR NF EN 27888, Janvier 1994. Qualité de l'eau – Détermination de la conductivité (Indice de classement : T90-031).

AFNOR NF EN ISO 6579, décembre 2002. Microbiologie des éléments – Méthode horizontale pour la recherche des Salmonella spp.

AFNOR NF EN ISO 7899-1, mars 1999. Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux de surface et résiduaires – Partie 1: méthode miniaturisée (nombre le plus probable) pour ensemencement en milieu liquide.

AFNOR NF U 44-160, novembre 1985. Amendements organiques et supports de culture : détermination de la matière organique totale; Méthode par calcination.

AFNOR XP-T 90-412, juin 2006. Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes – Méthode par filtration sur membrane.

Agence Nationale de Développement et d'Investissement (ANDI), 2015. www.andi.dz/PDF/.../interview_wali_mostaganem.pdf

Aina, M.P., 2006. MSW Landfills Techniques in Developing Countries: Methodology and Experimental Applications. Thèse de Doctorat. Université de Limoges, France.

Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C. et Sidi Mohamed M.E., 2005-a. Caractérisation des Ordures Ménagères à Nouakchott : Partie I : Méthode d'Echantillonnage, article en Presse, 7 pages.

Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C. et Sidi Mohamed M.E., 2005-b. Caractérisation des Ordures Ménagères à Nouakchott : Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide, article en Presse, 8 pages.

Alouemine, S. O., 2006. Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat. Université de Limoge, France.

ANAT, 2001. MSW Management in Mostaganem. Municipal Environment Department of Mostaganem, ANAT, Algeria.

AND, 2006. Décharges sauvages : inventaires interprétation et recommandation, octobre 2006.

Apaydin, O., Gonullu, M.T., 2008. Emission control with route optimization in solid waste collection process: a case study. *Sadhana – Academy Proceedings in Engineering Sciences* 33 (2), 71–82.

Arcens, M., T., 1997. La Collecte des Ordures Ménagères au Secteur 15 de Ouagadougou ; Programme UWEP Waste Enda Tiers-Monde/CREPA.

- Arinola, O., G., Arinola, A., M., 1995. Solid waste in urban and rural areas of Ibadan, Nigieria : composition, treatment and public health concerns. *Compost Science & Utilization* 3 (3): 80-83.
- Asomani-Boateng, R., Haight, M., Furedy, C., 1996. Community composting in est Africa. *Biocycle* 38 (01): 70-71.
- Aye, L., Widjaya, E., R., 2005. Environmental and economic analysis of waste disposal options for traditional markets in Indonesia, *Waste Management*, Article in Press, accepted 15 September 2005.
- Badran, M.F., El-Haggar, S.M., 2006. Optimization of municipal solid waste management in Port Said – Egypt. *Waste Management* 26, 534–545.
- Begnaud, B., Bergey, J., L., Leconte, J., Fouilly, B., Cadillon, M., 1990. Solutions nationales au Maroc. *Le transformeur - Le magazine de l'agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets* 4: 20-21.
- Belkacem, A. E. K., 2011. Gestion des déchets ménagers de la ville de Saida Algérie). Analyse et diagnostic. Thèse de Master. Université de Sidi bel Abbès, Algérie.
- Bernal, M., P., Navarro, A., F., Sanchez-monederro, M.,A., Roig, A., Cegarra, J., 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity an carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil biology & biochemistry* 30 (3): 305-313.
- Beture Environnement, 2001. *Projet Déchets urbains - Egypte*. Paris, France 65.
- Biocycle 1989. *The Biocycle guide to yard waste composting*. Edité par le personnel de Biocycle, (Ed. Emmaus, Pennsylvania), 197 p.
- Boudouaya, F.,Z., 2010. La gestion des déchets ménagers dans la ville d'Adrar Algérie. Mémoire d'ingéniorat. Université de Mostaganem, Algérie.
- Boukelia,T., Mecibah, M.S., 2012. Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Algeria, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. <http://www.journal-ijeee.com/content/3/1/17>
- Buenrostro, O., Bocco, G., 2003. Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, *Resources, Conservation and Recycling* 39 (2003) 251 – 263.
- Cemagref, 2006. *Traitements biologiques des déchets ménagers*, Café des Sciences du Pays de Morlaix.

- Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2011. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Fec.Ec 1.0, 3.
- Chang, N.B., Wei, Y.L., 1999. Strategic planning of recycling drop-off stations and collection network by multiobjective programming. *Environmental Management* 24, 247–263.
- Charney. F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat. Université de Limoge, France
- Cheniti. H., Serradj.T., Brahamia. K., Makhlouf. A, Guerraiche. S., 2013. Physical knowledge of household waste in Algeria: generation and composition in the town of Annaba. *Waste Manag. Res.* 31 (11), 1180-6.
- CIEDE, 1999. Informations techniques, Ministères de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement, Module 6 ; Maroc. *Conservation and Recycling* 42 (2004) 183 – 203.
- Mohee, R., 2002. Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius. *Resources, Conservation and Recycling* 36: 33-43
- Dahman. S., 2012. Evaluation de la gestion des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran. Thèse de magister. Université d'Oran, Algérie.
- Dayal, G., Yadav, A., Singh, R., P., Upadhyay, R., 1993. Impact of climatic conditions and socio-economic status on solid waste characteristics : a case study. *The science of the Total Environment* 136: 143-153.
- Devisscher, S. 1997. Propriétés et valorisation du compost. Mémoire. D.E.S.S.. Université de Picardie. France.
- Djamel, B., 2007. Eradiquer à terme les décharges traditionnelles et sauvages. *Journal Mutations* 59, 25
- Djemaci, B., 2011. Recyclage des déchets à travers un système de consigne : Cas des bouteilles en plastique en Algérie. Colloque international francophone, le développement durable : débats et controverses, 15 et 16 décembre 2011. Université Blaise Pascal. Clermont. Ferland.
- Djemaci, B., 2012. La gestion des déchets municipaux en Algérie. Analyse et prospective et éléments d'efficacité. Thèse de doctorat. Université de Rouen, France.

Djemaci, B., Chertouk, MAZ, 2011: La gestion intégrée des déchets solides en Algérie. Contraintes et limites de sa mise en œuvre. International Centre of Research and Information on the Public. <http://www.ciriec.ulg.ac.be> (2011).

Ebot Mangaa, V., Fortonet, O.T., Readd, A.D., 2008. Waste management in Cameroon: A new policy perspective. *Resources, Conservation and Recycling* 52, 592-600.

El-fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., Alayli, B., 2002. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management* 22: 269-282.

Enda Maghreb, 2003. Projet de Protection de la biodiversité et des ressources en eau du Bassin Versant de la Moulouya (PBREM), Formation technique sur la gestion des déchets solides municipaux.

Ericsson, E., Larsson, H., Brundell-Freij, K., 2006. Optimizing route choice for lowest fuel consumption – potential effects of a new driver support tool. *Transportation Research Part C* 14, 369–383.

Eurostat-News release: Environment in the EU27. Stat/13/33 ; 2013 Mar 4.

Faccio, M., Persona, A., Zanin, G., 2011. Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management* 31, 2391–2405.

FoE, 2002. Incineration Or Something Sensible ? A Briefing from Friends of the Earth Scotland, 15 pages.

Follea, V., Brunet, F., Benrabia, N., Bourzai, M., P., Faucompre, P., 2001. Revue comparative des modes de gestion des déchets urbains adoptés dans différents pays de la ZSP." Agence française du développement. octobre 2001. 24.

Fonds Monétaire International, 2015. www.lemaghreb.dz.com/?page=detail_actualite&rubrique...id...

François, V., 2004. Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur des colonnes de déchets. Thèse de doctorat. Université de Limoges

- Gachet, C., 2005. Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au centre de stockage des déchets ultimes au SYDOM de Jura sous l'effet de recirculation des lixiviats. Thèse de doctorat. Ecole doctorale de chimie de Lyon. France.
- Ghose, M., K., Dikshit, A., K., Sharma, S., K., 2006. A GIS based transportation model for solid waste disposal – a case study on Asansol municipality. *Waste Management* 26, 1287–1293.
- Gillet, R., 1985. MSW Management and its Application in Developing Countries. vol.1. ed. OMS, PUND, Copenhagen, Denmark.
- Gourine, L., 2010. Country report on the solid waste management: Algeria. The regional solid waste exchange of information and expertise network in Mashreq and Maghreb countries. <http://www.sweep-net.org/content/algeria> (2010). Accessed July 2010.
- Guerroud, N., Ouadjnia, F., Abdelmalek, F., Taleb, F., Addou, A., 2009. Municipal solid waste in Mostaganem city (Western Algeria). *Waste Management* 29, 896–902.
- Hafid, N., 2002. Etude du compost de l'UPAO, des refus de compostage et des anciens dépotoirs d'ordures ménagères de la ville d'Agadir. Thèse de doctorat. Université Ibn Zohr. Agadir, Maroc.
- Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M. & Boudabous, A. 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology* 80, 217-225.
- Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., Sorenson, S., 1999. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Report No. SE/491/98. Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.
- Hoornweg, D., Bhada-Tata P., 2012. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Washington D.C. Urb Dev and Local Gov Unit. No. 15, 98.
- Hoornweg D., Thomas L. et Otten L., 2000. Composting and Its Applicability in Developing Countries, Urban Waste management, Published for the Urban Development Division, The World Bank, Washington DC, 52 pages.
- Iven, U. I. , Breum, N.O., 1999. Exposure reponse relationship between gastrpontestinal problems among waste collectors and bioaerosol exposure. *Scandinavian Journal of Work Environement and Health* 25 (3), 238-24.
- Johansson, O.M., 2006. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. *Waste Management* 26, 875–885.

- Jovičić, N. M., Bošković, G. B., Vujić, G. V., Jovičić G. R., Despotović, M. Z., D. M. Milovanović, D. M., Gordić, D. R., 2011. Route optimization to increase energy efficiency and reduce fuel consumption of communal vehicles. *Thermal science* 14, 67-78
- Kaibouchi, S., 2004. Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : Contribution à l'étude des mécanismes de stabilisation par carbonatation et influence de la collecte sélective ; thèse.
- Karadimas, N., Doukas, N., Kolokathi, M., Defteraiou, G., 2008. Routing Optimization Heuristic Algorithms for Urban Solid Waste Transportation Management. *WSEAS Transaction on Computers* 7, 2022-2031.
- Kathirvale, S., Yunus, M., N., M., Sopian, K., Samsuddin, A.H., 2003. Energy potential from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable Energy* 29: 559-567.
- Keenan, P.B., 1998. Spatial decision support systems for vehicle routing. *Decision Support Systems* 22, 65–71.
- Kehila Y, Mezouari F, Matejka G. Impact de l'Enfouissement des déchets solides urbains en Algérie: Expertise de deux Centres d'Enfouissement Technique (CET) à Alger et Biskra. *Rev francoph d'écol ind, Sci & Tech, Déchets*. 2009 ; 56, 4^{ème} trimestre.
- Komilis, D.P., 2008. Conceptual modeling to optimize the haul and transfer of municipal solid waste. *Waste Management* 28, 2355–2365.
- Kulcar, T., 1996. Optimizing solid waste collection in Brussels. *European Journal of Operational Research* 90, 71–77.
- Kuo, Y., 2010. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering* 59, 157–165.
- Kuo, Y., Wang, C.-C., 2011. Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 22 (4), 440–450.
- Lakshumi, A., Ramiya, A., Sstha, R., 2006 . Optimal Route Analysis for Solid Waste Disposal Using GIS, *Proceedings on CD, International Conference of Land Registration and Cadastre – MAP India*, New Delhi, India.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.Y., Semet, F., 2000. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transaction in Operational Research* 7, 285–300.

- Lin, H.Y., Chen, G.H., Lee, P.H., Lin, C.H., 2010. An interactive optimization system for the location of supplementary recycling depots. *Resources, Conservation & Recycling* 54, 615–622.
- Louati Halouani H. City of Sfax (Tunisia). International Conference, 2012 Nov 13-14; Mahdia. Tunisia: The Mediterranean integrated sustainable waste & Resource management network for local and regional authorities; 2012.
- MATE, 2003. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en Algérie.
- M.F.E.I.E., 2008. L'industrie française de l'emballage en chiffres clés, ed. Ministère de l'économie de l'industrie et de l'emploi, France
- Mashhood, A.K., 2011. Environmental pollution: its effects on life and its remedies. *Journal of art, science and commerce* 5, 56-57.
- Mate, 2005. Analyse et recommandations en matière de recouvrement des coûts de la gestion des déchets municipaux en Algérie. Ernst & Young.
- Marie-Noëlle, C., 2008. Trier et récupérer à Buenos aires : Des cartoneros aux conteneurs – les transformations territoriales du service de gestion des ordures ménagères à l'épreuve de la sélection des déchets recyclables dans la ville autonome de Buenos aires (Argentine). Laboratoire BioGéo (ENS-LSH) et Centre de Recherches et d'Analyse en Géopolitique. Paris VIII: Thèse de master.
- MATET-CNFE, 2009. Ministère de l'aménagement de territoire de l'environnement et du tourisme, Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets urbains ménagers et assimilés.
- Mbuligwese, G., Kassenga, R., 2004. Feasibility and Strategies for anaerobic digestion of solid Waste for energy production in Dar es Salaam City, Tanzania " *Resources, conservation - and Recycling* 42".
- Mbulugwe, S., E., Kassenga, G., R., 2004. Feasibility and strategies for anaerobic
- McLeod, F., Cherrett, T., 2008. Quantifying the transport impacts of domestic waste collection strategies. *Waste Management* 28, 2271–2278.
- Mechanical Biological Treatment, Cool Waste Management, 2003. State-of-the-Art Alternative to Incineration for Residual Municipal Waste, February 2003 Published by the Greenpeace Environmental Trust Canonbury Villas, London N1 2PN, United Kingdom, 58 pages.

- Mehdi, M. M., Belabbed, B. E., Djabri, L., Hani, A., Laour, R., 2007. Characteristics of the Tiaret town landfill and its impact on groundwater quality. *Courrier du Savoir* 08, 93-99
- Meou, N., Le Clerc, F., 1999. Identification de sources des métaux lourds dans les OM ; Creed.
- Mezouari, F., 2011. Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. Thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique d'architecture et d'urbanisme et l'université de Limoge, France.
- Moletta, R., 2009. Le traitement des déchets, ed. TEC&DOC, France.
- Munich.Yuan, H., Wang, L., Su, F., Hu, G., 2006. Urban solid waste management in Chongqing: Challenges and opportunities. *Waste Management* 26 (09), 1052-1062.
- Ngnikam, E., 2000. Evaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun. LAEPSI. Lyon, INSA LYON: 314.;
- Ntabugi kikongo, M., M. 2013. Analyse du niveau de connaissances de la population de la ville de Bukavu sur la gestion des déchets ménagers : Cas de la commune d'Ibanda, Sud-Kivu, RDCongo. Université de Biosadec. République démocratique du Congo : Thèse de Doctorat.
- Nuortio, T., Kytojoki, J., Niska, H., Braysy, O., 2006. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications* 30, 223–232.
- OCDE, 2008. Données sur l'environnement, compendium 2006-2008, déchet. www.oecd.org/dataoecd/22/58/41878186.pdf
- Odunze, I., Mohammed, A. Z. Ike, E, 2004. Waste food material's disposal methods: A case study of a Nigrian metropolitan city. *Food Agriculture & Environment* 2 (2), 375-377.
- Ojeda-Benitz, S., Armijo De Vega, C., Ramirez-Barreto, M., E., 2003. Characterization and quantification of household solid waste in a Mexican city. *Resources, Conservation and Recycling* 39: 211-222.
- ONEM, 2011. Rapport sur l'état de l'environnement du Maroc, Chapitre 4: Déchets et milieux urbains. Observatoire National de l'Environnement au Maroc.
- Phan, R., 2010. Conception de méthodes de recherche opérationnelle pour la collecte de déchets ménagers. Thèse master. Université Plaise Pascal. France.

PNUE, 2005. Programme d'aménagement côtier (PAC) " Zone côtière Algéroise" - Lutte contre la pollution liée aux déchets solides. Phase II – Programme de gestion, 17 pages.

PROGDEM, 2011. Le Plan national de gestion des déchets ménagers, Guide. www.mate.gov.dz/pdf/dpeu/progdem.pdf.

Programme National des Déchets Ménagers, 2004. Etude relative à la gestion des déchets ménagers. Maroc, SEEE.

Project SWA- Tool, 2004. Development of a Methodological Tool to Enhance the Precision & Comparability of Solid Waste Analysis Data, Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool), European Commission, User Version, 57 pages.

Rapport CCA, 2002. Nations Unies La Mauritanie à l'aube du 21ème siècle Bilan commun de pays (CCA) Nouakchott, 118 pages.

Rapport National de l'Algérie, 2011. 19ème session de la Commission du Développement Durable des Nations Unies (CDD-19).

Rapport, 2001. La Mauritanie à la croisée des chemins Bilan commun de pays (CCA), Coordination du Système des Nations Unies en Mauritanie, Document de travail 2ème draft, 86 pages, <http://www.maed.gov.mr/Bibliotheque/rapports/CCA-Mauritanie.pdf>.

Rapport, 2004. Statewide Waste Characterization Study, Contractor's Report to the Board, Cascadia Consulting Group, Inc., 124 pages.

ROCORD, 2003. Etat des connaissances sur les microorganismes dans les filières de déchets. 124 pages. N° 01-0657/1A

Schwartzbord, J.,1998. Agents pathogènes dans les boues et impacts des différents traitements. Adem journées techniques des 5 et 6 juin 1997 : aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage des boues d'épuration urbaines.

Sefouhi L. Recycling: A Practical Solution to the Problem of Household Waste Management in Batna City (Algeria). Her J Mark Bus Manag;12-014.

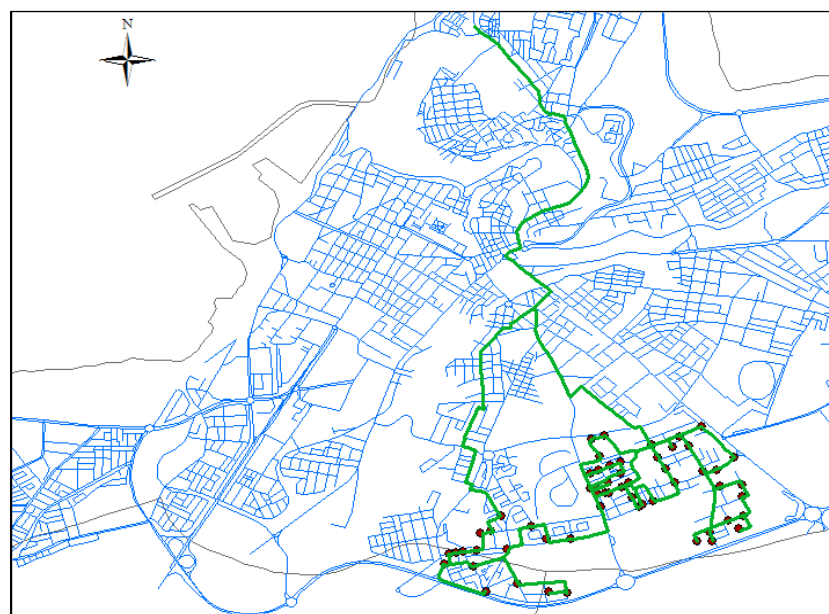
Shin, H., S., HWANG E.J., GEE, C., S. 1997. Food residuals management in Korea. Biocycle 38 (10): 69-71.

- Simonetto, E.O., Borenstein, D., 2007. A decision support system for the operational planning of solid waste collection. *Waste Management* 27, 1286–1297.
- Skordilis, A., 2004. Modelling of integrated solid waste management systems in an island. *Resource, Conservation and Recycling* 41, 243-254.
- Smati M. 2012. City of Setif (Algeria). International Conference, Nov 13-14; Mahdia. Tunisia: The Mediterranean integrated sustainable waste & Resource management network for local and regional authorities;
- SWEEP NET, 2012. profil du pays sur la situation de la gestion des déchets solides au Maroc. <http://www.sweep-net.org/ckfinder/userfiles/files/country-profiles/CountryreportMorocco-Fr-mai2011.pdf>
- SWEEP-Net, 2010. Country report on the solid waste management in Egypt. SWEEP-Net; 2010 Jul.
- SWEEP-Net, 2010. Report on the solid waste management in Tunisia. SWEEP-Net; 2010 Jul.
- Tahraoui Douma, N., Matejka, G., Chambon. S., Touil, D., 2012. Composition of Municipal Solid Waste (MSW) generated by the city of Chleff (Algeria). *Energy Procedia* 18, 762 – 771
- Talyan, V., Dahiya, R.P., Sreekrishnan, T.R., 2008. State of municipal solid waste anagement in Delhi the capital of India. *Waste Management* 28 (7), 1276-1287.
- Tarantilis, C.D., Diakoulaki, D., Kiranoudis, C.T., 2004. Combination of geographical information system and efficient routing algorithms for real life distribution operations. *European Journal of Operational Research* 152, 437–453.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., Carvalho, M.G., 2008. A case study of fuel savings through optimization of MSW transportation routes. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 19 (4), 444–454.
- Taylor, M.A.P., Woolley, J.E., Zito, R., 2000. Integration of the global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies. *Transportation Research Part C* 8, 257–285.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993. *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues.* McGraw Hill, New York.

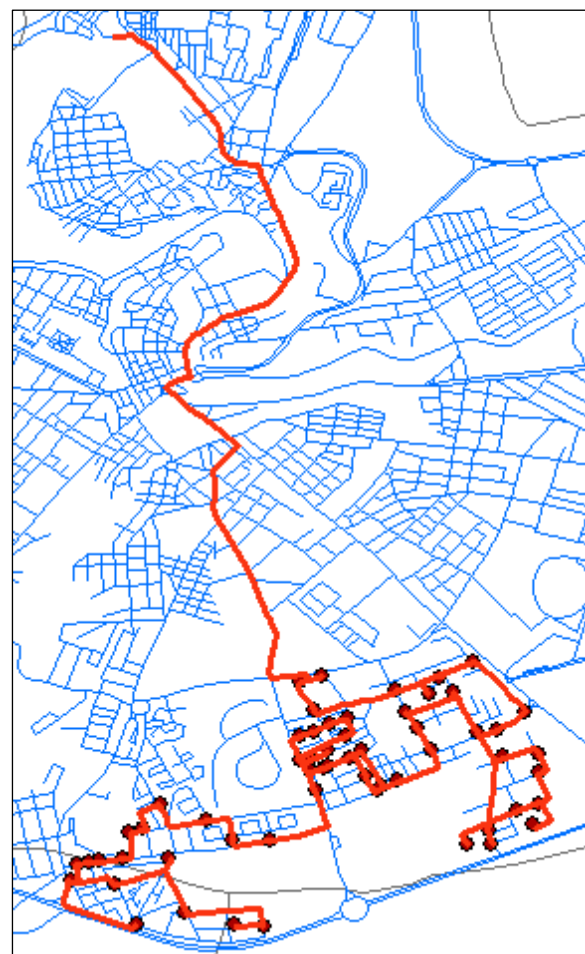
- Teixeira, J., Antunes, A.P., Sousa, J.P., 2004. Recyclable waste collection planning – a case study. *European Journal of Operational Research* 158, 543–554.
- Topanou, N., Domeizel, M., Fatombi, J., Josse, R., Aminou, T., 2011. Characterization of Household Solid Waste in the Town of Abomey - Calavi in Benin. *J of Environ Prot.*; 2 (6): 692-9.
- Wei, Y., S., Fan Y.B., Wang, M., J., Wang, J., S., 2000. Composting and compost application in China, *Resources, Conservation and Recycling* 30 (2000) 277 – 300.
- Wicker, A., 2000. Gestion des déchets. *Statistiques pour la politique de environnement*. 27-28.
- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., Xu, Y., 2012. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 39, 1419–1431.
- Zaïri, M., Ferchichi, M., Ismaïl, A., Jenayeh, M., Hammami, H., 2004. Rehabilitation of Yahoudia dumping site, Tunisia, *Waste Management* 24, 1023 – 1034.
- Zamorano, M., Molero, E., Grindlay, A., Rodriguez, M.L., Hurtado, A., Calvo, F.J., 2009. A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: a case of Churriana de la Vega (Granada, Spain). *Resources, Conservation & Recycling* 54, 123–133.
- Zsigraiova, Z., Tavares, G., Semiao, V., Carvalho, M.G., 2009. Integrated waste-to-energy conversion and waste transportation within island communities. *Energy* 34, 623–635.
- Zsigraiova, Z.; Semiao, V.; Beijoco, F., 2013. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. The case study of Barreiro, Portugal. *Waste Management* 33, 793–806.

Annexe

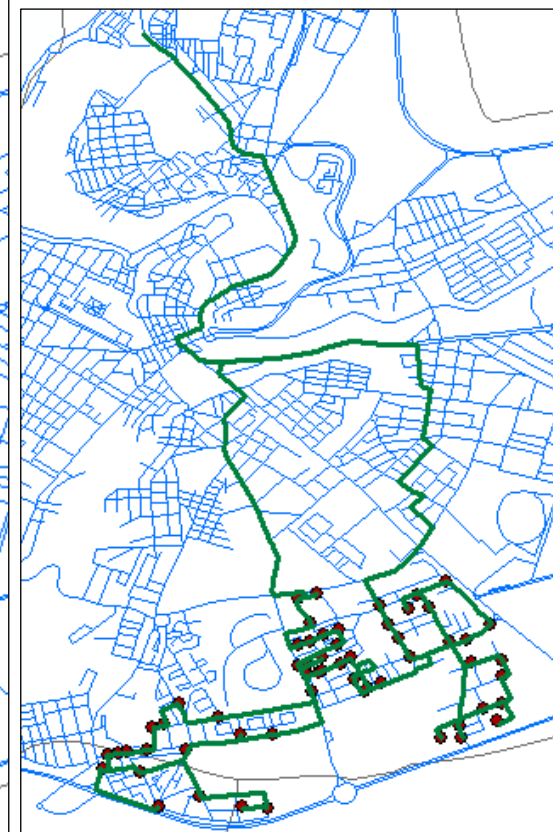
Secteur 1



Secteur actuel

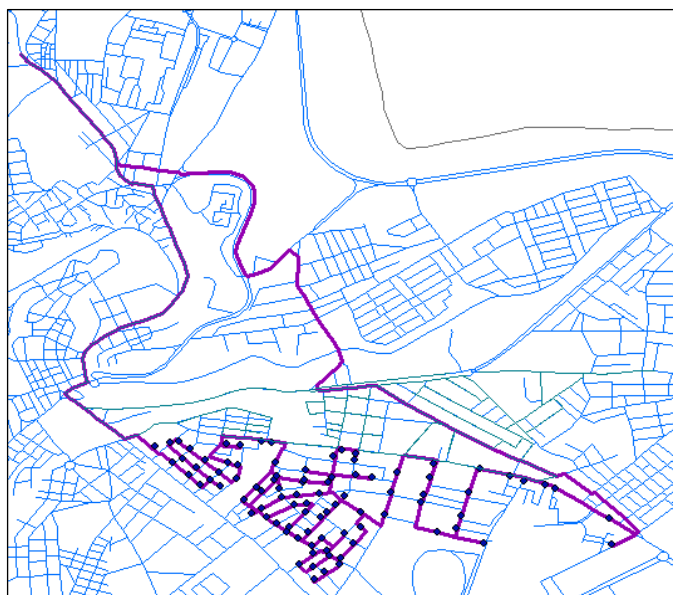


Secteur à distance optimisée

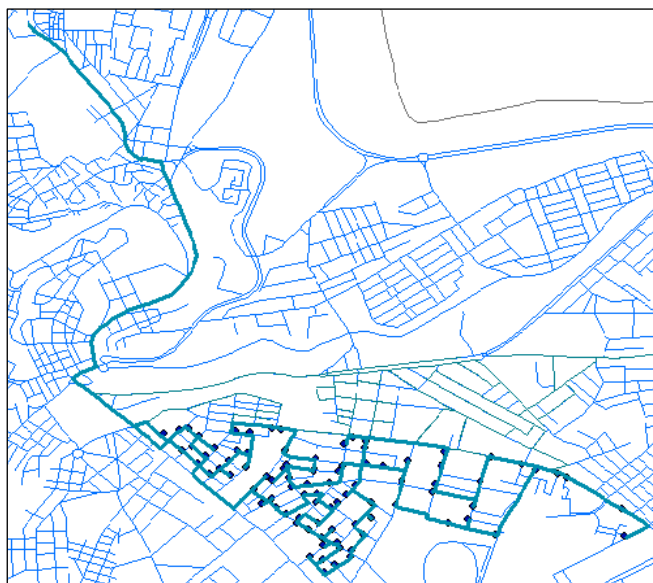


Secteur à temps optimisé

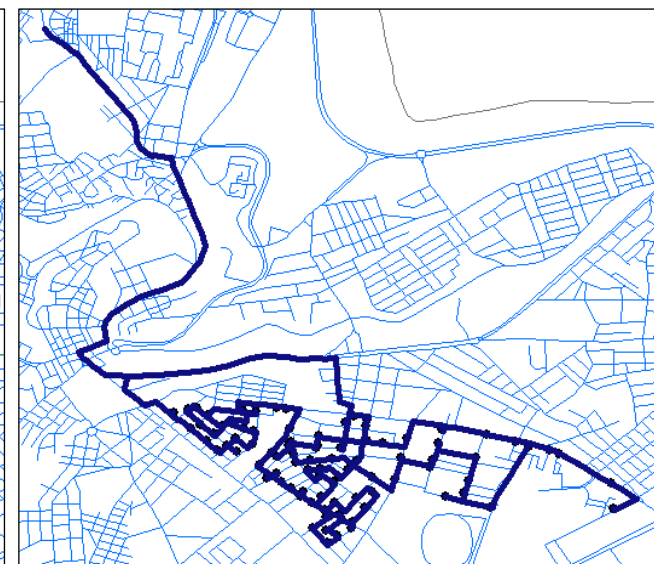
Secteur 2



Secteur actuel

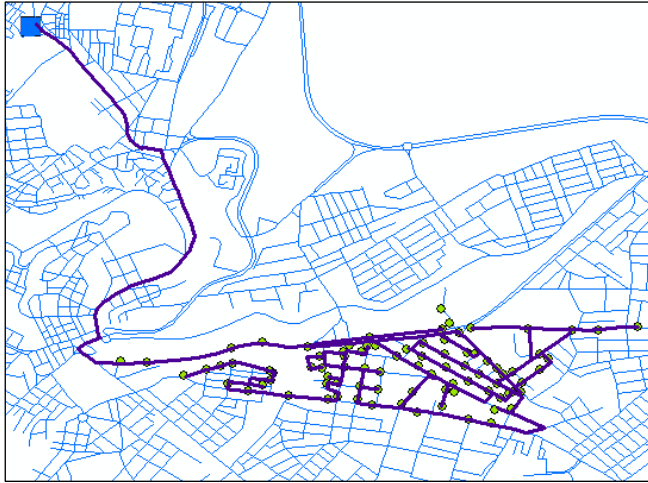


Secteur à distance optimisée

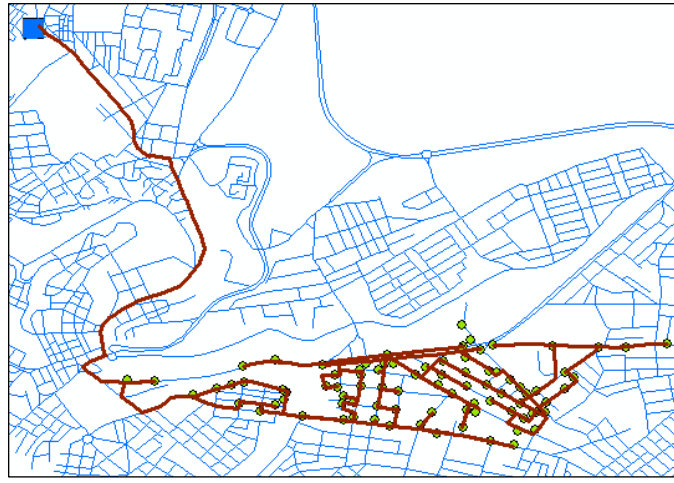


Secteur à temps optimisé

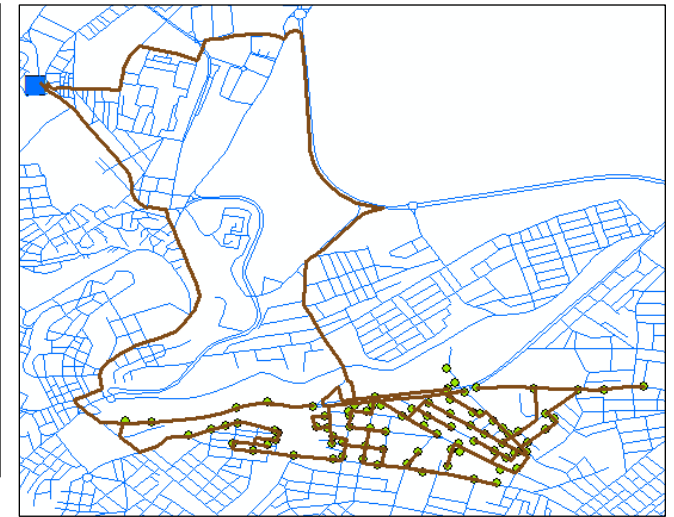
Secteur 3



Secteur actuel

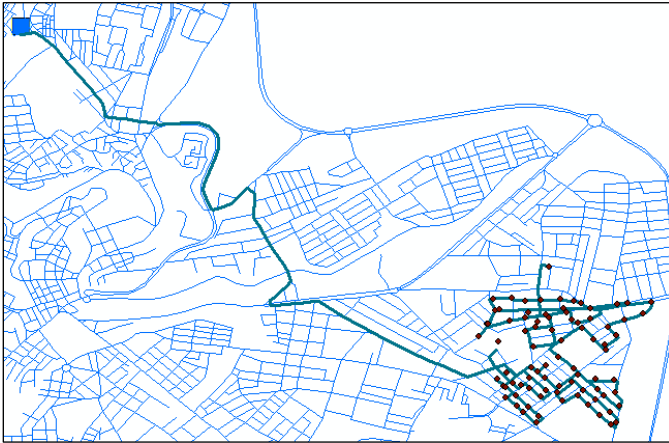


Secteur à distance optimisée

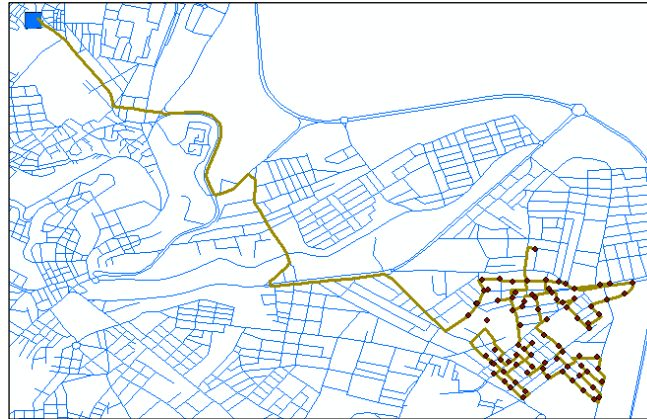


Secteur à temps optimisé

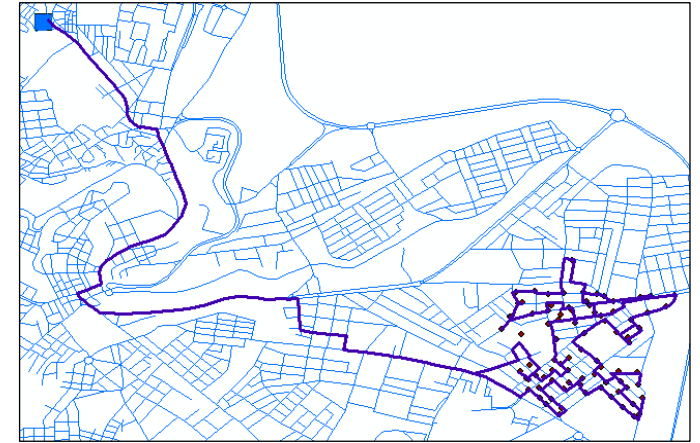
Secteur 4



Secteur actuel

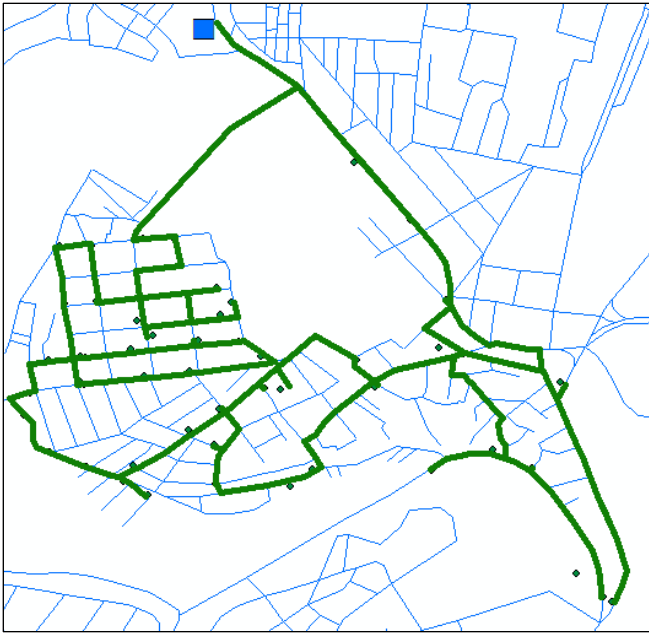


Secteur à distance optimisée

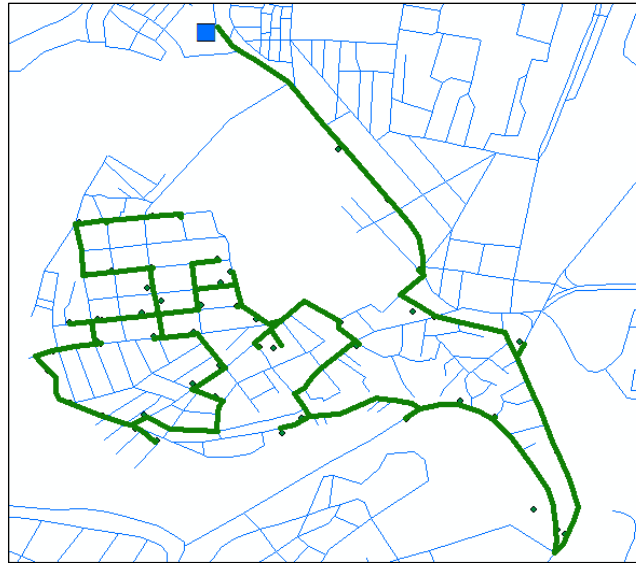


Secteur à temps optimisé

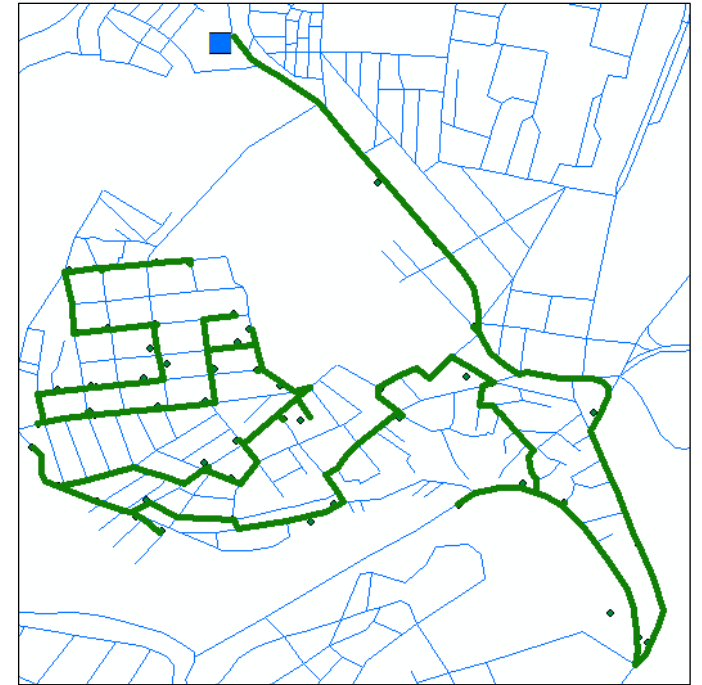
Secteur 5



Secteur actuel

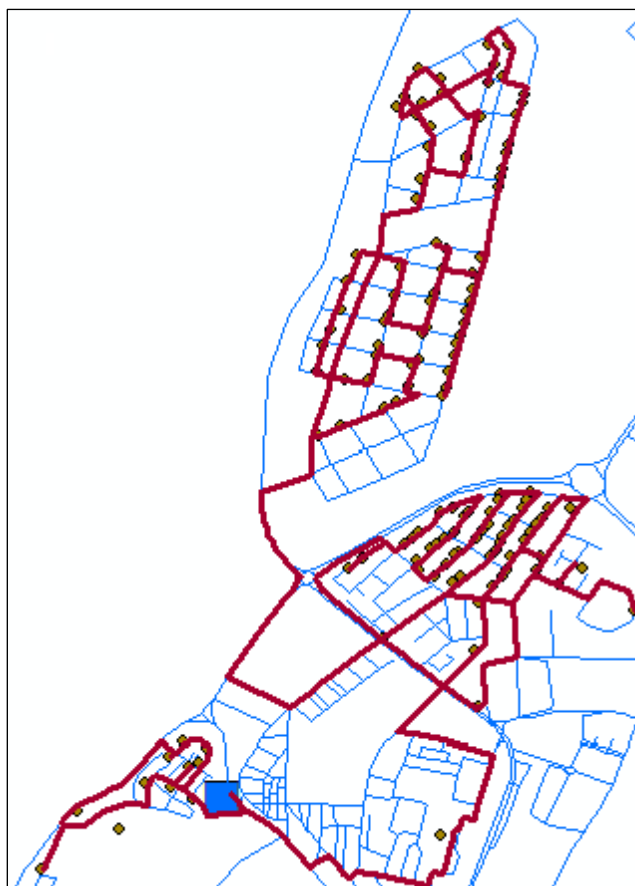


Secteur à distance optimisée

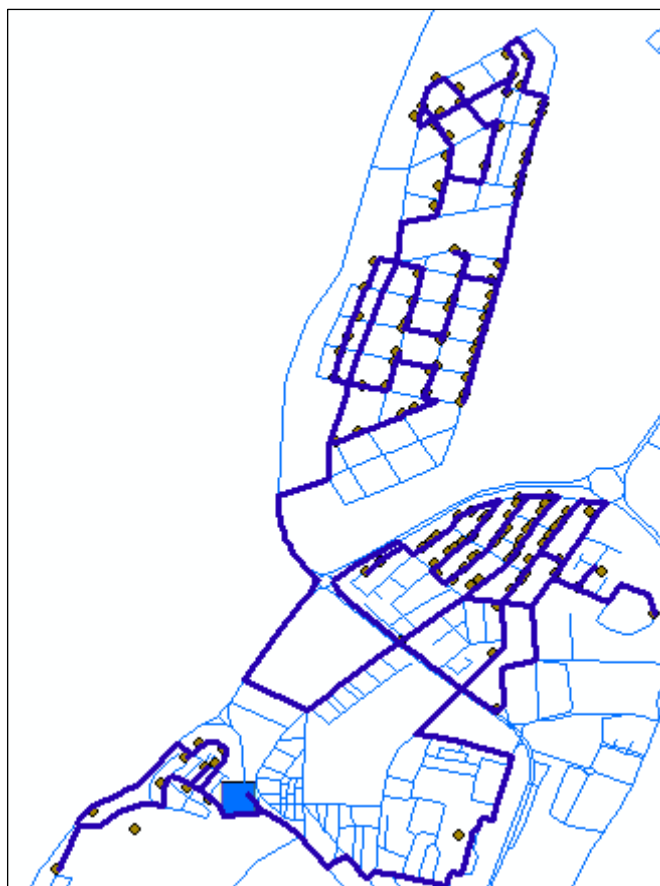


Secteur à temps optimisé

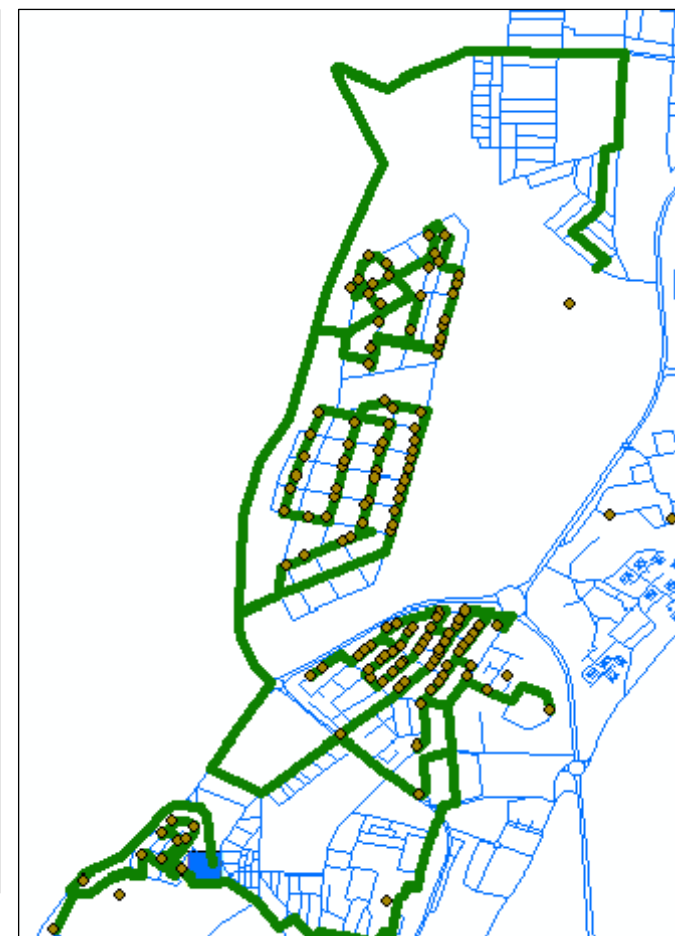
Secteur 6



Secteur actuel

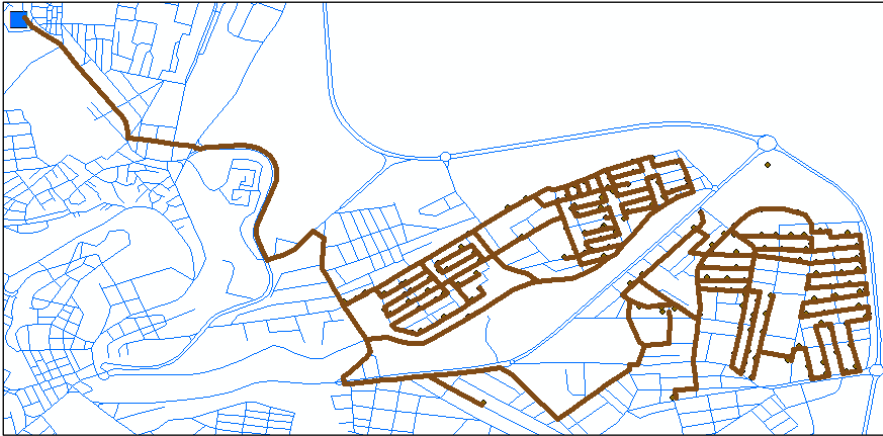


Secteur à distance optimisée

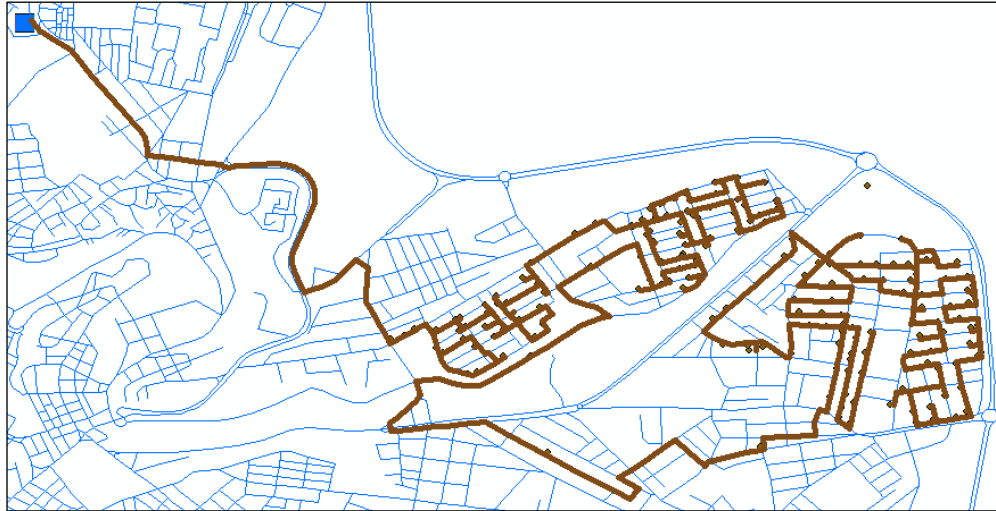


Secteur à temps optimisé

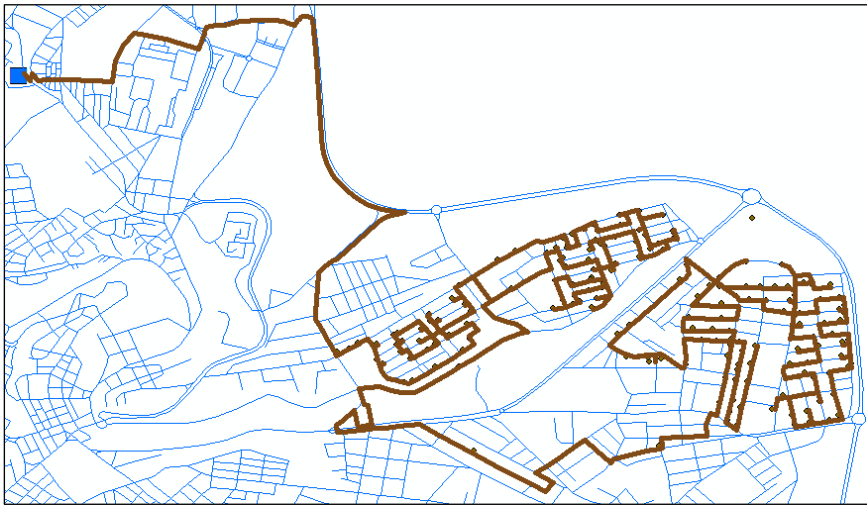
Secteur 8



Secteur actuel

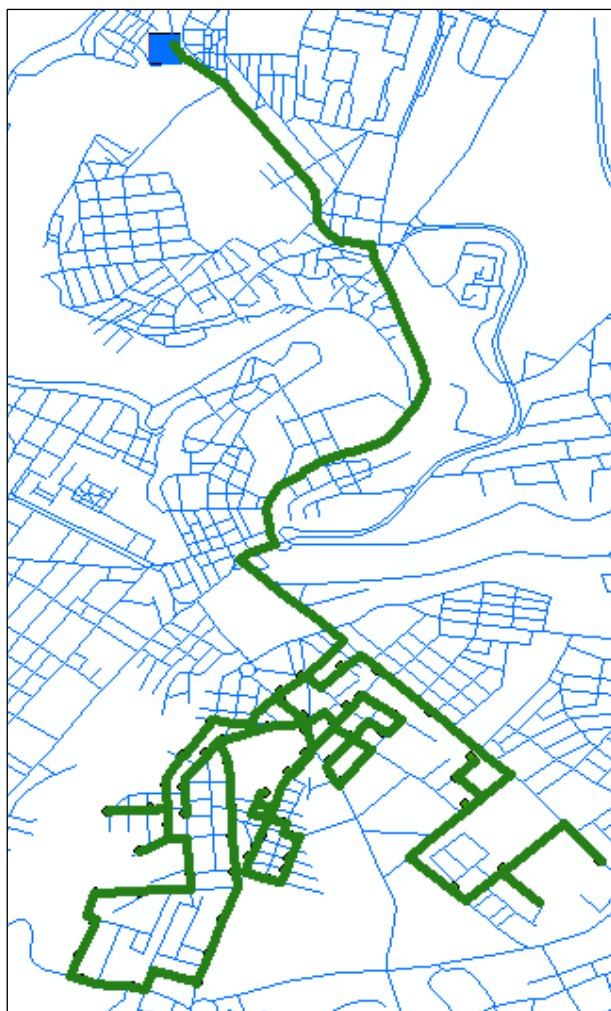


Secteur à distance optimisée

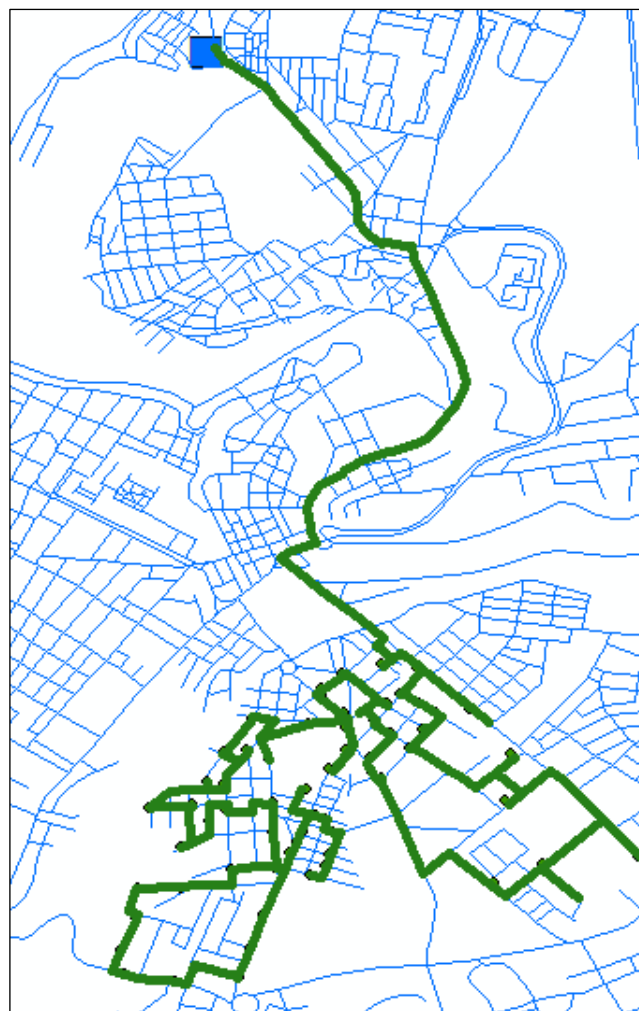


Secteur à temps optimisé

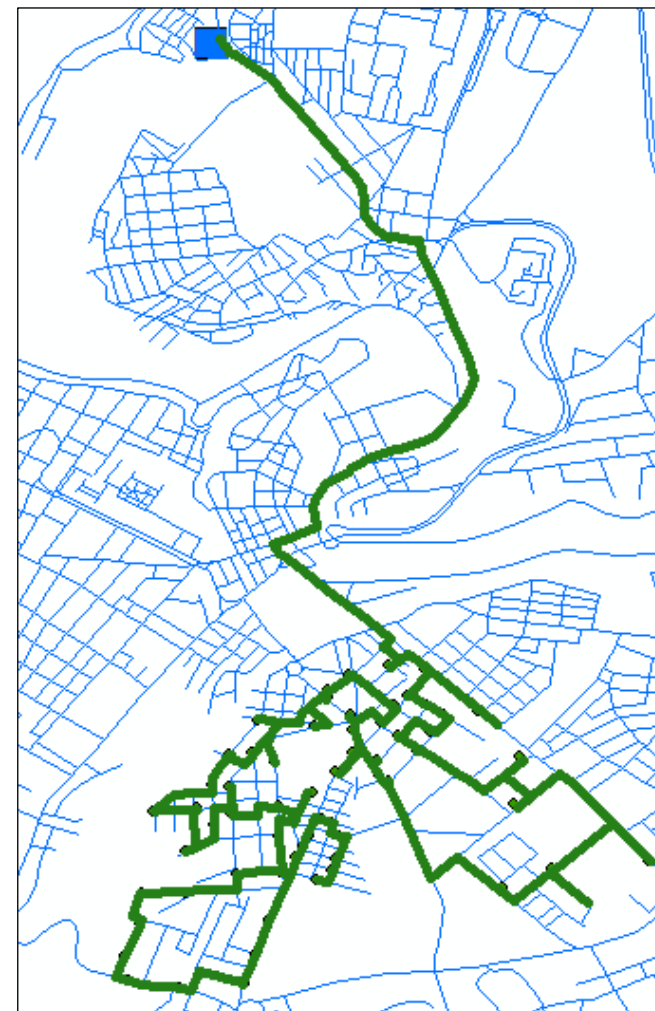
Secteur 9



Secteur actuel

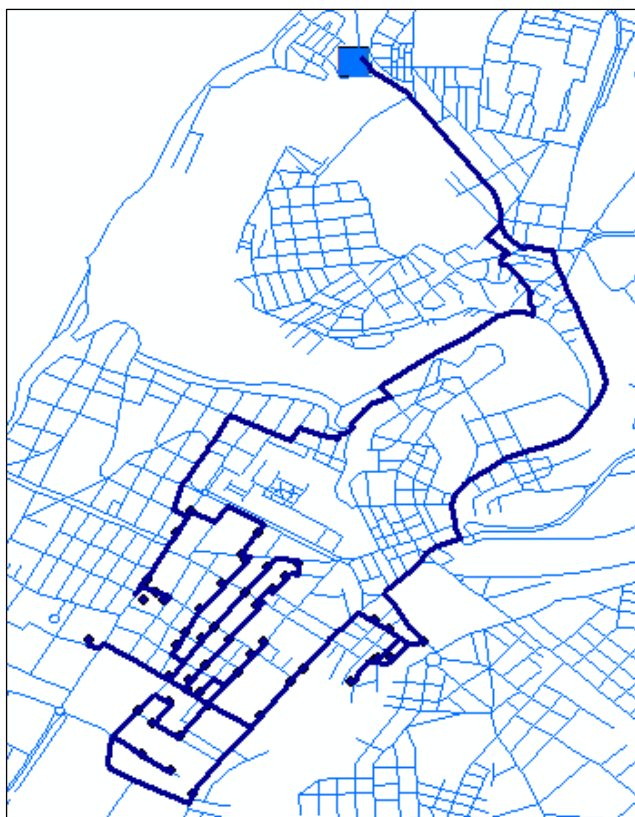


Secteur à distance optimisée

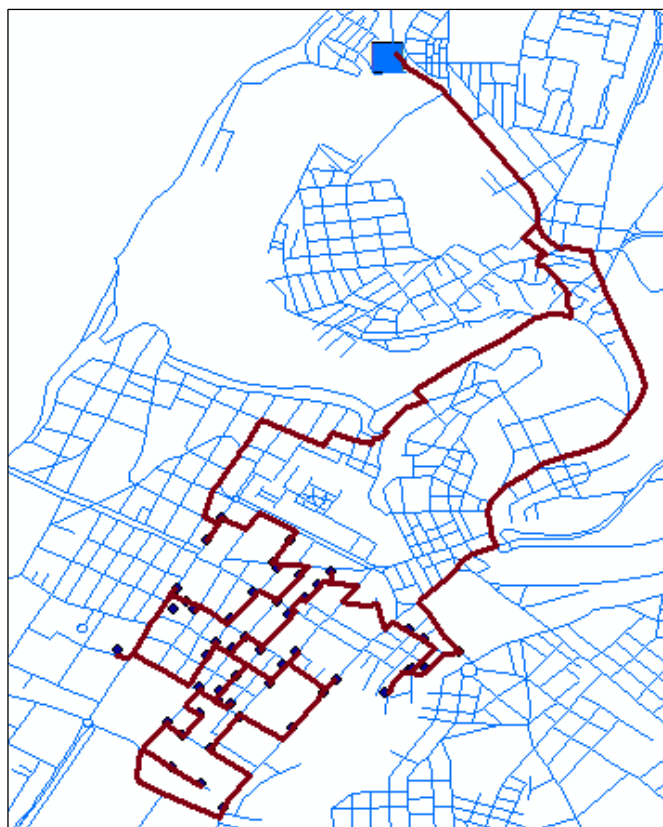


Secteur à temps optimisé

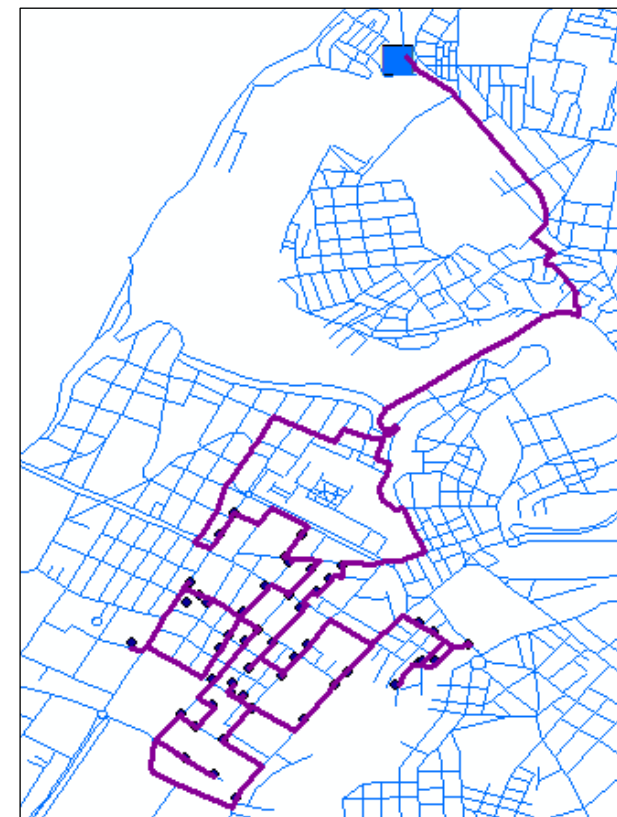
Secteur 10



Secteur actuel

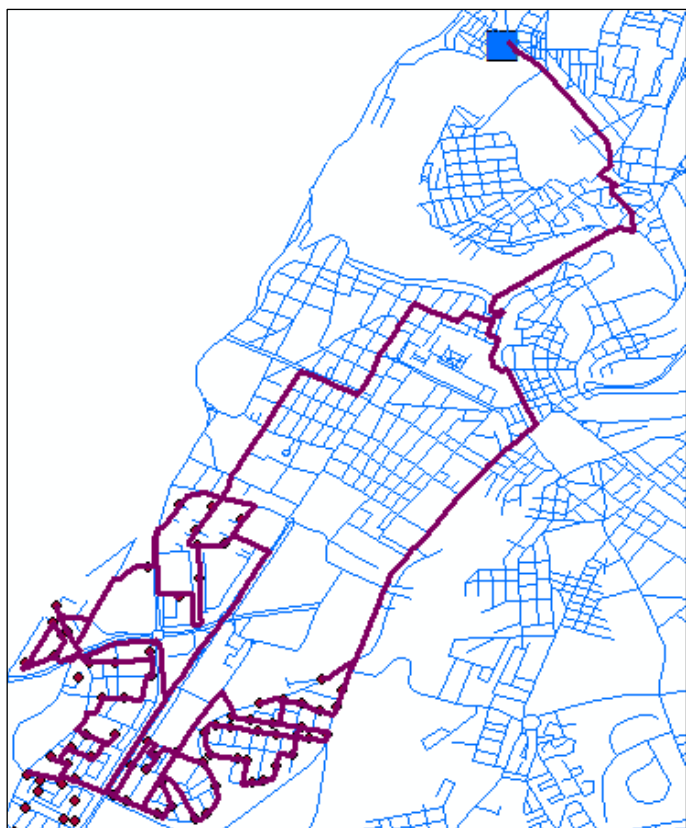


Secteur à distance optimisée

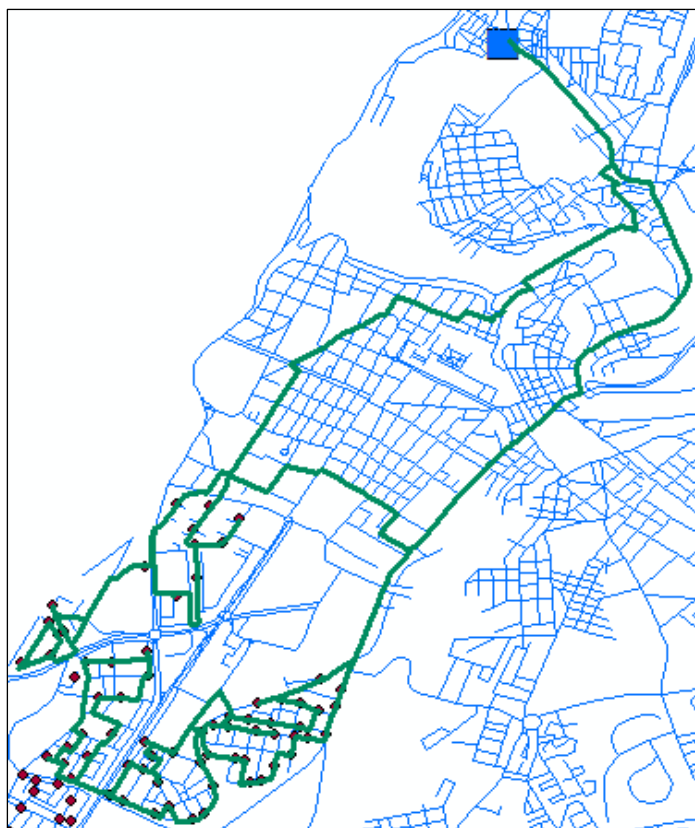


Secteur à temps optimisé

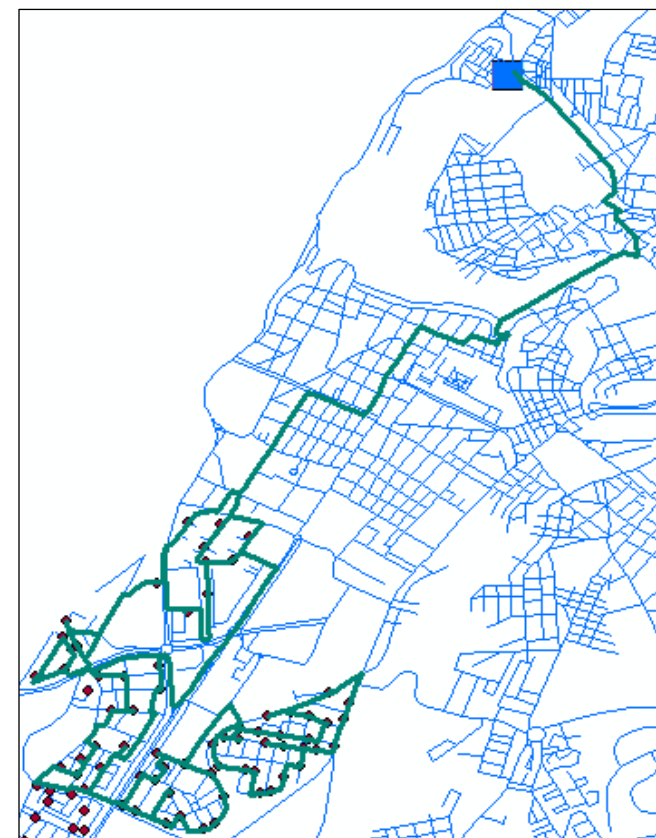
Secteur 11



Secteur actuel

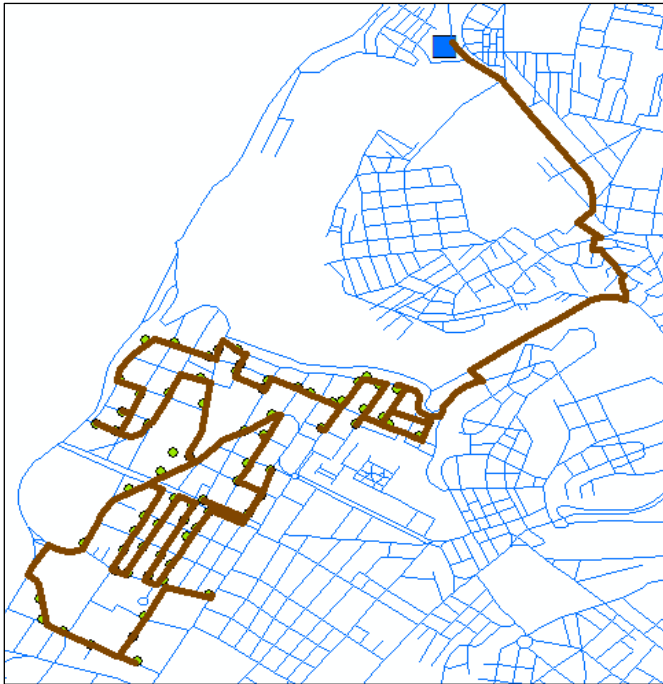


Secteur à distance optimisée

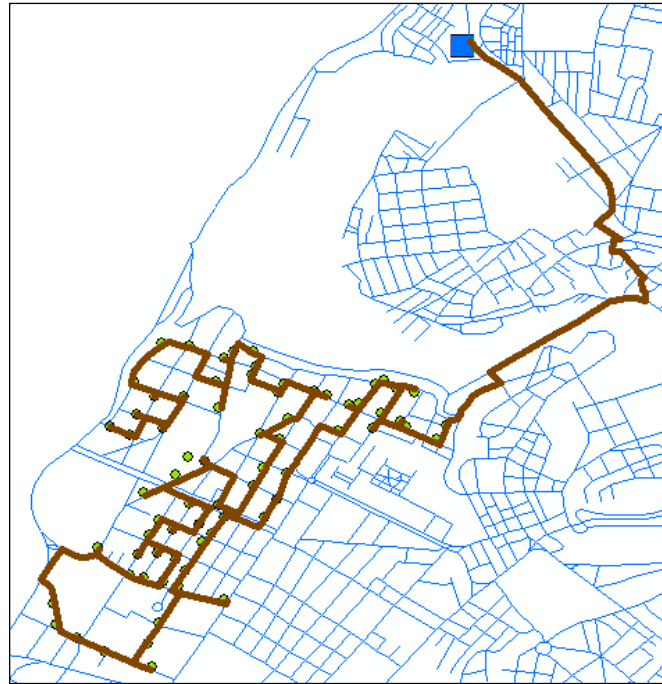


Secteur à temps optimisé

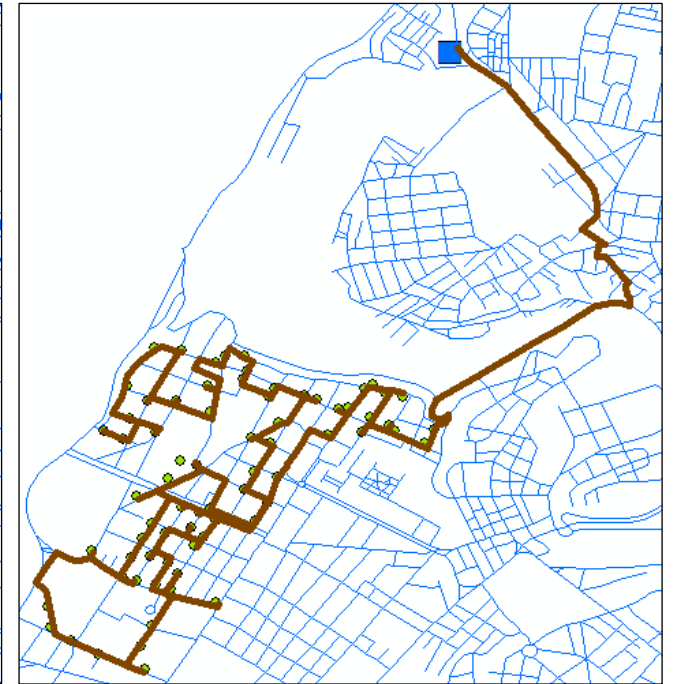
Secteur 12



Secteur actuel

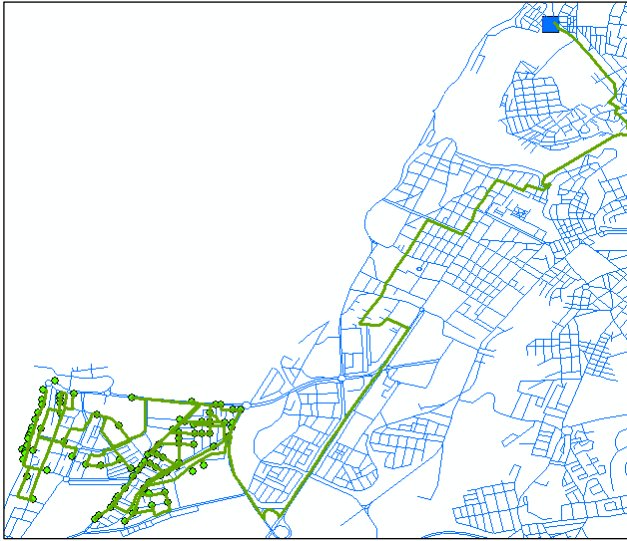


Secteur à distance optimisée

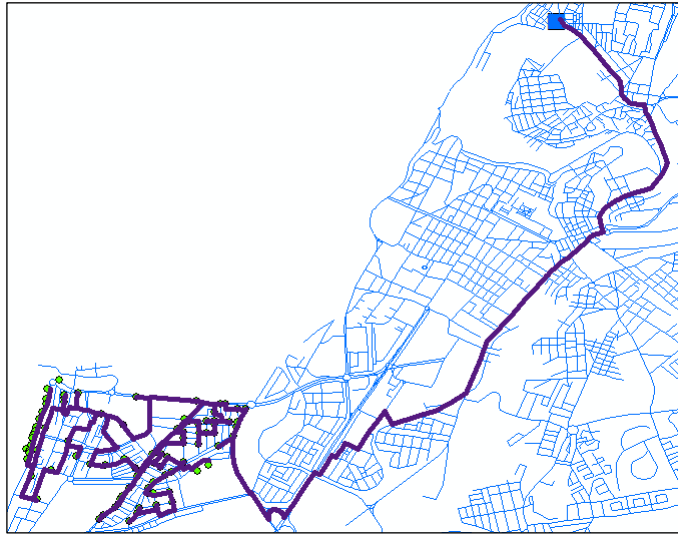


Secteur à temps optimisé

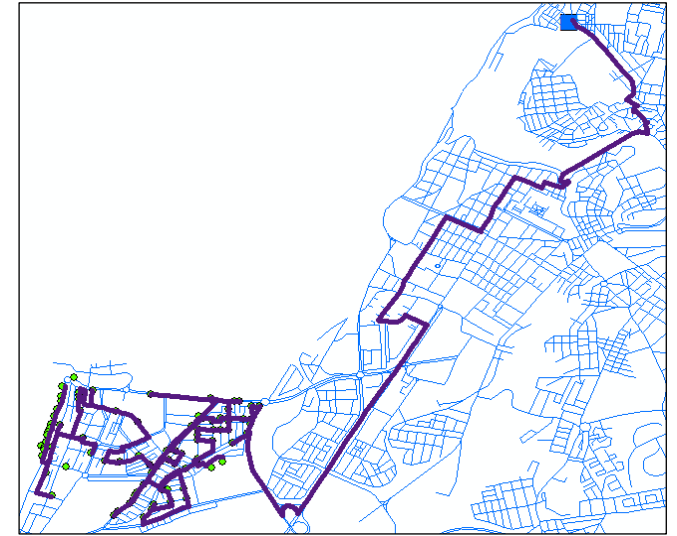
Secteur 13



Secteur actuel

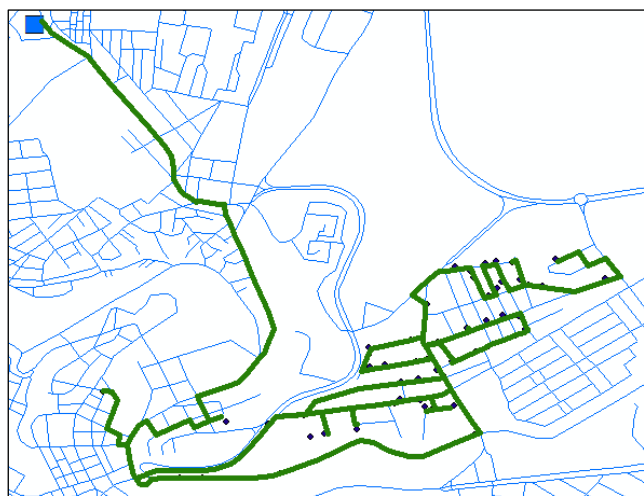


Secteur à distance optimisée

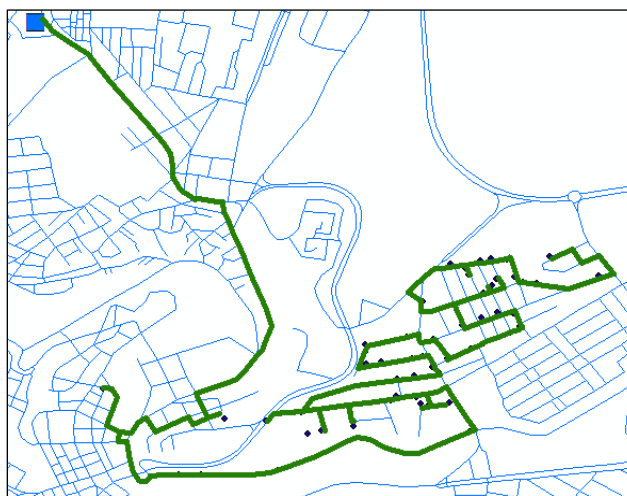


Secteur à temps optimisé

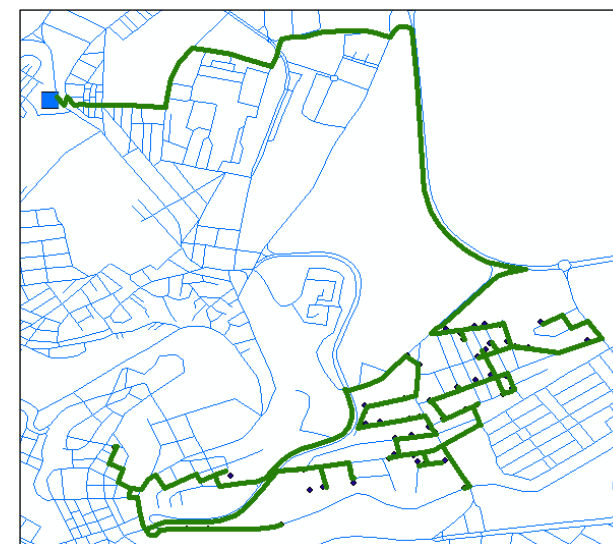
Secteur 14



Secteur actuel

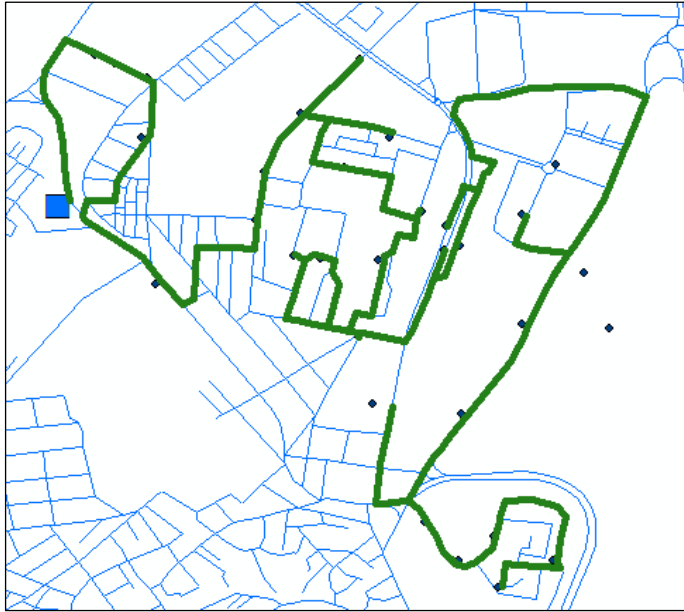


Secteur à distance optimisée

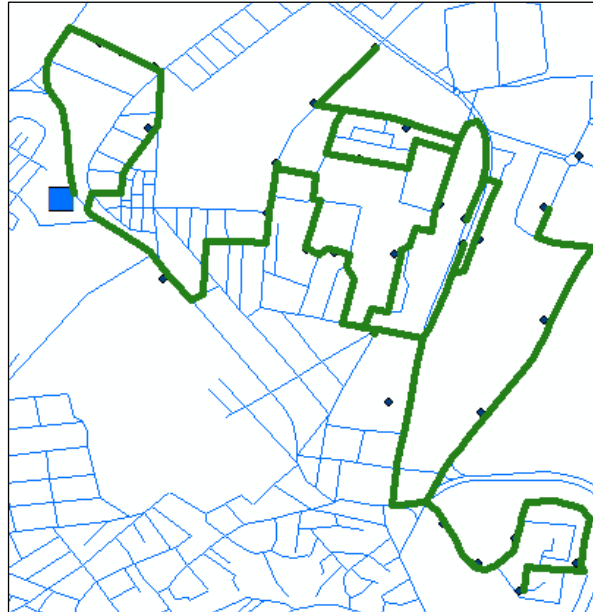


Secteur à temps optimisé

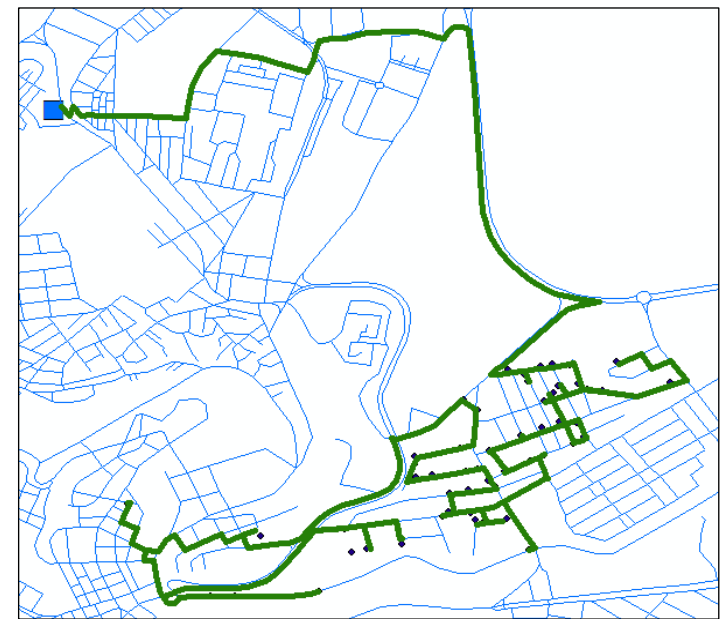
Secteur 16



Secteur actuel



Secteur à distance optimisée



Secteur à temps optimisé

Les nouveaux secteurs proposés

Légende

- Réseau routier
- Secteur_1
- Secteur_2
- Secteur_3
- Secteur_4
- Secteur_5
- Secteur_6
- Secteur_7
- Secteur_8
- Secteur_9
- Secteur_10
- Secteur_11
- Secteur_12
- Secteur_13
- Secteur_14
- Secteur_15
- Secteur_16



Légende

Opt_propo_24_sec

— <toutes les autres valeurs>

Name

— sec1

— sec2

— sec3

— sec4

— sec5

— sec7

— sec6

— sec8

— sec9

— sec10

— sec11

— sec12

— sec13

— sec14

— sec15

— sec16

— sec17

— sec18

— sec19

— sec20

— sec21

— sec22

— sec23

— sec 24

— Réseau routier

■ Depot

