



UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal



Centre d'Etudes Doctorales « Sciences et Techniques »
Formation doctorale : Ressources naturelles, santé et environnement

THÈSE

Présentée par

ELHAMDOUNI Driss

Pour l'obtention du grade de

Docteur

Spécialité : Géologie

Option : Géomatique et Environnement

**Contribution de la géomatique, de l'analyse multicritère (Fuzzy AHP)
et de la valorisation pour élaboration d'un système de gestion durable
des déchets solides. Cas de la province de Khénifra (Maroc).**

Soutenue publiquement le 24 / 07 / 2020 devant le jury composé de :

Président et Rapporteur	: Pr. Khalid HABBARI	Professeur, Faculté des Sciences et Techniques, Béni-Mellal
Rapporteur	: Pr. El Mostafa MILI	Professeur, Faculté des Sciences, Meknès
Rapporteur	: Pr. Mohamed EL BAGHDADI	Professeur, Faculté des Sciences et Techniques, Béni-Mellal
Examineur	: Pr. Abdelghani BOUDHAR	Professeur, Faculté des Sciences et Techniques, Béni-Mellal
Directeur de thèse	: Pr. Abdelkrim ARIOUA	Professeur, Faculté des Sciences et Techniques, Béni-Mellal
Co-directeur de thèse	: Dr. Baaddi ABA	Docteur, Province de Khénifra, Khénifra

Remerciement

Au terme de cette thèse, il m'est très agréable d'exprimer toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes très vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail de recherche. Il m'est très agréable de remercier un certain nombre de personnes.

Je tiens à remercier en tout premier lieu mon directeur de thèse le professeur ARIOUA Abdelkrim de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, pour son encadrement attentif et constructif durant toutes ces années de recherches effectuées au sein de l'Équipe de Gestion et Valorisation des Ressources en Eau et Télédétection. Disponible, rigoureux et confiant, ses qualités scientifiques et humaines ont été gage de succès à tous les niveaux. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude et de ma reconnaissance.

Mes remerciements vont conjointement à Mr ABA Baâddi, Docteur et Chef de service du patrimoine, planification et équipement au sein de la division des collectivités locales à la province de Khénifra pour ses aides dans la collecte des données et mener les enquêtes dans les communes, ainsi pour ses conseils pertinents et ses orientations scientifiques toujours dans le bon sens qui m'ont permis de mener à bien mon travail. Je lui exprime alors ma profonde reconnaissance.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur le Gouverneur et Monsieur le Secrétaire Général de la province de Khénifra pour tous les efforts qu'ils ont fournis pour m'aider lors de la réalisation de ce travail de recherche.

Je remercie aussi le président du groupement des communes territoriales AL ATLAS qui nous a assuré l'accès au centre d'enfouissement et de valorisation des déchets et les missions réalisées pour achever nos travaux de recherches.

Je tiens à exprimer mes chaleureux remerciements à Monsieur le Directeur Général de la société SEMGAT ainsi qu'à tous les cadres de la société, en particulier Monsieur ELHAJIM Moulay Rachid, ingénieur directeur d'exploitation du CEV et Monsieur BOUSSADRA Mohamed directeur du projet, pour leur disponibilité et pour leur soutien pendant les différentes missions de terrain réalisées dans la zone d'étude.

Mes vifs remerciements aussi à Monsieur ELBAGHADADI Mohamed, professeur chercheur au laboratoire Géo-ressources et Environnement et à Mr AALLAM Yassine, étudiant chercheur au laboratoire de biotechnologies et valorisation des ressources phylogénétiques qu'ils ont mis à notre disposition les laboratoires d'analyses et les produits chimiques nécessaires.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants et les administrateurs de la FST de Béni-Mellal qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Je voudrais exprimer également ma reconnaissance à mes collègues au laboratoire, le Docteur I. Karaoui et les doctorants : K. Ait Ouhamchich, FZ. Elfiraoui, H. Bouamri, H. Ouatiki, Y. Lebrini.

Je remercie vivement tous les membres de jury qui ont sacrifié de leur temps précieux pour évaluer, critiquer et corriger cette thèse.

Enfin, j'exprime toute mon affection et ma gratitude à ma famille (mes parents, ma femme, mes frères et ma sœur.....) pour leur patience et leur soutien indéfectible.

Pardon à toutes celles et tous ceux que j'ai oublié.

RESUME

Le présent travail de recherche est une contribution à l'aide à la prise de décision dans la gestion des déchets au sein de la province de Khénifra, qui fournit des données de références réelles sur cette gestion. Il est dans le but de proposer une filière de gestion durable et intégrée, qui respecte l'environnement et sera adaptée au contexte local en appliquant les nouvelles approches scientifiques.

La connaissance du gisement des déchets solides ménagers, dans son approche sociologique, quantitative et qualitative en termes de compositions étant la première étape dans la mise en œuvre d'un système efficace et intégré de gestion des déchets, une enquête sociale a été faite auprès de 447 ménages. Les résultats récoltés mettent en évidence l'existence de plusieurs défiances et contraintes dans le système actuel. Ils ont montré le comportement des citoyens vis-à-vis de leurs déchets. De même, le présent travail a consisté, d'abord, à procéder à une caractérisation des déchets solides en fonction du standing et de la saison. En conséquence, au cours des deux campagnes qu'on a réalisé, les déchets solides sont principalement composés de déchets fermentescibles 66-69%, le reste étant constitué de déchets d'emballage (papier, carton, verre, textile et plastique) et ainsi des combustibles non classés. Le pourcentage de verre varie de manière significative dans les deux périodes avec une différence entre le milieu rural et urbain.

La forte teneur en matière organique biodégradable avec un pouvoir calorifique inférieur (PCI) très faible de 389,94 kcal/kg et le taux important d'humidité (67,5 - 71,5%), ainsi que le pourcentage des combustibles (6 - 7%) sont un atout pour tout traitement des déchets de la province par compostage. Tandis que le verre, le papier, le plastique et les autres métaux devraient être éliminés au préalable par recyclage afin d'encourager l'économie circulaire.

L'évaluation de la qualité des composts produits en fonction des différents paramètres constitue l'étape suivante. Les résultats de cette étude, nous ont révélé que le taux de germination du maïs et du tournesol dans une concentration de 25% de compost est de 75-100%, ce qui montre que les composts obtenus sont bien matures et bien décomposés. Les rapports de C/N qui varient entre 13% et 15% vient renforcer le bon résultat. Les teneurs des métaux lourds sont relativement élevées mais restent dans les normes avec une prédominance du Zn (153-170 mg.kg⁻¹) et du Pb (26,48 mg.kg⁻¹). Les analyses microbiologiques, nous ont révélé la présence des bactéries du genre Coliformes Fécaux (*Escherichia* et *Streptocoques*) ainsi que les champignons du genre *Aspergillus*. Une telle utilisation en agriculture nécessite un prétraitement du compost envers de ces microorganismes.

Par la suite, nous avons décrit l'approche de sélection des sites qui devraient abriter le centre d'enfouissement et de valorisation (CEV) des déchets de la province en combinant des méthodes d'analyse spatiale et d'analyse décisionnelle multicritères. Les résultats obtenus, nous ont permis de sélectionner trois sites adéquats qui sont considérés comme les sites les plus favorables pour l'implantation du CEV dans la région de Khénifra.

En fin, un système de gestion convenable au contexte de la région a été suggéré dans une perspective du développement durable. Plusieurs schémas sont examinés et analysés en appliquant la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) qui consiste en une analyse multicritères des paramètres et des contraintes liés aux aspects financier, technique, environnemental et socio-institutionnel. Ainsi, cinq systèmes de gestion alternatifs ont été comparés et classés en fonction de leurs performances et de leur efficacité. Les résultats obtenus aideront certainement les décideurs à prendre une décision pour choisir le meilleur système de gestion en tenant compte les particularités de chaque région.

Mots clés : Province de Khénifra, Caractérisation des déchets solides, Compostage, Géomatique, Analyse multicritère (AHP).

ABSTRACT

This research work is a contribution to decision makers in waste management in Khenifra province, which provides real baseline data on waste management. It aims to provide a sustainable and integrated management approach that respects the environment taking into consideration local context. The knowledge of solid waste deposit, in sociological terms, in quantitative and qualitative approach and composition are the first step in effective and integrated waste management system implementation. A sociological survey was carried out among 447 households; the results highlight the existence of several trust works and constraints in the current system. They reveal citizens behavior towards their waste. Similarly, this work first proceeded to characterize solid waste seasonality and based on standing. As a result, during the two campaigns, solid waste is mainly composed of fermentable portion 66-69%, while packaging waste (paper, cardboard, glass, textile and plastic) and thus unclassified fuels constituting the rest of waste. The percentage of glass varies significantly in both periods with a difference between the rural and urban sectors. Considering the biodegradable organic matter content, high moisture content (67.5-71.5%), and fuels percentages (6-7%) are an advantage for composting with a very low PCI of 389.94 kcal / kg, while glass, paper, plastic and metals should be part of the recycling method to encourage the green or circular economy. The next step is to evaluate compost produced qualitatively according to physico-chemical, heavy metals, granulometry parameters ... These results revealed that corn and sunflower germination rate in 25% compost concentration is 75-100%, showing that the composts obtained are mature and well decomposed. C/N ratios vary between 13% and 15% confirming that compost is mature. The heavy metals concentrations are relatively high but remain within the standards in a predominance of Zn (153-170 mg.kg-1) and Pb (26.48 mg.kg-1). Microbiological analyses revealed the presence of bacteria of the fecal coliform genus (*Escherichia* and *Streptococci*) and fungi of the *Aspergillus* genus, requiring compost pre-treatment towards its microorganisms to use it in agriculture. Subsequently, we described the site selection approach for installing the province's landfill by combining spatial analysis and multi-criteria decision analysis methods. The obtained results allowed us to select three suitable sites for landfill implementation in Khenifra region. Finally, a management system appropriate into the region context was suggested from a sustainable development perspective. Several schemas are examined and analyzed using the AHP (Analytical Hierarchy Process) using parameters and constraints related to financial, technical, environmental and socio-institutional aspects. Thus, 5 alternative management systems were compared and ranked according to their performances and efficiency. The results obtained will certainly aid decision-makers in choosing the best management system that is taking into account each region specifications.

Keywords: Khenifra province, Solid waste characterization, Composting recovery, Geomatics, Multi-criteria analysis (AHP).

ملخص

يمثل العمل الحالي البحثي للدكتوراه مساهمة في دعم اتخاذ القرار في مجال تدبير النفايات بإقليم خنيفرة والذي يوفر بيانات أساسية و حقيقية عن التدبير المذكور من أجل اقتراح نظام تسيير مندمج ومستدام يحترم البيئة و يراعي خصوصيات المنطقة.

معرفة السياق الاجتماعي والنوعي للنفايات المنزلية الصلبة من الخطوات الأولى التي يجب الاطلاع عليها لتسيير مرفق تدبير قطاع إدارة النفايات بشكل جيد ، لذلك تم إجراء بحث ميداني على 447 أسرة. تم من خلاله التعرف على سلوك السكان تجاه نفاياتهم و كذلك ابراز مكامن الخلل في النظام الحالي. بعد ذلك، قمنا بتوصيف شامل للنفايات المنزلية الصلبة وذلك خلال فترتين من نفس السنة (الباردة و الحارة). وقد اسفر هذا التوصيف على ما يلي : النفايات المنزلية تتكون اساسا من نفايات عضوية تتراوح بين 66 و 69 ٪ ، والباقي عبارة عن نفايات التغليف (الورق والكرتون والزجاج والمنسوجات والبلاستيك). كما وجدنا ان نسبة الزجاج تسجل اختلافاً ملحوظا بين المناطق القروية والحضرية و خلال الفترتين الباردة و الحارة.

و نظراً لمحتوى المادة العضوية العالي القابل للتحلل، و معدل الوقود المنخفض (6-7٪) و محتوى الرطوبة المرتفع (67-71.5٪)، فان التسميد يعد الطريقة المثلى للمعالجة و تمييز نفايات اقليم خنيفرة. بينما يكون الزجاج والورق والبلاستيك جزءاً من طريقة إعادة التدوير مما يساعد على تشجيع الاقتصاد الاخضر (الاقتصاد الدائري).

الخطوة التالية هي تقييم جودة السباد العضوي المنتج وفقاً للمعايير المدروسة المختلفة. حيث كشفت نتائج هذه الدراسة أن معدلات إنبات الذرة وعباد الشمس تتراوح بين 75-100 ٪ وذلك باستعمال 25% من السباد. هذه النتائج بينت بشكل واضح أن السباد المحصل عليه ناضج ومتحلل بشكل جيد و تؤيد هذه النتيجة نسب C / N التي تتراوح بين 13 ٪ و 15 ٪. كما يمثل متوسط محتويات السباد من المادة العضوية حوالي 19-20 ٪ ، من الكربون 12 ٪ ، من الازوت 0.77 ٪ ، مع الاحترام التام للمعايير الدولية. تُظهر نتائج المعادن الثقيلة أيضاً قيماً مرتفعة نسبياً ولكنها تظل تحترم المعايير المحددة. بالمقابل كشفت التحاليل الميكروبيولوجية عن وجود بكتيريا القولون البرازية (*Escherichia* و *streptocoque*) والفطريات من جنس *Aspergillus*. من خلال هذه النتائج يتبين على ان استعمال السباد العضوي في الزراعة يتطلب المعالجة تجاه هذه الكائنات الحية الدقيقة.

بعد ذلك، و في نفس السياق قمنا بوضع نموذج لاختيار الموقع الذي سيضم مركز الطمر والتمين. للقيام بهذه العملية تم الجمع بين طرق التحليل المكاني وطرق تحليل القرار متعدد المعايير. حيث سمحت لنا النتائج التي تم الحصول عليها باختيار ثلاثة مواقع مناسبة تعتبر أكثر المواقع ملائمة لموقع النفايات في منطقة خنيفرة. وفي النهاية ، تم اقتراح نظام إدارة مناسب لسياق المنطقة يندرج ضمن سياسة التنمية المستدامة. حيث تم فحص العديد من المخططات وتحليلها باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) التي تتألف من تحليل متعدد المعايير المتعلقة بالجوانب المالية والتقنية والبيئية والاجتماعية. ومنه، تمت مقارنة 5 أنظمة بديلة حيث تم تصنيفها وفقاً لأدائها وكفاءتها.

من المؤكد أن النتائج التي تم الحصول عليها ستساعد صناع القرار على اتخاذ قرار أفضل بشأن نظام تدبير النفايات يأخذ بعين الاعتبار خصوصيات المنطقة والمعايير الدولية في نفس الوقت.

الكلمات المفتاحية: اقليم خنيفرة ، توصيف النفايات الصلبة ، التمييز بواسطة التسميد ، الجيوماتيكا ، التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) .

ABREVIATIONS

ABHOER	Agence de bassin hydraulique de l'Oued Oum Er-Rbia
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AHP	Procédure Analytique d'Hierarchie
AFNOR	Association Française de Normalisation
AMC	Analyse Multicritère
AMCD	Analyse Multicritère à la Décision
CEV	Centre d'Enfouissement et de Valorisation
CSD	Centre de Stockage des Déchets
CT	Centre de transfert
DBO	demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DM	Déchets ménagers
DSM	Déchets Solides Ménagers
FAO	Food and Agriculture Organization
GES	Gaz à Effet de Serre
MTB	traitement mécanique-biologique
MODECOM	Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères
NASA	National Aeronotic And Space Administration
DPA	Délégation Provinciale de l'Agriculture
ONEE	Office National de l'électricité et de l'Eau potable
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PED	Pays En Développement
PERG	Programme d'Electrification Rurale Global
PNDM	Programme National des Déchets Ménagers
RGPH	Recensement Générale de la population et d'Habitat
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SVM	Support Vector Machin
UE	Union Européen
UFC	Unité Formant Colonie
PIB	Produit Intérieur Brut

PUBLICATIONS

Articles dans des revues indexées et avec comité de lecture :

- **Elhamdouni D.**, Arioua. A., Karaoui. I., Aba. B., Ait Ouhamchich K., 2019. *Household Solid Waste sustainable management in the Khenifra region-Morocco*. Arabian Journal of Geosciences, Arabian Journal of Geosciences, 12(23), 744-752.
- **Elhamdouni D.**, Arioua A., Aba B., Karaoui I., Ait Ouhamchich K., 2018. *Sustainable Management of Household Garbage- Status of Citizens behavior and participation. A Case study of Khenifra region (Morocco)*, European Scientific Journal, 14 (20), 61-78.
- **Elhamdouni D.**, Arioua A., ELHmaidi A., Aba B., Mansour D., Karaoui I., K. Ait Ouhamchich, 2017. *Geomatics tools and AHP method use for a suitable communal landfill site. Case study of Khenifra region – Morocco*’. Journal of Materials and Environmental Sciences (JMES), 8, 3612-3624.
- Ait Ouhamchich K., Karaoui I., Arioua A., **Elhamdouni D.**, Kasmi A., 2018. *Climate chane Trend Observations in Morocco: Case of study Beni Mellal-Khenifra and Deraa-Tafilalt regions*’, Journal of Geoscience and Environment Protection, 6 (7).
- Ait Ouhamchich K., Arioua A., Karaoui I., **Elhamdouni D.**, 2018. *Performances Assessment of Wastewater Treatment Plant in Boujaâd City, Khouribga Province, Morocco*’, European Scientific Journal, 14 (27) 193- 204.
- Karaoui I., Arioua A., El Amrani Idrissi A., Hssaisoune M., **Elhamdouni D.**, Ait Ouhamchich K., 2018 : *Assessing land use /cover variation effects on flood intensity via hydraulic simulations*. Journal of Geology, Ecology, and Landscapes, 10.1080.
- Karaoui I., Arioua A., El Amrani Idrissi A., Nouaim W., **Elhamdouni D.**, Ait Ouhamchich K., Hssaisoune M., Hnini R., 2017. *Evaluation of the River -Shallow Aquifer Exchange Process Effect on Surface Water Quality Deterioration—Case Study of Oued El Abid River Downstream Course, Morocco*. Journal of Geoscience and Environment Protection, 5, 123.

Communications présentées dans des colloques internationaux :

- Participation à la deuxième école de printemps sur « Télédétection et Techniques Spatiales (ETTS) », organisée à la Faculté Polydisciplinaire de Béni Mellal (Maroc), du 13 au 15 Juin 2019, par *une conférence plénière* sous le thème: ***Apport de la géomatiques et analyse multicritère dans le choix des sites des décharges contrôlées.***
- Participation à la deuxième édition du congrès international de la géomatique « ISEE Geomatics », Organisé à Monastir (Tunisie) du 25-27 Mars 2019, par *une conférence plénière*: ***Gematics tools and AHP method use for a suitable communal landfill Site : Case study of Khenifra region-Morocco.***
- Participation à la 5^{ème} édition des journées Internationales « Matériaux et Environnement », Organisées à la faculté des Sciences, université Ibn Zohr Agadir les 14 et 15 Mars 2019, Par une *communication Orale* sous le titre: ***Caractérisation et Valorisation de Déchets Ménagers et Assimilées : Cas de la province de Khénifra, Maroc.***
- Participation à la 4^{ème} édition du colloque International des Utilisateurs des SIG « SIG au service du développement Territorial », organisé à la faculté des sciences, université Moulay Ismail les 20 et 21 Décembre 2018, par *une communication Orale* : ***SIG et Analyse Multicritère au service de la gestion des déchets solides. Cas de la province de Khénifra – Maroc.***
- Participation à la deuxième édition des Journées Internationales Géologiques du Maroc, organisé à Rabat 8 et 9 Mai 2018, au siège du Ministère de l'énergie, des Mines et du développement durable, par *une communication Orale* sous le titre : ***Outils géomatiques et analyse multicritère (AHP) dans la sélection d'un site provincial convenable pour une décharge contrôlée. Cas de la province de KHENIFRA.***
- Participation à la 3^{ème} édition du Colloque International « Prévention de la pollution et gestion durable des rejets solides et liquides », organisé à la faculté des Sciences de Fès le 05 Novembre 2016, par une *communication affichée* sous le titre : ***Apport de la géomatique appliquée à l'environnement dans la sélection d'un site provincial convenable pour une décharge contrôlée. Cas de la province de KHENIFRA.***

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUES	1
1. Objectif de l'étude	2
2. Justification du choix du sujet et de la province de Khénifra	3
3. Méthodologie et démarche à suivre	3
4. Organisation du manuscrit.....	3
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART	5
CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE DES DECHETS SOLIDES A L'ECHELLE INTERNATIONALE.....	6
I. INTRODUCTION.....	6
II. CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS.....	6
1. Caractérisation physique	6
2. Caractérisation chimique.....	8
III. TRAITEMENT DES DECHETS	9
1. Techniques utilisées	9
2. Comparaison entre les différents modes de traitements des déchets	12
IV. APERÇU ÉCONOMIQUE	13
CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LE SECTEUR DES DECHETS AU MAROC	15
I. INTRODUCTION.....	15
II. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DES DECHETS AU MAROC.....	15
1. Définition et type de déchets.....	15
2. Chaînes verticale et horizontale des déchets	18
3. Réglementation du secteur des déchets au Maroc.....	20
III. CONCLUSION	22
CHAPITRE 3 : INTEGRATION DE LA GEOMATIQUE ET DES METHODES D'ANALYSE MULTICRITERE (AMC) DANS LES PROBLEMES DE PRISE DES DECISIONS.....	23
I. INTRODUCTION.....	23
II. INTRODUCTION A L'AIDE A LA DECISION	23
III. AHP ET GESTION ENVIRONNEMENTALE	27
IV. COUPLAGE DES OUTILS GEOMATIQUES ET AMC POUR LE CHOIX DES SITES DES DECHARGES	27
PARTIE II :PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, METHODOLOGIE ET TECHNIQUES UTILISEES	29
CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE.....	30
I. INTRODUCTION.....	30

II.	CADRE PHYSIQUE.....	30
1.	Situation géographique et découpage administratif de la province	30
2.	Topographie et géomorphologie.....	31
3.	Contexte géologique et pédologique	32
4.	Contexte hydrologique	34
5.	Contexte hydrogéologique.....	35
6.	Occupation du sol	36
7.	Contexte climatique	36
III.	CADRE SOCIO-ECONOMIQUE	40
1.	Evolution démographique	40
2.	Secteur agricole.....	42
3.	Milieu forestier.....	42
4.	Secteur du tourisme	43
5.	Artisanat.....	44
6.	Industrie et commerce	44
7.	Infrastructures et équipements	44
IV.	PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DES DECHETS AU NIVEAU DE LA PROVINCE DE KHENIFRA.....	46
1.	Problèmes liés à la collecte	47
2.	Problèmes liés aux décharges	47
V.	CONCLUSION.....	48
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE SUIVIE ET TECHNIQUES D'ANALYSES UTILISEES		49
I.	INTRODUCTION.....	49
II.	ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	51
1.	Conservation et préparation des échantillons	51
2.	Mesure de l'humidité	51
3.	Mesure de la matière organique (MO).....	51
4.	Mesure du pH eau des déchets solides et du Compost.....	51
5.	Mesure du carbone organique (CO) et l'azote Total Kjeldhal (NTK).	51
6.	Analyse des métaux lourds (ML)	52
7.	Détermination du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI)	52
III.	CARACTERISATION DES DECHETS SOLIDES	53
1.	Enquêtes auprès des ménages.....	53
2.	Méthode de caractérisation des déchets solides.....	54

IV.	ELABORATION DES ESSAIS DE COMPOSTAGE.....	55
1.	Compagne de compostage	55
2.	Echantillonnage.....	56
3.	Analyses microbiologiques.....	56
4.	Tests de phyto-toxicité	56
V.	COMBINAISON DE LA GEOMATIQUE ET DE LA METHODE (FUZZY AHP) POUR LA SELECTION DES SITES DES DECHARGES	57
1.	Introduction	57
2.	Inventaire des activités dans la zone d'étude	57
3.	Délimitation de la zone d'étude	57
4.	Délimitation des surfaces libres	57
5.	Données Utilisées	59
6.	Approche adoptée	60
7.	Outils et Matériels utilisés	67
VI.	APPORT DE LA TELEDETECTION POUR L'ETUDE DE L'EXTENSION URBAINE .	69
1.	Introduction	69
2.	Données utilisées	70
3.	Méthodologie et Démarche suivie	70
VII.	APPORT DES METHODES DE L'ANALYSE MULTICRITERE POUR LA GESTION DES DECHETS SOLIDES.	71
1.	Choix d'une méthode d'aide à la décision multicritères (ADMC)	71
2.	Application de la méthode AHP pour le choix du système de gestion des déchets.....	72
3.	Méthodologie et démarches adoptées	72
VIII.	CONCLUSION	79
	PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	80
	CHAPITRE 1 : CARACTERISATION DES DECHETS SOLIDES DE LA PROVINCE DE KHENIFRA.....	81
I.	DIAGNOSTIC DE L'ETAT DU LIEU.....	81
1.	Scénario adopté par la zone d'étude.....	81
2.	Mise en décharge	82
3.	Moyens humains de la province de Khénifra.....	82
4.	Equipement de la zone d'étude	83
5.	Contraintes de gestion des déchets dans la zone d'étude	83
6.	Suivi et surveillance	84
II.	RESULTATS DE L'ENQUETE AUPRES DES MENAGES	85

1.	Taille des ménages	85
2.	Implication des citoyens dans la gestion des déchets	85
III.	RESULTATS DE LA CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS	92
1.	Ratio journalier.....	92
2.	Caractérisation par catégorie et par taille	93
3.	Caractérisation physico-chimique	98
IV.	VARIATION DU TONNAGE DES DECHETS SOLIDES DANS LA PROVINCE DE KHENIFRA.....	101
1.	Variation du tonnage annuel et mensuel des déchets dans la province de Khénifra	101
2.	Génération des composants des déchets solides et évaluation de leurs coûts.....	103
V.	EVOLUTION QUANTITATIVE DES DECHETS SOLIDES ET PROJECTION EN 2044 .	104
VI.	SYNTHESE ET CONCLUSION.....	104
CHAPITRE 2 : ÉVALUATION DE LA QUALITE DES COMPOSTS EXTRAITS DES DECHETS SOLIDES		106
I.	INTRODUCTION.....	106
II.	ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	106
III.	ANALYSE MICROBIOLOGIQUE.....	108
IV.	TEST DE GERMINATION OU TEST DE PHYTOTOXICITE.....	108
1.	Premier test de phyto-toxicité	108
2.	Deuxième test de phyt-otoxicité	109
V.	CONCLUSION	110
CHAPITRE 3 : COMBINAISON DE LA GEOMATIQUE ET DE LA METHODE AHP POUR LA SELECTION D'UN SITE D'UNE DECHARGE CONTROLEE		111
I.	SYNTHESE DE JUSTIFICATION DU CHOIX DE SITE DE LA DECHARGE.....	111
1.	Apport de la télédétection dans l'étude de l'extension urbaine de la ville de Khénifra et leur impact sur le site du CEV.	111
2.	Contraintes liées aux ressources en eau souterraine.....	113
3.	Autres contraintes	114
II.	CARTOGRAPHIE DES CONTRAINTES	114
1.	Zone de prospection.....	114
2.	Contraintes socio-économiques.....	115
3.	Contraintes relatives à l'Occupation du sol	116
4.	Contraintes Géo-Environnementales	117
5.	Agrégation des critères d'exclusion.....	119
III.	CRITERES D'EVALUATION OU D'APPRECIATION	120

1. Pondération des critères d'appréciation	121
2. Agrégation totale.....	122
IV. CONCLUSION	125
CHAPITRE 4 : CONTRIBUTION DE L'ANALYSE MULTICRITERE (AHP) A LA GESTION DES DECHETS SOLIDES.....	126
I. INTRODUCTION.....	126
II. ETABLISSEMENT DU TABLEAU DE COMPARAISON COMPLETE.	126
1. Comparaison complète des critères.....	126
2. Comparaison complète des sous critères	126
3. Comparaison complète des alternatives proposées	128
III. AGREGATION PRIMAIRE	128
IV. CALCUL DE L'AGREGATION FINALE	130
V. DECISION FINALE	132
VI. SYNTHESE ET CONCLUSION	132
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	134
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	138

Liste des figures

Figure 1: Composition des déchets ménagers au Maroc (GIZ, 2014)	17
Figure 2: Répartition de la production des déchets en tonne/an dans quelques régions du Maroc. ..	18
Figure 3: Framework de l'analyse multicritère.....	25
Figure 4: Situation géographique de la province de Khénifra	30
Figure 5: Découpage communal de la province de Khénifra.....	31
Figure 6: Répartition des altitudes dans la province de Khénifra.....	32
Figure 7: Carte géologique de la province de Khénifra (Carte géologique Rabat, 1976, 1/500000)	33
Figure 8: Réseau hydrographique de la zone d'étude	34
Figure 9: Carte piézométrique (Mai, 2016)	35
Figure 10: Carte d'occupation du sol de la zone d'étude (2016).....	36
Figure 11: Précipitations annuelles moyennes dans la province de Khénifra (2004-2016)	37
Figure 12: Variation des précipitations annuelles dans la station de Taghat (1990-2018).....	37
Figure 13: Précipitations moyennes mensuelles dans la station de Taghat (1990-2018)	38
Figure 14: Variation annuelle de la température moyenne entre 1990 et 2012 (station Taghat)	39
Figure 15: Diagramme Ombrothermique de la station Taghat	39
Figure 16: Variation d'évaporation mensuelle dans la station Taghat pendant la période (1990-2012)	40
Figure 17: Direction du vent dans la zone d'étude	40
Figure 18: Sites touristiques dans la province de Khénifra	43
Figure 19: Carte du réseau routier de la province de Khénifra	45
Figure 20 : Situation critique dans certaines décharges publiques de la région	47
Figure 21: Décharges de la commune de Khénifra	48
Figure 22: Décharge d'Aguelmous.....	48
Figure 23: Organigramme de la méthodologie de thèse suivie	50
Figure 24: Opération de tri sur le site (a), Schéma de la classification par taille (b)	55
Figure 25: Méthodologie adoptée pour la caractérisation des déchets ménagers de la zone d'étude	55
Figure 26: Méthodologie suivie pour le choix du site	61
Figure 27: Critères d'exclusion des sites	62
Figure 28: Etapes d'application de la méthode AHP pour le choix du site convenable.....	63
Figure 29: Hiérarchie des facteurs d'appréciation	63
Figure 30: Modèle des surfaces libres.	67
Figure 31: Modèle des critères d'évaluation.....	68
Figure 32: Interface de l'application Excel	69
Figure 33: Organigramme de la méthodologie adoptée.....	70
Figure 34: Etapes d'application de la méthode AHP pour la sélection du système de gestion	73
Figure 35: Représentation schématique du système 2.....	74
Figure 36: Représentation schématique du système 3.....	75
Figure 37: Représentation schématique du système 4.....	75
Figure 38: Représentation schématique du système 5.....	76
Figure 39: Représentation graphique complète de l'arbre montrant la hiérarchisation des critères et ces sous-critères adoptés.....	77
Figure 40: Géolocalisation des lieux de déversement des déchets dans la province de Khénifra	82
Figure 41: Membres de famille qui s'occupent de la gestion des déchets	86

Figure 42: Horaires de sortie des poubelles dans la province de Khénifra	87
Figure 43: Fréquence de sortie des poubelles dans la province de Khénifra.....	87
Figure 44: Déclaration des problèmes par les habitants	88
Figure 45: Classification des problèmes.....	88
Figure 46: Lieu de déversement des déchets.....	89
Figure 47: Appréciation des habitants vis-à-vis de la gestion actuelle des déchets.....	89
Figure 48: Habitants de la province de Khénifra qui savent le sort des déchets	90
Figure 49: Ménages qui ont une idée sur le tri à la source dans la province de Khénifra	91
Figure 50: Ménages ayant accepté d'exercer le tri à la source dans la province de Khénifra	91
Figure 51: Ménages de la province qui sont prêts à payer la taxation supplémentaire.....	92
Figure 52: Composition globale (%) des déchets solides ménagers de la province de Khénifra	94
Figure 53: Répartition granulométrique des déchets de la province de khénifra par milieu	95
Figure 54: Variation du tonnage mensuel des déchets ménagers en 2017, 2018 et 2019.....	102
Figure 55: Variation du tonnage annuel des déchets dans le secteur urbain et rural de la province .	102
Figure 56: Variation des tonnages des fractions des déchets ménagers selon le mode de gestion durant les trois années (2017, 2018 et 2019)	103
Figure 57: Evolution de l'extension urbaine de la ville de Khénifra entre 1991 et 2017.	112
Figure 58: Situation du site du CEV et son périmètre d'étude	113
Figure 59: Extrait de la Carte piézométrique du site CEV	113
Figure 60: Zone de prospection	115
Figure 61: Cartographie des zones favorables pour la contrainte socio-économique.	116
Figure 62: Cartographie des zones favorables pour les critères d'occupation du sol.	117
Figure 63: Carte d'exclusion des pentes	118
Figure 64: Carte d'exclusion des failles.....	118
Figure 65: Cartographie des zones favorables pour le thème Eau.	119
Figure 66: Carte totale des contraintes	120
Figure 67 : Situation des surfaces libres.....	123
Figure 68 : Situation des surfaces libres les plus favorables selon le deuxième scenario	124
Figure 69: Localisation des sites sélectionnés sur la carte géologique de la région.....	125

Liste des tableaux

Tableau 1: Variation de la composition qualitative des déchets solides ménagers (en %)	8
Tableau 2: Caractéristiques élémentaires types des déchets solides ménagers.	9
Tableau 3: Rapport C/N recommandé pour le compostage des déchets	11
Tableau 4: Teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le compost par pays	12
Tableau 5: Avantages et inconvénients des différents modes de traitements des déchets.....	13
Tableau 6: Type de Déchets	16
Tableau 7: Taux d'accroissement et projection de la population de la province de Khénifra	41
Tableau 8: Types des forêts dans la province et leurs superficies	42
Tableau 9: Modèles empiriques pour déterminer le PCI des déchets (kcal/kg en masse sèche)	52
Tableau 10: Critères de choix et leurs rayons de sécurité.	58
Tableau 11: Données utilisées pour le choix du site.....	60
Tableau 12: Echelles pour la comparaison par paires	64
Tableau 13: Matrice de comparaison par paire du thème occupation du sol.	64
Tableau 14: Matrice de comparaison par paire du thème Socio-économique.....	64
Tableau 15: Matrice de comparaison par paire du thème hydrologique	65
Tableau 16: Matrice de comparaison par paire du thème Géologique.....	65
Tableau 17: Calcul de la somme des notes pour chaque colonne	65
Tableau 18: Poids des sous critères relatifs au thème "Occupation du sol".	65
Tableau 19: Cohérence aléatoire.....	66
Tableau 20: Outils utilisés dans la construction du modèle des surfaces libres.	67
Tableau 21: Outils utilisés dans la construction du modèle standardisation et de pondération.....	68
Tableau 22: Images utilisées	70
Tableau 23: Données de l'analyse quantitative	71
Tableau 24: Comparaison des critères.....	78
Tableau 25: Comparaison des sous critères sociaux (S) Tableau 26: comparaison des sous critères environnementaux (E)	78
Tableau 27: comparaison des sous critères techniques (T) Tableau 28: Comparaison des sous critères financiers (F)	78
Tableau 29: Comparaison des systèmes	78
Tableau 30: Récapitulatif du matériel de la gestion des déchets dans la province.....	83
Tableau 31: Tailles des ménages	85
Tableau 32: Ratios de production des déchets par secteur dans la province de Khénifra (2018)	93
Tableau 33: Composition (%) par catégorie des déchets solides ménagers (Saison humide)	95
Tableau 34: Composition (%) par catégorie des déchets solides ménagers (Saison sèche)	96
Tableau 35 : Mesure de l'humidité (%).....	98
Tableau 36: Masse volumique (MV%)	99
Tableau 37: Matière organique (%).....	99
Tableau 38: Pouvoir calorifique inferieur (PCI)	100
Tableau 39: Analyse des paramètres chimiques des déchets bruts	101
Tableau 40: Projection de la population et la quantité des déchets produite dans la province de Khénifra.....	104

Tableau 41: Paramètres physico-chimiques des composts des déchets de la province de Khénifra..	106
Tableau 42: Taux des métaux lourds présents dans les composts produits	107
Tableau 43: Micro-organismes présents dans les composts produits.....	108
Tableau 44: Taux de germination du premier test des deux plantes	108
Tableau 45: Longueur des racines des deux plantes cultivées.....	109
Tableau 46 : Longueur des tiges des deux plantes cultivées.....	109
Tableau 47: Taux germination des plantes dans les composts des déchets de la province	109
Tableau 48: Croissance de la zone urbaine de la ville de Khénifra entre 1991 et 2017 en chiffre.....	112
Tableau 49: Classe de la contrainte totale	120
Tableau 50: Poids des sous critères	121
Tableau 51: Scénario 1 d’appréciation.....	%122
Tableau 52: Scénario 2 d’appréciation.....	122
Tableau 53 : Comparaison quantitative entre les deux scénarios.....	123
Tableau 55: Matrice de jugement des critères : Priorité complète	126
Tableau 56: Matrice de jugement des sous critères sociaux: priorité complète	127
Tableau 57: Matrice de jugement des sous critères environnementaux : priorité complète	127
Tableau 58: Matrice de jugement des sous critères financiers : Priorité complète	127
Tableau 60: Matrice des jugements des alternatives « priorité complète »	128
Tableau 61: Poids des critères et sous critères	Tableau 62: Performance de la valeur relative
	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 63: Intégration des poids des alternatives en ligne par ligne	131
Tableau 64 : Présentation du Résultat du traitement	131
Tableau 65 : Résultat du classement complet des modèles de gestion appropriés des déchets	132

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUES

De ce jour, la croissance démographique et le changement des modes de production et de consommation entraînent une production de plus en plus importante de déchets de nature très variée tels que les déchets ménagers, des unités industrielles et commerciales, du bâtiment, des services de nettoyage, des espaces verts, de l'agriculture, etc.

En outre, la gestion durable des déchets en général et celle des déchets solides en particulier est l'un des défis majeurs auxquels l'humanité doit faire face aujourd'hui et à l'avenir. Avec la croissance démographique accélérée des zones urbaines, de l'inexistence d'une politique adéquate de gestion des déchets solides et de l'insuffisance des infrastructures appropriées, le problème des déchets, bien qu'universel, ne revêt pas la même acuité dans toutes les régions du globe et génère des risques énormes pour la santé de l'environnement et la santé des populations (Strunk, 1979 ; Van der Geer, 2000 et Mettam, 1999).

Pour la très grande majorité des collectivités territoriales marocaines, la gestion de ces déchets reste une problématique car la croissance urbaine s'est réalisée à une vitesse telle qu'elle a souvent dépassé la capacité des communes à assumer cette situation, et le développement socio-économique du pays ne s'est pas accompagné de mesures de protection de l'environnement, notamment en ce qui concerne le secteur de gestion des déchets solides. Les pressions sur l'environnement comme sur la qualité du cadre de vie des populations et les conditions sanitaires deviennent de plus en plus alarmantes.

Le Maroc génère des quantités croissantes de déchets. Il produit annuellement 6 millions de tonnes de déchets solides dont 70% de ces déchets sont concentrés dans les zones urbaines (Elkadi et al., 2016). Ces quantités ont engendré une multiplication des décharges spontanées qui sont presque arrivées à saturation. La gestion des ordures ménagères telle que menée actuellement, est défavorable au développement socio-économique du Maroc. Elle présente encore des lacunes et reste très problématique pour la très grande majorité des collectivités marocaines (Saoudi et Chrifi, 2007). Pour cela, les décideurs concernés ont pris conscience de l'importance de mener des études spécifiques concernant les décharges. Dans ce sens, plusieurs sites de décharges ont fait l'objet d'étude d'impact environnemental, d'autres ont été l'objet de demande de transfert par des experts et organisations environnementales à cause de leur emplacement (Mansour, 2015).

La province de Khénifra, à l'instar des autres territoires du Maroc, est également confrontée à ces défis. Plusieurs techniques et méthodes sont utilisées dans la gestion des déchets solides telles que la collecte, le transport, le recyclage, le compostage, le traitement physique et la mise en décharge (Kontos et al., 2005). Cette dernière, utilisée depuis de nombreuses années, est la méthode la plus courante pour l'élimination des déchets solides produits par les différentes communautés. La littérature répertorie plusieurs procédés de traitement des déchets que nous pouvons répartir en deux techniques de traitement

(Crowe et al., 2002): la mise en décharge, la valorisation de la matière, y compris la valorisation agronomique et la valorisation énergétique (Charnay, 2005).

La mise en place d'une gestion durable des déchets solides intégrant toute la chaîne depuis la collecte jusqu'à la mise en décharge, nécessite le choix d'un bon scénario de collecte, de transport et de la mise en décharge (choix de la bonne filière de valorisation) et le choix du site pour l'instaurer.

Ceci doit être initié par une bonne compréhension des propriétés des déchets et des conditions de leur gestion ainsi que par le fait de savoir le comportement des citoyens vis-à-vis de leurs déchets. De cela, la caractérisation des déchets est une nécessité. Par conséquent, il y a une abondance d'études et stratégies de gestion des déchets, mais il n'y a pas de méthode consensuelle pour la caractérisation des déchets (MODECOM, 1993 ; Aloumine, 2006 ; Aina, 2006 ; Elkadi et al., 2016 ; Mechadi, 2017 ; Oueguman et al., 2017). Cette étude sera la plateforme d'une approche de base qui va nous aider à extraire une description de la quantité et la qualité des déchets et évaluer la masse de déchets générés et de suivre son évolution en vue de planifier, de définir les stratégies futures en matière de gestion et de traitement et d'évaluer le potentiel de valorisation (compostage, recyclage des métaux et du carton, etc.) afin de suggérer le bon modèle de gestion durable.

D'autre part, dans la littérature scientifique, les Système d'Information Géographique (SIG) combinés aux méthodes d'analyse multicritère (AMC) ont été largement utilisés par de nombreux chercheurs et dans différents pays pour la sélection des sites et des modèles de gestion des déchets (Mansour, 2015 ; El Morjani, 2002 ; Mekkan et al., 2013). L'analyse multicritère est une méthode couramment utilisée pour l'aide à la prise de décision (Malczewski, 2006), voire considérée la méthode la plus importante dans ce domaine (Jiang et Eastman 2000 ; Paegelow et Camacho, 2005). Toutefois, la Procédure Analytique d'Hiérarchie (AHP) est beaucoup plus utilisée dans la pondération des critères et dans l'évaluation multicritères (Chakhar et Mousseau, 2007 ; Scener, 2010 ; Mansour, 2014) relevant de la hiérarchisation des critères, de la pondération par comparaison par paire des facteurs (Saaty, 1980), de la standardisation des critères selon la logique floue. Ce qui a nourri la combinaison linéaire pondérée (Malczewski, 2006).

En outre, les méthodes d'analyses multicritères ont été adoptées aussi dans la mise en place d'un meilleur schéma pour la bonne gestion des déchets solides dans plusieurs territoires du Maroc (Mekkan et al., 2013 ; Najih, 2015). A cet effet, les méthodes d'analyses multicritères ont un rôle incontournable dans la prise des décisions pour faire face aux problèmes liés à la gestion des déchets.

1. Objectif de l'étude

Au Maroc, en raison de l'absence de données d'une part et le besoin d'une gestion des déchets solides d'autre part, et en tenant compte des propriétés du contexte local, la présente étude vise à proposer une stratégie efficace pour une gestion durable et intégrée des déchets de la province de Khénifra afin de

contribuer à la réduction des flux des ordures ménagères. Cet objectif général se devise en quatre sous-objectifs :

- Réalisation de deux campagnes de caractérisation des déchets générés dans le territoire d'étude afin de les quantifier et de suivre leur évolution spatio-temporelle.
- Proposition d'une technologie contrôlée pour leur traitement en réalisant des essais de valorisation et en se basant sur des données réelles de déchets.
- Conception d'un modèle (outil informatique) décisionnel multicritère devant faciliter aux décideurs la sélection d'un meilleur site pour l'installation d'un CEV, tenant compte des critères géo-environnementaux et socio-économiques.
- Mise en œuvre d'un schéma adéquat et favorable pour une gestion durable des déchets ménagers dans la province de Khénifra qui va tenir compte des différents critères socio-économiques, techniques et environnementaux, en utilisant les méthodes d'analyse multicritère.

2. Justification du choix du sujet et de la province de Khénifra

La province de Khénifra a été choisie comme zone d'étude pour la mise en œuvre de cette stratégie. Ce territoire est un milieu naturel diversifié, mais fragile, en plus des activités primaires et secondaires traditionnelles qui sont en pleine mutation. Cette conjonction particulière d'éléments en fait un paysage anthropogène caractéristique actuellement en transition. Ainsi cette province avait fait l'objet de recherche d'un scénario le plus adéquat pour une gestion durable des déchets et un site qui abritera le CEV pour minimiser leur impact sur l'environnement.

Ce choix s'est imposé car j'avais une connaissance préalable de la région (originaire de la région) en plus la disponibilité des données, provenant de mon expérience dans les domaines de la géologie, de l'environnement et de la géomatique.

3. Méthodologie et démarche à suivre

La méthode de recherche adoptée dans le présent travail comporte deux grands axes essentiels: le développement théorique de la démarche de diagnostic et son application à une étude de cas. Située tout en amont de la recherche, la construction d'un cadre théorique, fondée sur une recherche bibliographique extensive, amène des éléments de définition des concepts essentiels de la recherche et détermine pour chacun d'eux les principaux éclairages existants. Des choix à la fois conceptuels et méthodologiques sont ensuite opérés sur cette base pour la formulation d'une démarche de diagnostic paysager. Cette dernière sera ensuite appliquée pour le territoire de la province de Khénifra, pour laquelle la concrétisation et la validité de l'approche seront discutées.

4. Organisation du manuscrit

Le mémoire de thèse comprendra trois parties :

- La première partie sera consacrée à une description détaillée de l'état d'art en relation avec le sujet de la gestion des déchets en la restituant à l'échelle internationale et nationale pour se situer par rapport aux études antérieures et pour préparer une plateforme solide de toutes les connaissances nécessaires.

- La deuxième partie sera déployée pour décrire et présenter notre zone d'étude d'une façon complète et bien détaillée dans le premier chapitre. Ceci nous permettra par la suite de bien préparer une base de données solide pour discuter et décrire nos résultats obtenus, vu que la thématique qu'on essaye de traiter a une relation étroite avec la zone d'étude. Le chapitre 2 de la partie II, récapitule la méthodologie et les techniques utilisées pour cerner la problématique de la gestion des déchets dans la zone d'étude.

- Dans la troisième partie, on va citer les différents résultats obtenus et de les discuter et traiter afin de trouver des solutions très satisfaisantes pour une gestion durable des déchets dans le territoire d'étude. Et ce en appliquant les nouvelles méthodes scientifiques à savoir la géomatique et l'analyse multicritère (AHP).

Finalement, le manuscrit se terminera par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus, quelques recommandations et perspectives, une liste pour les références bibliographiques et des annexes.

PARTIE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT
DE L'ART

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE DES DECHETS SOLIDES A L'ECHELLE INTERNATIONALE

I. INTRODUCTION

Une gestion écologiquement rationnelle et durable des déchets solides est l'un des défis majeurs auxquels l'humanité doit faire face aujourd'hui et à l'avenir. Avec une consommation mondiale de plus en plus grande et diversifiée, mais avec un fossé évident entre le Nord et le Sud, la production des déchets augmente en quantité et en qualité et génère des risques énormes envers la faune, la flore, les eaux, l'air, le sol, les écosystèmes, les sites et paysages et l'environnement en général ainsi que des effets nocifs sur la santé des populations.

II. CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS

L'étude de la composition des déchets est une étape très importante pour une gestion efficace et ce dont le but de quantifier les 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 sur la conformité avec les lois et règlements locaux (Renhart, 1996 ; Wicker, 2000).

La caractérisation des déchets se diffère d'un auteur à l'autre et d'un pays à l'autre, elle dépend de l'objectif pouvant capitaliser les résultats obtenus par celle-ci. Les méthodes de caractérisation sont nombreuses. Brunner et Ernst (1986), suggèrent une caractérisation suivant des paramètres divisés en trois groupes : 1) matériaux (papier, verre, métaux, etc.), 2) paramètres physiques, chimiques ou biologiques (masse volumique, teneur en eau, biodégradabilité, etc.) et 3) composition élémentaire (carbone, mercure, etc.). Il est toutefois important de signaler que la détermination de tous ces paramètres n'est pas toujours nécessaire. Il est souvent suffisant d'analyser un seul groupe spécifique pour répondre à une question donnée sur la gestion des déchets. Par exemple, pour le recyclage matière, l'analyse du groupe matériaux est suffisante alors que l'évaluation de l'impact des émissions de l'incinération sur l'environnement nécessite une analyse de la composition élémentaire des déchets (Brunner et Ernst, 1986).

1. Caractérisation physique

La bonne gestion des déchets solides ne peut s'inscrire dans une vision durable que par la connaissance de l'évolution des flux de ces rejets et surtout de leur composition. La connaissance des quantités et de la composition des déchets permet d'optimiser le mode de gestion et de promouvoir le choix de filières de valorisation matière. Ceci contribue non seulement à la salubrité de l'environnement des villes, mais aussi peut jouer un rôle significatif dans la lutte contre la pauvreté particulièrement dans les pays en voie de développement 'PED' (Buenrostro et Bocco, 2003 ; Aye et Widjaya, 2005 ; Zaïri et al., 2004) grâce à la récupération des différents matériaux et leur vente par les récupérateurs.

Cependant, la connaissance des propriétés physiques des déchets et des conditions dans lesquelles leur gestion doit être abordée permet une gestion efficace et durable de ces résidus.

Plusieurs rapports de la Banque Mondiale attribuent l'échec de l'application de certaines technologies du Nord (incinération) dans les PED, à la surestimation du pouvoir calorifique inférieur (PCI) des déchets dans ces pays, qui sont riches en matières organiques (ou putrescibles), et à la demande du marché local en amendement agricole (compost). D'autres exemples d'échec, sur le choix inadapté de technologie dû à la méconnaissance des spécificités des déchets dans les PED, ont été rapportés par Hafid (2004) qui rappellent 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 en s'appuyant sur l'échec de cette technologie en Tanzanie et au Nigeria.

La sélection du nombre de catégories des déchets, dépend des objectifs de l'étude et des moyens disponibles pour la réaliser. Toutefois, les principales composantes des ordures ménagères en général restent celles répertoriées par l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) dans le Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères en 1993 (MODECOM, 1993) et reprise dans l'Association Française de Normalisation XP X 30-408 (AFNOR, 1996). Il s'agit des putrescibles, du papier, du carton, des textiles, des textiles sanitaires, des plastiques, des combustibles non classés, des combustibles non classés, du verre, des métaux, des spéciaux et des fines. Cependant, pour des objectifs spécifiques visés par la caractérisation, certains auteurs se limitent à quelques-unes de ces catégories. Ainsi, Buenrostro et Bocco (2003) ont donné la composition des déchets suivant sept catégories, Mohee (2002) en a défini huit alors que Mechadi (2017) a recommandé dix catégories.

L'étude de caractérisation des déchets suivant les principales catégories est indispensable dans certains cas où on ne dispose pas de données de référence pour le pays considéré (Alouimine et al., 2005-b) ou pour la mise à jour de ces données (ADEME, 2005-a). Par exemple, l'ADEME en 2004 a réactualisé les résultats de la campagne de caractérisation des déchets ménagers de 1993 en identifiant treize catégories et 33 sous-catégories (ADEME, 2005-a).

Enfin, les déchets peuvent être caractérisés par leurs tailles granulométriques. On classe en général ces tailles en 4 granulométries distinctes lors d'un tri (MODECOM, 1993 ; Von Blottnitz et al., 2001 et François, 2004) : **les gros** (> 100 mm), **les moyens** (< 100 mm et > 20 mm), **les fines** (< 20 mm et > 8 mm) et **les très fins** ou extra-fins ou sables (< 8 mm). Toutefois, certaines études définissent les gros par une taille > 250 mm, les moyens compris entre 250 et 80 mm et les fins < 80mm (Mechadi, 2017).

La composition physique des déchets varie d'un pays à l'autre, c'est pour cela l'interprétation des résultats du tableau ci-dessous doit être faite avec prudence car les statistiques ne sont pas faites de la même manière. Ces résultats permettent d'avoir une idée non exhaustive de la variation de la

composition de certaines catégories des déchets ménagers dans certains pays. Le tableau suivant illustre la grande variabilité dans la composition qualitative des déchets de différents pays.

Tableau 1: Variation de la composition qualitative des déchets solides ménagers (en %)

Fractions	Origines des déchets						
	France ⁽¹⁾	Tunis ⁽²⁾	Dakar ⁽³⁾	Dar Es Salaam ⁽⁴⁾	Pékin ⁽⁵⁾	Santiago ⁽⁶⁾	Béni Mellal ⁽⁷⁾
Déchets putrescibles	28,8	70	43,6	42,0	13,2	49	57,24
Papiers/cartons	25,3	13	9,7	3,1	4,4	19	6,93
Textiles sanitaires	3,1	-	-	-	-	-	7,9
Textiles	2,6	4,2	5,2	1,2	1,7	4	6,78
Plastiques	11,1	4,2	2,7	2,2	4,0	10	14,21
Complexe	1,4	-	-	-	-	-	-
Combustibles divers	3,2	-	-	-	-	-	0,37
Verre	13,1	3,2	1,1	3,5	4,3	2	0,65
Métaux	4,1	3	3,4	2	0,1	2	0,63
Incombustibles divers	6,8	-	-	0,4	-	7	0,14
Déchets spéciaux	0,5	-	-	-	-	-	4,16
Autres	0	2,4	34,3	45,6	72,3	7	-

Sources : ADEME, 2000⁽¹⁾, Zaïri et al. 2004⁽²⁾, Mbuligwe et al. 2004⁽³⁾, Diop 1988⁽⁴⁾, Wei et al.2000⁽⁵⁾, Estevez 2003⁽⁶⁾, Mechadi 2017⁽⁷⁾.

2. Caractérisation chimique

La caractérisation chimique des déchets est un outil important qui permet la connaissance de la qualité des déchets générés par la population du territoire d'étude. Plusieurs études se sont intéressées à ce type de caractérisation. Certaines d'entre elles avaient pour principal objectif l'évaluation du potentiel polluant de ces déchets (ADEME, 1999) ou la mise en évidence de l'existence des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Le tableau 2 présente des exemples de la composition chimique élémentaire des déchets ménagers en France (ADEME, 1999), en Chine et en Suisse.

Ce potentiel polluant dans les déchets est d'origine organique, minérale et métallique (François, 2004) en fonction de la composition des déchets. Ainsi, la matière organique est, essentiellement, issue des fermentescibles, du papier, du carton, des textiles, du plastique et de la fraction des combustibles non classés (cuir, bois, etc.), alors que la matière organique azotée provient des fractions des fermentescibles, des textiles et des combustibles non classés (Tchobanoglous et al., 1993 et François, 2004). Les éléments minéraux et métalliques sont générés par les fractions à savoir le verre, les incombustibles non classés, les plastiques, les métaux et les spéciaux. Bien que cette composition chimique des déchets ne soit pas exhaustive, elle indique que le risque des déchets sur la santé et l'environnement est très important d'où la nécessité de traiter ces refus.

Tableau 2: Caractéristiques élémentaires types des déchets solides ménagers.

Paramètres	Teneurs moyennes		
	France ^a	Chine ^b	Suisse ^b
Humidité (%)	35	-	-
Matière organique totale (%)	59,2	-	-
Carbone (%)	33,4	29 ± 5	37 ± 4
Chlore (g/ kg)	14	-	6,9 ± 1,0
Soufre (g/ kg)	2,8	-	1,3 ± 0,2
Azote organique (g/ kg)	7,3	-	0,011 ± 0,002
Fluor (g/ kg)	0,058	-	-
Bore (g/ kg)	0,014	-	-
Cadmium (g/ kg)	0,004	0,3 ± 0,01	-
Cobalt (g/ kg)	0,113	25 ± 3	-
Chrome (g/ kg)	0,183	0,18 ± 0,02	-
Cuivre (g/ kg)	1,048	-	0,7 ± 0,2
Manganèse (g/ kg)	0,412	-	-
Mercure (g/ kg)	0,003	0,005 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Nickel (g/ kg)	0,048	-	-
Plomb (g/ kg)	0,795	-	0,7 ± 0,1
Zinc (g/ kg)	1,0	1,3 ± 0,2	1,4 ± 0,2

Sources : ^a François, (2004) et ^b Youcai et al. (2002).

III. TRAITEMENT DES DECHETS

1. Techniques utilisées

Actuellement, il existe plusieurs scénarios de gestion des déchets utilisés en fonction de ces enjeux sanitaires, environnementaux et socio-économiques. Toutefois, le coût d'investissement dans certaines approches technologiques respectueuses de l'environnement reste un vrai problème dans les pays en voie de développement comme le Maroc. Mais, malgré cette contrainte, ces pays doivent désormais répondre aux exigences des populations locales mais aussi à d'autres exigences toujours plus strictes et contraignantes auxquelles ils se sont souscrits. Il s'agit notamment des protocoles et conventions internationaux (Protocole de Kyoto, Conventions de Bale, de Stockholm, de Montréal, de la COP22 ...etc.) visant à préserver la santé et l'environnement. C'est pour le respect de ces objectifs qu'on assiste ces dernières années à de multiples tentatives et expériences de gestion des déchets, à travers le monde, pour trouver des solutions optimales et adaptées au contexte donné.

Les techniques de traitement étant diverses, la littérature répertorie les cinq procédés suivants comme étant les plus utilisés dans le monde en fonction de la nature du déchet (Crowe, 2002). La mise en décharge, le compostage, l'incinération, la valorisation matière, y compris la valorisation agronomique et la valorisation énergétique (Charnay, 2005) et autres (pyrolyse, méthanisation, ...).

1.1. Mise en décharge

Elle est la pratique de traitement la plus ancienne et la plus utilisée dans le monde (Hafid, 2002 et Gachet 2005) et elle est adaptée pour tous les types de déchets. Elle est utilisée depuis longtemps malgré les impacts qu'elle engendre (Thonart, 2005). Dans les pays en voie de développement, la mise en décharge engendre le plus souvent des dépôts sauvages au bord des routes ou sur des parcelles de terrains vides ainsi que dans les zones humides. Le recours à cette technologie n'est pas sans risques sur la santé et l'environnement : pollution des nappes phréatiques souterraines et des sols récepteurs, émissions atmosphériques (Markarian et Ménard, 2003 ; Gagné, 2004 ; Lagier, 2000). Cette pollution peut provenir de deux sources, le lixiviat et le biogaz, qui demande chacun un traitement spécifique.

1.2. 2^{ème} vie des déchets : la valorisation

La valorisation des déchets solides offre une deuxième vie aux déchets. La valorisation des déchets est un ensemble de procédés par lesquels on transforme un déchet matériel ou un produit en apparence inutile en un nouveau matériau ou produit de qualité ou d'utilité supérieure. La valorisation des déchets est généralement le contraire de la mise en décharge du contenu des poubelles. Cette valorisation, à double objectif énergétique et matière, peut également être étendue aux notions de 3R (Recyclage, Réutilisation et Réduction des déchets solides ménagers 'DSM').

1.2.1. Valorisation énergétique : Incinération

La valorisation énergétique faite par l'incinération est un mode de traitement et d'élimination des ordures ménagères qui permet la réduction d'environ 90 % du volume et 75 % de la masse des déchets et la destruction complète des bactéries (Youcai, 2004, Li et al., 2004). Toutefois, la valorisation énergétique engendre une forte pollution atmosphérique avec l'émission de plusieurs gaz dont certains sont très toxiques et/ou sont à effets de serre (Hefa, 2007 et Dietmann, 2008). Ces rejets nécessitent un traitement très onéreux. Seuls les équipements d'épuration des fumées peuvent représenter plus de 30 % du coût total de l'incinérateur.

L'utilisation de l'incinération dans les PED est très rare à cause non seulement, d'une forte humidité entraînant un pouvoir calorifique inférieur (PCI) faible des déchets (environ 1000 kcal.kg-1), mais également de la technologie assez sophistiquée qu'elle nécessite sans oublier les contraintes financières de fonctionnement (Sakulrat et al., 2003). Par contre, dans les pays développés l'incinération est très pratiquée en raison, selon François al., (2006), du pouvoir calorifique élevé des déchets qui avoisine 2100 kcal.kg-1.

1.2.2. Valorisation en matière : Compostage

Le compostage est un procédé biologique de transformation et de valorisation des matières organiques, sous l'action de bactéries aérobies (en présence d'oxygène), en substances humiques. Cette technique de valorisation a été adoptée pour le traitement des déchets dans plusieurs pays : Suède, Suisse, Danemark, Italie, Autriche, Etat Unis d'Amérique (López, 2004). Le compostage reste cependant économiquement

viable dans ces pays parce que c'est un traitement à faible coût qui apparaît généralement comme la solution la mieux adaptée aussi bien pour les villes des PED en raison de la proportion importante de matières fermentescibles contenues dans plusieurs catégories de déchets.

Cette filière de traitement des déchets solides, qui s'est beaucoup développée ces dernières années, est considérée, aujourd'hui, un mode de gestion complémentaire important dans la valorisation en matière et énergétique essentiellement pour la fraction organique de ces déchets. Kaibouchi (2004) rapporte que 2,7 millions de tonnes des déchets ménagers et assimilés ont été compostés en France en 2000.

Néanmoins, la qualité du compost extrait des déchets doit répondre à certaines exigences de qualité normalisées dans les pays industrialisés distinguant ainsi plusieurs catégories en fonction de sa maturité, sa stabilité et sa teneur en métaux lourds (Charnay, 2005). La qualité initiale des déchets est déterminante dans leur aptitude au compostage, et dans la qualité finale du compost et dans sa valeur agronomique. Le paramètre le plus utilisé pour évaluer l'aptitude des déchets à être compostés est le rapport C/N. Sa valeur optimale à respecter, varie d'un auteur à un autre. Au terme du compostage, le rapport C/N < 12 indique la maturité du compost (Charnay, 2005 et Compaore, 2010). Le tableau 3 donne certaines valeurs de ce rapport recommandées par certains auteurs pour juger de l'aptitude des déchets au compostage.

Tableau 3: Rapport C/N recommandé pour le compostage des déchets

Rapport C/N	Humidité (%)	Références
20 – 35	50 – 65	Mohee (2005)
20 – 30	-	Mbulingwe et Kassenga (2004)
20 – 25	-	Hoornweg et al. (2000)
15- 20	-	FAO (Compaore, 2010).

Considérant le compostage comme composante d'une gestion intégrée et durable des déchets, la majorité des pays industrialisés ont mis en place des normes de qualité du compost. Ces normes ont été élaborées après des années d'études. Dans les PED, la réglementation en matière de normes pour le compost est rare voire inexistante. On se réfère souvent aux autres normes de la FAO ou de l'UE, comme pour les autres produits (eau de boisson, aliments, etc.). Pour le compost, le critère de qualité le plus souvent utilisé est la teneur en métaux lourds qui peuvent provenir de différentes sources comme, pour les déchets urbains (Charnay, 2005), ce qui explique la nécessité du tri avant la réalisation du compostage. Le tableau 4 représente les teneurs en métaux lourds dans le compost de différents pays (Charnay, 2005 et Hoornweg et al., 2000).

Tableau 4: Teneurs en métaux lourds (mg/kg) dans le compost par pays (Hoornweg, 2000 et Charnay, 2005)

Pays	Bénin	Guinée	Egypte	France	Indonésie (Recommandé pour PED)
As	-	-	3,5	-	10
Cd	6,3	1,5	0,3	8	3
Cr	12,4	140	19,3	-	50
Cu	5,4	75	17	-	80
Hg	-	-	0,15	800	1
Ni	-	-	7,3	8	50
Pb	107	140	15,4	200	150
Zn	11	-	67,2	-	300

1.3. Recyclage-réutilisation

Le recyclage est une option de gestion des déchets, elle offre la possibilité de réduire les coûts économiques et environnementaux. Elle consiste à récupérer de la matière à nouveau telle que le verre, plastique, carton...et la réutiliser. Selon Bernache-Pérez (2001) et Gbedo (2010), le recyclage des déchets nécessite un tri manuel par les acteurs de la filière avant et pendant la collecte ou sur les décharges. Cette pratique réalisée par les populations dans les PED offre un marché abondant en produits réutilisables et à faible coût.

1.4. Autres techniques de gestion des déchets

Parmi les techniques utilisées ; la méthanisation, elle est un processus de déjection anaérobie. C'est une forme de valorisation énergétique par la biodégradation de la matière organique des déchets conduisant à la libération du biogaz. Celui-ci contient environ 50 à 70 % de méthane, fraction la plus riche en énergie. Le déchet initial débarrassé de la fraction organique solide est appelé digestat, un post traitement de ce dernier permet d'obtenir en fin un matériau similaire au compost, le méthanisât.

Il existe, également, d'autres techniques encore relativement très peu utilisées à cause notamment de la complexité et de la difficulté de la maîtrise de leur procédé. La pyrolyse et la gazéification consistent, respectivement à carboniser (ou chauffer sans les brûler) les déchets, en l'absence d'air, à une température de 400 – 800 °C, pour la première, et en présence d'une quantité limitée d'oxygène à une température de 800 -1400°C pour la seconde. Les gaz issus de la gazéification peuvent être utilisés comme source d'énergie.

2. Comparaison entre les différents modes de traitements des déchets

Les différents modes et techniques de traitements présentés auparavant présentent des avantages et des inconvénients les uns par rapport aux autres. Vu la complexité de la gestion des déchets en général (quantité et qualité des déchets en évolution continue, hétérogénéité, conditions socioéconomiques et

culturelles de la région), il est difficile de hiérarchiser les choix des modes de traitement sans faire des études environnementale et socio-économique et sans tenir compte des conditions locales de la zone d'étude. Le tableau suivant récapitule des principaux avantages et inconvénients dans le choix du mode de traitement des déchets.

Tableau 5: Avantages et inconvénients des différents modes de traitements des déchets

Technologies	Avantages	Inconvénients
Décharge non Contrôlées	Coûts d'exploitation très faible	-Nuisances (odeurs, animaux, bactéries, envols, paysage, etc.) - Risques pour la santé -Risques pour l'environnement (contamination des nappes et cours d'eau par ruissellement, émission des GES, incendies, etc.) - Occupation des sols
Incinération	-Réduction jusqu'à 90 % du volume des déchets et 75 % de leur masse ; -Destruction totale des microorganismes pathogènes ; -Peu d'incidence sur la qualité des eaux -Possibilité de valorisation de l'énergie -Possibilité de valoriser les mâchefers.	- Coût d'investissement important : -Coût des installations d'épuration des fumées de 30 % du coût de l'incinérateur ; -Epuration des fumées : une fraction des fumées et des cendres sont rejetées dans le milieu récepteur (Air) -Génération de nouveaux déchets à traiter (30 % en masse, mâchefers, cendres...)
Méthanisation	-Possibilité de contrôler les effluents polluants (lixiviats et biogaz) et les nuisances ; -Possibilité de revaloriser le site en fin d'exploitation ; -Possibilité de valorisation de l'énergie	-Coût d'investissement important : -Longue durée de suivi du site pendant et après Exploitation. -Coût du contrôle et du suivi -Quantité du flux
Compostage	- Recyclage de la MO : 30 à 50 % de la masse des OM. - Peut atteindre + de 90 % de la masse des déchets - Production du compost (amendement) - Apport de MO pour rétention d'eau - Acceptation par les populations	- Risque pour la santé (personnes en contact). - Grandes quantités d'eau nécessaires ; - Coût de transport important.

IV. APERÇU ÉCONOMIQUE

Cette partie présente un aperçu du coût des filières et des technologies de gestion des déchets solides ménagers pour leur traitement.

Pour le compostage des déchets organiques biodégradables, les systèmes de compostage en andains sont les systèmes les plus simples, les plus courants et les moins coûteux. Il est le coût en capital le plus bas, alors que du travail est requis occasionnellement au cours du processus. Le principal inconvénient de ces systèmes, par rapport au coût, est le grand espace requis pour le traitement de gros volumes de déchets organiques ainsi que le temps de traitement par rapport aux systèmes. D'après Diaz et al., (2002), le coût en capital par tonne de déchets organiques traités le compostage en andains d'une capacité de 10 à 800 tonnes par jour varie de 33,5 à 88,7 \$/ tonne. D'autres études ont signalé des coûts de fonctionnement et d'entretien similaires, selon lesquels le coût d'exploitation pour les systèmes d'andains ouverts est de 32 à 79 \$ / tonne (Mavropoulos, 2008 et Banque Mondiale, 2008).

Le coût des systèmes de digestion anaérobie varie d'une catégorie à l'autre et d'un pays à l'autre étant donné qu'il existe un grand nombre de technologies différentes impliquées dans la digestion anaérobie sur le marché à l'échelle mondiale et qu'il reste encore de la place pour une maturation technologique. Selon les données de la Banque Mondiale, les systèmes de digestion anaérobie d'une capacité de 300 tonnes / jour ont un coût en capital d'environ 19 à 72 M \$, tandis que le coût d'exploitation et de maintenance varie entre 52 et 131 \$ / tonne (Banque Mondiale, 2008).

D'autres études suggèrent un capital de 197 à 328 \$/ tonne et un coût d'exploitation et d'entretien de 46-105 \$/ tonne (Mavropoulos, 2008). En ce qui concerne le coût des installations de traitement mécanique-biologique (MBT), il faut considérer qu'elles utilisent un ensemble différent de technologies de gestion des déchets solides.

Par conséquent, la fourchette de coûts présente une fluctuation accrue par rapport aux technologies alternatives de traitement des déchets urbains. Selon une étude récente sur le coût des installations commerciales de MBT réalisée par Archer et al., (2005), une installation MBT acquérant une capacité allant de 71 à 685 t/j dont le coût en capital est compris entre 2,8 et 87,3 M \$, tandis que les coûts d'exploitation et de maintenance varient entre 60 et 77 \$/tonne de déchets solides municipaux traités.

En ce qui concerne le coût des installations d'incinération, le coût en capital d'un incinérateur de déchets solides municipaux d'une capacité de 1 300 t/j est de 26-157 \$/tonne, ainsi le coût de l'élimination des résidus (14 \$/tonne) ne sont pas inclus dans le coût total (Banque Mondiale, 2008).

Le coût en capital d'un système de gazéification d'une capacité de 70 à 270 t/j est de 300 à 600 \$ / tonne, tandis que le coût des dépenses d'exploitation est de 72 à 131 \$/tonne (Banque Mondiale, 2008 et Mavropoulos, 2008). Le coût en capital d'un système de pyrolyse varie de 700 à 950 € par tonne de déchets ménagers traités, tandis que le coût de fonctionnement et d'entretien est de 105-157 \$/tonne (Mavropoulos, 2008). En ce qui concerne les coûts d'exploitation et de maintenance, la Banque Mondiale a publié des valeurs similaires (105-197 \$/tonne). Cependant, les technologies de gazéification et de pyrolyse ne sont pas incluses dans cette étude car elles sont trop chères. Donc, elles dépassent les capacités des communautés marocaines.

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LE SECTEUR DES DECHETS AU MAROC

I. INTRODUCTION

Parmi les défis majeurs du Maroc au niveau environnemental, c'est la mise en place d'un système de gestion efficace des déchets qui connaissent une augmentation continue et répond aux activités socio-économiques dans notre pays. Cette augmentation est due à plusieurs facteurs liés à la diversité des origines des déchets à savoir : les déchets ménagers, de l'industrie, des commerces, des activités de soins, du bâtiment, des services du nettoyage, des espaces verts, ...etc.

II. ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA PRODUCTION DES DECHETS AU MAROC

1. Définition et type de déchets

1.1. Définition

Selon l'article 3 de la loi n° 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination :

- Les déchets : Tous résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ou l'obligation de s'en défaire dans le but de ne pas nuire à la collectivité et de protéger l'environnement.
- La gestion des déchets : Toutes opérations relatives à la production, au stockage, à la pré-collecte, à la collecte, au tri, au transport, à la décharge, au traitement, à la valorisation et à l'élimination des déchets y compris le contrôle de ces opérations ainsi que la surveillance des sites de décharges et les unités de traitement pendant la période de leur exploitation et après leur fermeture .

1.2. Type de déchets

Selon l'article 3 de la loi 28-00, les types des déchets sont :

Tableau 6: Type de Déchets

Type	Définition
Déchets assimilés aux déchets ménagers	Tous déchets qui par leur nature, leur composition, leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers provenant des activités économiques, commerciales, artisanales ou des établissements collectifs.
Déchets ménagers	Tous les déchets issus des activités des ménages ainsi que les déchets analogues provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales ou autres.
Déchets industriels	Tous déchets non ménagers résultats d'une activité industrielle, minière, artisanale ou similaire.
Déchets médicaux	Tous déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif dans le domaine de la médecine humaine ou vétérinaire, des hôpitaux publics, des cliniques et des cabinets privés, de la recherche scientifique ou de laboratoire d'analyses opérant dans ces domaines.
Déchets agricoles	Tous déchets organiques générés directement par des activités agricoles, agro-industrielles ou par élevage.
Déchets dangereux	Tous déchets qui par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la collectivité ou à l'environnement et dont la liste est fixée par voie réglementaire.
Déchets inertes	Tous déchets provenant de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation et qui ne sont pas constitués ou contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances.
Déchets biodégradables	Tous déchets pouvant subir une décomposition biologique naturelle anaérobie ou aérobie comme les déchets alimentaires, les déchets de jardins ainsi que le papier et le carton.

1.3. Évolution de la production des déchets au Maroc

Les activités socio-économiques ajoutées à l'accroissement démographique et aux changements du mode de consommation ont été les principales sources d'une génération et de l'augmentation importantes des Déchets Solides Municipaux (DSM).

La production des déchets solides ménagers, au Maroc, s'élève actuellement à près de 18000tonnes/jour. En chiffres ronds, on peut considérer une production annuelle d'environ 6 millions de tonnes soit en moyenne 0,75 kg/hab/jour (Mansour, 2015 ; Elkadi et al., 2016). Des variations sont constatées d'une région à l'autre, d'une ville à l'autre et d'un quartier à l'autre en fonction du niveau socio-économique, de la saison et du taux de collecte. Globalement, on enregistre un ratio moyen de 0,3kg/hab/jour en milieu rural et de 0,76kg/hab/jour en milieu urbain et périurbain (GIZ, 2014). Le taux moyen de la collecte des DSM est estimé à environ 70% en milieu urbain (Saoudi et Chrifi, 2007).

Le Maroc pendant les dernières années a essayé de déployer des efforts satisfaisants dans le domaine de la gestion des déchets à travers le PNDM (Programme National des Déchets Ménagers), l'état d'avancement de ce programme et comme suit :

- Augmentation du taux de collecte professionnelle à 85.2% contre 44% en 2008.
- Augmentation du taux de mise en Centre d'Enfouissement et de Valorisation (CEV) pour atteindre 62.44 % (3,94 MT) des déchets ménagers produits, contre 10% avant 2008.

C'est ainsi :

- Le nombre actuel de Centre d'Enfouissement et de Valorisation (CEV) est devenu 25 ;
- 49 décharges non contrôlées ont été réhabilitées (Salé, Témara, Oujda...) ;
- 5 autres en cours des travaux : Meknès, Taounate, Safi, Béni Mellal et Tanger ;
- Le nombre de plans directeurs de gestion des déchets visé est 64 :
 - 41 plans directeurs de gestion des déchets ont été achevés;
 - 23 plans directeurs de gestion des déchets en cours (choix de site et EIE).

1.4. Composition des déchets au Maroc

La composition et la nature des déchets ménagers au Maroc restent différentes de celles des pays industrialisés. La différence concerne plusieurs paramètres et tout particulièrement la teneur en eau et la proportion en matières organiques fermentescibles (Figure 1).

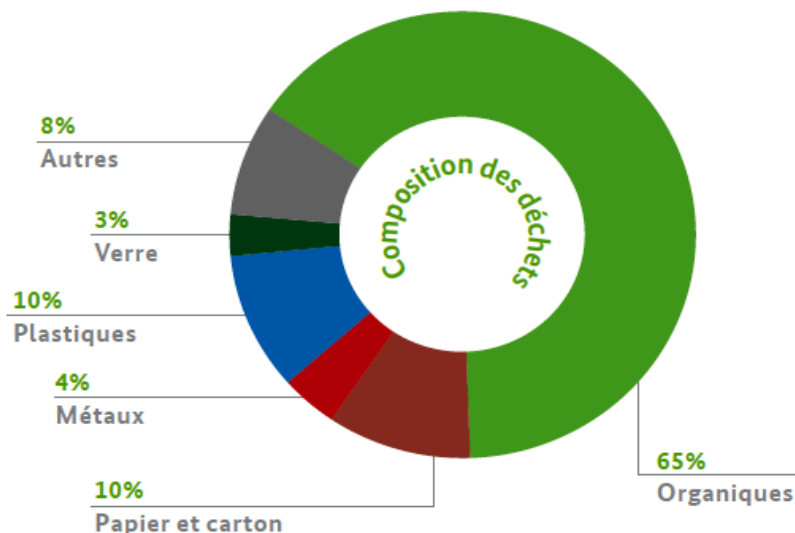


Figure 1: Composition des déchets ménagers au Maroc (GIZ, 2014)

1.5. Répartition de la production des déchets au Maroc

La répartition de la production des déchets dans quelques régions du Maroc montre que les grandes agglomérations urbaines connaissent une production importante de déchets (Ajemma, 2010). Par exemple le Grand Casablanca présente la région la plus productive à cause principalement du nombre d'habitants et de l'importance des activités socio-économiques (Figure 2).

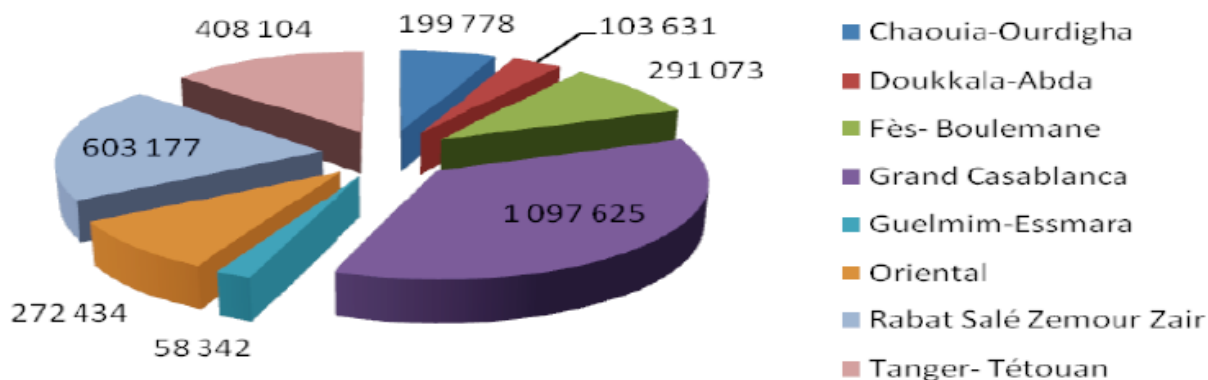


Figure 2: Répartition de la production des déchets en tonne/an dans quelques régions du Maroc (Ajemma, 2010).

1.6. Impact des déchets sur l'environnement

Aujourd'hui, la gestion des déchets ménagers est une problématique environnementale majeure de toutes les collectivités territoriales du Maroc. Cette problématique est due à plusieurs facteurs : les quantités importantes de déchets produites, l'insuffisance financière, les lacunes d'ordres organisationnel, institutionnel et de gestion, le déficit en matière de personnel qualifié, les infrastructures insuffisantes et le faible niveau d'éducation environnementale.

L'ensemble, alors, de ces facteurs crée une pression importante sur l'environnement qui se traduit par des impacts négatifs sur l'air, le sol, les ressources naturelles et par conséquent sur la santé et l'hygiène publique. Ils constituent également un danger pour la biodiversité et les écosystèmes.

Selon le rapport de la Banque Mondiale publié en 2003, le coût annuel des dommages générés par les déchets, tout type confondu, s'élève à 1,7 milliards de Dirhams soit près de 0,5% de PIB en l'an 2000. Pour le cas des déchets municipaux, ce coût est de 1,487 milliards de Dirhams soit 0,4% du PIB (Mansour, 2015).

2. Chaînes verticale et horizontale des déchets

2.1. La collecte

2.1.1. Objectif de la collecte

La collecte est parmi les étapes les plus importantes dans la gestion des déchets solides. L'amélioration de cette phase entraîne l'amélioration des conditions d'hygiène et de santé publique de la population de la ville et la satisfaction des besoins du client.

L'objectif consiste, principalement, en l'amélioration de la situation environnementale de la ville et réduire toute forme de pollution, d'augmenter les atouts pour le développement d'activités économiques telles que le tourisme et d'être en adéquation avec les ressources disponibles.

2.1.2. Systèmes de collecte

Le Maroc pratique actuellement deux grands systèmes de collecte qui sont la collecte porte à porte et la collecte à conteneur de transport.

- Collecte porte à porte : compte tenu de l'absence de moyens affectés à la gestion des déchets, la plupart des communes qui gèrent directement les déchets n'ont pas de conteneurs. Par conséquent, la collecte est faite par la méthode dite de porte à porte, c'est-à-dire que les déchets sont pris dans des moyens personnalisés (seaux, bassins, etc.) ou dans des plastiques d'emballage. Le ramassage est fait devant les domiciles ou dans les grandes artères. Cette méthode, peu coûteuse en moyens matériels, nécessite plus de main d'œuvre et conduit à un rendement peu satisfaisant.
- Collecte à conteneur de transport : elle est mise en place au niveau des quartiers à accès difficile dans le cas où la voirie est inexistante ou en mauvaise état, dans les zones où la densité de la population est très forte et dans les quartiers clandestins ou les médinas.
- Collecte à conteneurs à bacs roulants : il permet l'amélioration de la propreté. Le nombre de conteneurs de collecte dépend de leur volume et des spécificités urbanistiques de chaque agglomération.

2.2. Le Stockage de déchets : Les décharges publiques

2.2.1. Définitions

La décharge publique, est le moyen le plus ancien d'évacuation des déchets urbains, notamment les ordures ménagères, constitue l'élément physique le plus apparent dans le circuit de la gestion des déchets (GTZ, 2002).

2.2.2. Mise en décharge

Elle consiste en une accumulation de déchets dans un terrain généralement vague. Elle peut être de deux types : Décharges contrôlées et décharges sauvages.

❖ Mise en décharge sauvage

Au Maroc il existe plus de 250 décharges sauvages qui constituent la source la plus importante de la pollution des ressources en eau et de la nuisance à la santé publique (Mansour, 2015). Ce sont des décharges qui ne répondent pas aux normes d'hygiène et de la protection des sites. La décharge sauvage présente plusieurs inconvénients. Elle provoque la pollution des ressources en eau souterraines, les déchets risquent de contaminer les nappes d'eau souterraines et/ou les eaux superficielles lorsqu'ils sont déposés sur des sites non aménagés. Elle est responsable de la contamination du milieu marin et du littoral par le déversement direct des déchets. Elle est derrière l'émanation de gaz toxiques, d'odeurs nauséabondes et de germes qui prolifèrent dans les poussières d'ordures. Elle entraîne la prolifération des rongeurs et des insectes, agents directs ou indirects de propagation de graves maladies et vecteurs passifs de germes et de virus. Elle cause aussi la dégradation du paysage, avec perte de l'esthétique des sites avoisinants, et la dispersion des déchets sur de très grandes surfaces dont le nettoyage devient coûteux (Mansour, 2015).

❖ **Mise en décharge contrôlée**

Le choix du site : La décharge contrôlée correspond à un site nouvellement choisi pour stocker et ou traiter les déchets. Le choix du site est effectué suivant certaines règles et dispositions qui permettent d'éviter les impacts négatifs sur l'environnement. Le choix du site d'une décharge publique constitue donc une étape indispensable qui a pour objectif d'éviter ou minimiser l'impact sur l'environnement voisin. Ce choix doit prendre en considération plusieurs aspects, dont on peut citer :

- **L'homme et l'habitat ;**
- **Les ressources en eaux ;**
- **La faune et la flore :** Le milieu récepteur est un milieu naturel dont il faut protéger sa faune et sa flore.
- **Le paysage et le sol ;**
- **Le climat et l'atmosphère :** Pour tenir compte de cette composante (Benabou et Aitkhouya, 2007), il faut : Faire une description de la situation dans la zone d'impact (données relatives à l'atmosphère et au climat : direction prédominante du vent, pluviométrie, humidité, températures, etc.). Déterminer les conditions atmosphériques. Faire un diagnostic de l'état actuel du site en ce qui concerne la pollution atmosphérique, selon la nature et l'importance (Benabou et Aitkhouya, 2007).

3. Réglementation du secteur des déchets au Maroc

La gestion des déchets solides ménagers et assimilés impose la connaissance des contextes juridiques et institutionnels les concernant. Cette démarche permet aux responsables d'anticiper sur les dispositions juridiques à venir et d'exploiter de manière optimale les possibilités offertes par les institutions publiques, comme l'assistance technique, le contrôle, ...etc. Plusieurs textes de lois, dont les modalités d'application sont définies par des décrets et des arrêtés, en relation avec la problématique des déchets et de leur gestion ont été promulgués.

3.1. Loi Organique n° 113-14 relative aux communes

Cette loi responsabilise les communes pour ce qui est de l'assainissement solide et liquide. L'article 83 de cette loi stipule que le conseil communal règle par délibération les affaires de la commune dont la gestion des déchets solides. Cette loi précise également que la taxe des services communaux et la taxe d'habitation ne sont pas des taxes affectées à une rubrique déterminée mais servent à financer la gestion des déchets solides.

3.2. Nouvelles lois de protection de l'environnement

Depuis 1995, différentes lois en relation avec l'environnement ont été promulguées en vue d'encadrer et d'accompagner l'action des pouvoirs publics en matière de gestion de l'environnement et de concrétiser les engagements internationaux du Maroc vis-à-vis du sommet du Rio de 1992 et de Johannesburg en 2002. Parmi ces lois, on peut citer notamment la loi n° 11-03 relative à la protection et à la mise en

valeur de l'environnement, la loi n° 12-03 relative à l'étude d'impact sur l'environnement, la loi n° 12-90 sur l'urbanisme, Loi n°36-15 relative à l'eau et la loi n° 22-07 relative aux aires protégées promulguée par le dahir n° 1-10-123 du 3 chaabane 1431 (16 juillet 2010).

3.3. Cadre réglementaire relatif aux décharges contrôlées

Promulguée par le Dahir n 1 06- 153 du 30 Chaoual 1427 (22 novembre 2006), la loi 28-00 comporte tous les principes de base permettant de réduire l'impact des déchets de tout genre sur l'environnement et la santé. Elle définit aussi les différents types de déchets, spécifie leur mode de gestion et précise le niveau de prise en charge. La loi 28-00 est formée de six (6) chapitres. Elle détaille notamment les aspects administratifs et détermine les modalités de l'élaboration des plans territoriaux de gestion des déchets solides.

Dans ce sens, la Loi n°28.00 relative à la gestion des déchets et leurs éliminations prévoit l'élaboration de quatre (4) plans directeurs de gestion des déchets à quatre (4) niveaux territoriaux pour trois types distincts de déchets :

- Un plan directeur national pour la gestion des déchets dangereux,
- Un plan directeur régional de gestion des déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux et des déchets ultimes, agricoles et inertes
- Un plan directeur préfectoral ou provincial de gestion des déchets ménagers et assimilés.
- Et un plan communal de gestion des déchets solides qui reprend les orientations du plan provincial.

3.4. Programme National des Déchets Ménagers (PNDM)

Face à cette situation, assez bien documentée par plusieurs études de diagnostic et d'impact, le Ministère de l'Intérieur et le Ministère de l'Energie, des Mines et du Développement Durable ont élaboré un programme national de gestion des déchets ménagers qui vise l'adoption d'un ensemble de mesures concrètes, modulées à moyen et à long terme sur une période de 15 années, destinées à alléger les problèmes qui encombrent ce secteur.

3.5. Loi n° 13-03 relative à la lutte contre la pollution de l'air

Le Dahir n° 1-03-61 du 10 Rabii I 1424 (12 mai 2003) avait pour objet de porter promulgation de la loi n°13-03 relative à la lutte contre la pollution de l'air. Cette loi a pour but de prévenir, réduire et limiter les émissions de polluants dans l'atmosphère susceptibles de porter atteinte à l'environnement et à la santé.

La loi prévoit dans son 2ème article la lutte contre les émissions des polluants atmosphériques susceptibles de porter atteinte à la santé de l'homme, à la faune, au sol, au climat, au patrimoine culturel et à l'environnement en général.

3.6. Type de déchets pris en considération dans ce travail

L'essentiel des déchets objet de la présente étude sont les déchets ménagers et assimilés qui peuvent être définis comme suit :

Les déchets ordinaires provenant de la préparation des aliments et du nettoyage normal des habitations, comprenant notamment : déchets ménagers, mâchefers de chauffage central, débris de verre ou de vaisselle, cendres, feuilles, chiffons, balayures et résidus divers déposés, même indûment, aux heures de la collecte, dans des récipients individuels ou collectifs placés devant les immeubles.

Les déchets ménagers provenant des établissements industriels, et commerciaux, des bureaux et administrations, cours et jardins privés déposés dans des récipients dans les mêmes conditions que les déchets ménagers.

Les produits de nettoyage des voies publiques, parcs, cimetières et de leurs dépendances rassemblées en vue de leur évacuation.

Les produits du nettoyage et détritiques des halles, foires, marchés, souks et lieux de fêtes publiques, rassemblés en vue de leur évacuation.

III. CONCLUSION

Le Maroc a été longtemps en retard par rapport aux autres États européens dans le domaine de la gestion des déchets. Aujourd'hui, il ne fait plus partie des « mauvais élèves », malgré que les textes législatifs et les réglementations aient été promulgués récemment dans ce domaine, le suivi et la coordination entre les différents acteurs et décideurs restent loin d'être rigoureusement appliqués. Ce manque de respect des lois de la gestion des déchets engendre une nette influence sur la santé et l'hygiène publique.

CHAPITRE 3 : INTEGRATION DE LA GEOMATIQUE ET DES METHODES D'ANALYSE MULTICRITERE (AMC) DANS LES PROBLEMES DE PRISE DES DECISIONS

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons donner aussi un aperçu sur les outils de la géomatique et l'analyse multicritère décisionnelle (AMCD) et mettre en évidence leur importance dans l'aide à la prise de décision pour les problèmes environnementaux.

II. INTRODUCTION A L'AIDE A LA DECISION

Aujourd'hui, les décideurs sont de plus en plus souvent confrontés à des problèmes complexes qui touchent l'humanité. Ils souhaitent faire face à ces problèmes avec le maximum d'éléments objectifs et prendre leur décision en tenant compte des intérêts de toutes les parties prenantes. Les problèmes environnementaux, dont la complexité est liée à l'hétérogénéité des données et des concepts à mobiliser, ont souvent une nature multicritère et un caractère décisionnel: ils sont (i) de nature multidimensionnelle, interdisciplinaires et difficilement formalisables, (ii) impliquent plusieurs personnes et institutions, ayant généralement des préférences et des objectifs divergents, (iii) nécessitent la définition de plusieurs critères conflictuels dont l'importance n'est pas la même, et (iv) demandent une quantité considérable de données quantitatives et qualitatives (Chakhar, 2006).

Le problème de la mise en place d'un système de gestion des déchets ménagers et le choix d'un site pour l'implantation d'une décharge contrôlée affecte directement ou indirectement de nombreux domaines comme, l'environnement, l'aménagement du territoire, les activités sociales et les activités économiques. Cette multiplicité des domaines concernés implique l'intervention de plusieurs acteurs dans ce choix, ceux-ci ayant souvent des systèmes de valeurs différents, voir conflictuels. Nous sommes, donc, devant une problématique complexe avec des critères multiples et parfois antagonistes. On constate, alors que ce choix est multicritère. Il est primordial de s'intéresser au plus haut point aux différentes méthodes d'aide multicritère à la décision.

L'analyse multicritère d'aide à la décision est une approche multicritère basée sur un ensemble de concepts, de voies, de modèles et de méthodes en vue d'aider les décideurs à décrire, évaluer, trier, ranger, choisir, sélectionner et rejeter des objets sur la base d'une évaluation par rapport à plusieurs critères (Roy et Vincke, 1981).

1. Aperçu sur les techniques AMC

Cette partie donne un état de l'art sur l'analyse multicritère AMC, sa définition, ses différentes approches (orientée fonction, orientée événement et orientée objet), ainsi que les différents environnements de modélisation existants pour les systèmes de production. La plupart des activités

humaines nécessitent la prise des décisions au niveau d'un pays, d'une région, d'une province, d'une collectivité territoriale, d'une administration, au sein de la famille ou à l'échelle de l'individu.

La méthode d'analyse de type multicritère pour l'aide à la décision (AMCD) appelée aussi méthode d'aide multicritère à la décision se présente comme une alternative aux méthodes d'optimisation classiques basées sur la définition d'une fonction unique, souvent exprimée en terme économique (monétaire) et qui reflète la prise en compte de plusieurs critères, souvent conflictuelles. Il s'agit, au moins dans certaines circonstances, d'aller dans le sens du mieux pour un critère conduit obligatoirement à aller dans le sens du moins bien pour un autre critère. (Vincke, 1992) a défini l'aide multicritère à la décision de la façon suivante : « l'aide multicritère à la décision, comme son nom l'indique, fournit à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte ». Ces méthodes sont très utiles pour la résolution de problèmes spatiaux (Chakhar, 2006). Elles ont été conçues initialement à la fin des années 1960, leur usage au départ, a été dans le monde d'économie, ensuite elles ont été développées dans le cadre des mathématiques et du génie industriel. Depuis le début des années 1980, leur usage a été progressivement étendu aux problématiques d'aménagement territorial notamment la planification urbaine et régionale, les transports, et de gestion de l'environnement (Mansour, 2015).

D'après la littérature enrichie de publications, il existe de nombreuses techniques d'AMC et leur nombre augmente encore. Il y a plusieurs raisons pour lesquelles il en est ainsi. Il y a beaucoup de différents types de décision qui correspondent aux circonstances générales de l'AMC.

2. Processus d'aide multicritère à la décision

Les processus d'aide à la prise de décision sont nombreux. Simon (1960) a proposé que le processus d'aide à la décision puisse être découpé selon trois phases : i) l'« intelligence », ii) le design et iii) le choix. Mintzberg, Raisinghani et Théoret (1976) ont suggéré que ce même processus soit décomposé selon plusieurs phases dont les principales sont : i) l'identification, ii) le développement et iii) la sélection. Stamelos et Tsoukias (2003) suggèrent que le processus d'aide à la décision pourrait être représenté par les trois étapes suivantes : i) situation du problème, ii) formulation du problème et iii) modèle d'évaluation. Par ailleurs, une revue des applications de l'analyse multicritère montre que le processus d'aide à la décision débute, généralement, par une phase de structuration (Guitouni, 1998). Cette phase commence par identifier les éléments structurants du problème : acteurs, analyse de la situation (quoi, qui, comment, pourquoi ?), l'acquisition des connaissances et la construction du sens.

Il nous semble par conséquent qu'un processus d'aide multicritère à la décision pourrait être vue comme un processus récursif, non linéaire, composé de cinq étapes tel que décrit dans la figure 3 (Guitouni et al., 1999). Les étapes d'AMC sont présentées dans la figure ci-dessous :

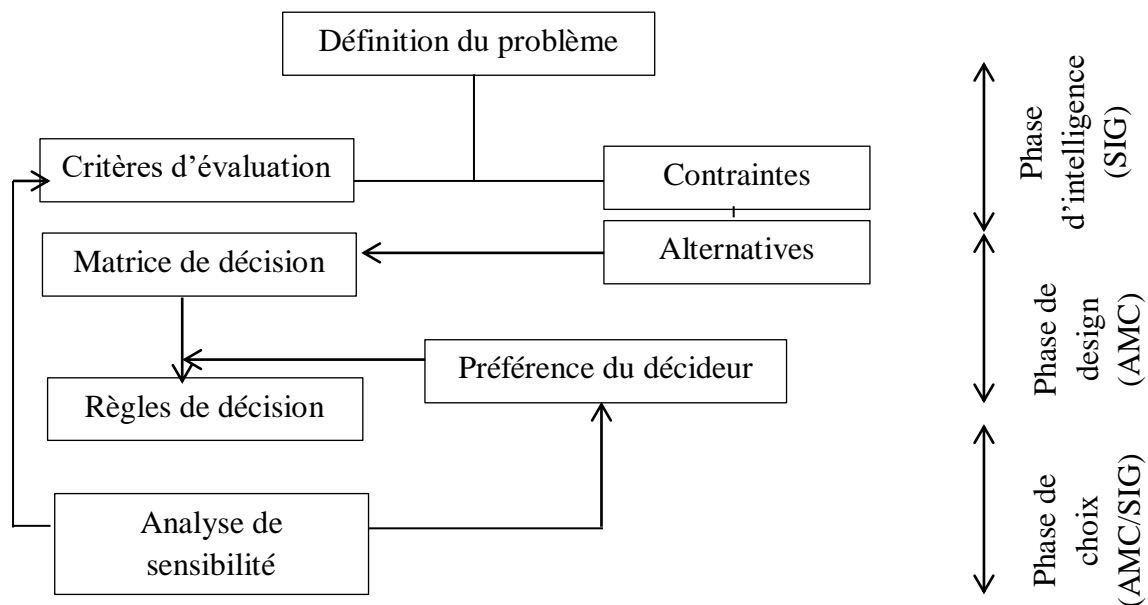


Figure 3: Framework de l'analyse multicritère

3. Différentes approches d'analyses multicritères

Il y a plusieurs méthodes d'analyses multicritères, proprement dites, qui ont été élaborées. La littérature scientifique, portant sur ce sujet, est encore en plein développement. Laaribi (2000) a donné une synthèse représentant certaines procédures d'agrégation multicritère pouvant témoigner de la multiplicité des méthodes disponibles, selon la nature du problème traité.

Guitouni (1999) et Mansour (2015) considèrent que le choix d'une méthode multicritère, à lui seul, peut constituer le sujet d'une analyse multicritère. Le groupe décisionnel en présence, le contexte du développement de la démarche d'aide à la décision et la formulation du problème se présentent comme balises pouvant guider le choix d'une méthode, entre autres (Mansour, 2015).

Martel et Rousseau (1993) ont démontré que toute analyse multicritère dans un processus décisionnel s'articule autour de quatre étapes principales :

- 1) Inventaire de l'ensemble des actions ou variantes d'actions possibles.
- 2) Élaboration de la liste des critères de performance.
- 3) Évaluation de la performance de chacun des scénarios pour chacun des critères retenus.
- 4) Agrégation des performances multicritères pour déterminer le scénario présentant, pour l'ensemble des variantes, la meilleure évaluation. Par rapport aux trois premières étapes, il convient d'admettre que la majorité des méthodes multicritères sont équivalentes (Martin et al. 1997). D'après Laaribi (1995), la vraie différence entre les méthodes s'établit surtout en fonction de la quatrième étape.

Les méthodes d'agrégation multicritère sont regroupées généralement en trois grandes approches opérationnelles (Martel et Rousseau, 1993 ; Zoller et Béguin, 1992 ; Scharlig, 1996) : l'approche par agrégation complète, l'approche du surclassement de synthèse et l'approche du jugement locatif

interactif. Les deux premières approches appartiennent à des écoles de pensée particulières en plus de s'identifier avec des valeurs culturelles et de localisation géographique. La troisième école, dite interactive s'applique davantage aux cas dits embrouillés.

4. Choix de méthodes d'analyse multicritère

Les éléments de discussion organisés par rapport au modèle décisionnel, permettent d'enlever certains grands traits des problèmes traités dans le contexte de la planification territoriale. Ils préfèrent souvent la problématique du choix ou du rangement, avec un contenu politique qui peut nécessiter la négociation (Roy et Bouyssou, 1993). Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte et rendent les problèmes de plus en plus complexes en mettant en interrelation des aspects biophysiques et socio-économiques, les valeurs, les traditions et les rapports de force du milieu (Laaribi, 1995). Le territoire étant un construit des acteurs du milieu (Grassland, 1994), l'évaluation de la plupart de ses composantes variera en importance selon le groupe-cible, d'où son incomparabilité (Martin et al., 1997).

5. Procédure analytique d'hierarchie (AHP)

La méthode AHP est une approche analytique multicritère d'aide à la décision. Elle repose foncièrement sur des calculs complexes ayant recours à l'algèbre matricielle. Cette méthode a été utilisée dans plusieurs domaines, tous aussi variés les uns que les autres, tels concernant : la planification des transports combinés, le rationnement de l'énergie, la gestion de risques de projets, l'analyse comparative des opérations logistiques, la gestion de la qualité des services dans le domaine hospitalier, le domaine du management des opérations, l'allocation des ressources en matière de gestion de portefeuille de produits, ainsi que plusieurs applications concernant les entreprises...etc. Elle a été développée par Thomas Saaty en 1970 et permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique, dans lequel sont établies des combinaisons binaires à chacun des niveaux de la hiérarchie. Classant hiérarchiquement les situations que rencontre l'entreprise, le décideur peut en déduire des priorités relatives, en faire une synthèse plus facile à appréhender et s'en servir pour allouer efficacement ses ressources et définir les objectifs prioritaires dans une meilleure cohérence. Le classement s'effectue au moins trois niveaux (environnement, objectifs de l'entreprise, cours des activités) auxquels sont associés différents critères. Ainsi, il est possible de déterminer l'alternative la plus pertinente, en fonction de la priorité accordée à chacun des critères pris en considération.

La question d'incohérence a amené la prise en compte de l'incertitude et du flou dans l'expression des jugements ce qui a conduit à des variantes stochastique et floue d'AHP. L'AHP stochastique utilise des intervalles au lieu de valeurs ponctuelles sur une échelle ratio (Saaty et Vargas, 1987 ; Arbel et Vargas, 1990 ; Salo et Hämäläinen, 1990). La procédure AHP floue utilise des nombres flous ayant des fonctions d'appartenance triangulaires pour représenter ces jugements. Le vecteur des priorités est obtenu par la méthode des moindres carrés logarithmique ou à l'aide de la méthode d'analyse étendue (Extent Analysis Method) qui semble être la plus rapide (Chang, 1996).

III. AHP ET GESTION ENVIRONNEMENTALE

En général, la prise de décision, concernant les issues environnementales, est un processus multidimensionnel et complexe. La prise de décision est un procédé très compliqué et difficile qui implique une série d'alternatives/scénarios qui doivent être évalués, prenant en compte un nombre significatif de facteurs et des critères. Le développement des scénarios/alternatifs aussi bien que la détermination de la meilleure option objective ne peut pas être déterminé seulement par un paramètre/critère. Les scénarios doivent être évalués et examinés en se basant sur une série de critères. Les critères choisis doivent être communs à toutes les alternatives/scénarios examinées et l'importance de chaque critère doit être caractérisée par un facteur de poids. Le choix des critères appropriés est plutôt essentiel dans le processus décisionnel. Les critères sont déterminés soit (1) directement selon la nature et les caractéristiques du problème écologique examiné, soit (2) indirectement selon si le problème doit influencer ou être influencé par l'attitude des groupes intéressés. L'analyse de chaque caractéristique de tous les scénarios alternatifs comme le choix et l'examen de différents critères visent à définir la solution optimale au problème écologique examiné.

Comme cité précédemment, chacun des critères choisis est indiqué par un facteur de poids. Ce facteur est déterminé selon le niveau d'importance du critère au problème examiné.

Par exemple, si un critère est important et à un niveau élevé d'influence au problème examiné, il attribuera un facteur de poids élevé. Selon la situation étudiée, les facteurs de poids attribués peuvent être classés en deux catégories :

Les facteurs de poids indirects qui sont définis par la classification de l'importance des critères, l'exécution d'un facteur global de poids, le facteur de poids maximum et puis, avec l'identification des facteurs de poids par rapport à la somme de tous les facteurs, ou par rapport au facteur de poids le plus élevé. En addition, l'utilisation des critères est possible ; c'est à dire ne pas avoir n'importe quel facteur de poids.

L'identification de l'importance de chaque critère est basée sur le niveau d'importance donné par chaque décideur du groupe de travail impliqué (Mansour, 2015). En d'autres termes, le processus pourrait être caractérisé en tant que subjectif et par conséquent les parties impliquées pourraient donner une signification importante dans les critères environnementaux comparés, par exemple, aux critères économiques, et vice versa.

IV. COUPLAGE DES OUTILS GEOMATIQUES ET AMC POUR LE CHOIX DES SITES DES DECHARGES

Comme les processus de sélection d'un site de décharge dépendent d'une multitude de lois, de règlement et facteurs, un grand volume de données spatiales doit être évalué et traité (Şener, 2011).

Pour surmonter cette difficulté, différentes méthodes ont été développées au cours des dernières décennies afin de fournir une allocation plus efficace pour l'élimination des déchets.

Le couplage SIG/AMC et les différentes méthodes d'AMC sont utilisés pour surmonter la faiblesse due à l'ignorance des considérations qualitatives et subjectives tels que les facteurs environnementaux et socio-économiques.

Le couplage entre SIG et AMC, permet de combler leurs lacunes respectives : d'une part la difficulté pour les SIG à prendre en compte la dimension multicritère inhérente des problèmes à caractère décisionnel, d'autre part les limites de l'AMC lorsqu'il s'agit de représenter la dimension spatiale des problèmes spatiaux. Les chercheurs et les spécialistes s'accordent sur l'intérêt de conjuguer les potentialités des deux outils pour créer des systèmes d'aide à la décision spatiale plus poussée. L'intégration SIG-AMC constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la prise de décision (Mansour, 2015).

PARTIE II :
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE,
METHODOLOGIE ET TECHNIQUES
UTILISEES

CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les principaux traits de l'environnement régional de la zone d'étude soit en l'occurrence le cadre physique à savoir : les contextes géomorphologique, géologique, climatique, hydrologique, hydrogéologique...etc. Et le cadre socio-économique tel que la démographie, le secteur agricole et le secteur économique. La présentation synthétique de ces cadres ressorte l'essentiel des éléments de connaissance en rapport avec l'objectif de ce travail.

II. CADRE PHYSIQUE

1. Situation géographique et découpage administratif de la province

La province de Khénifra est située au centre du Maroc, elle fait partie de la région Béni Mellal-Khénifra qui est l'une des douze régions marocaines créées par le découpage territorial dans le cadre de la régionalisation avancée instaurée en 2015. La province de Khénifra est l'une des cinq provinces constituant la région à savoir : la province de Béni Mellal, la province d'Azilal, la province de Fquih Ben Salah, la province de Khénifra et la province de Khouribga (Figure 4).

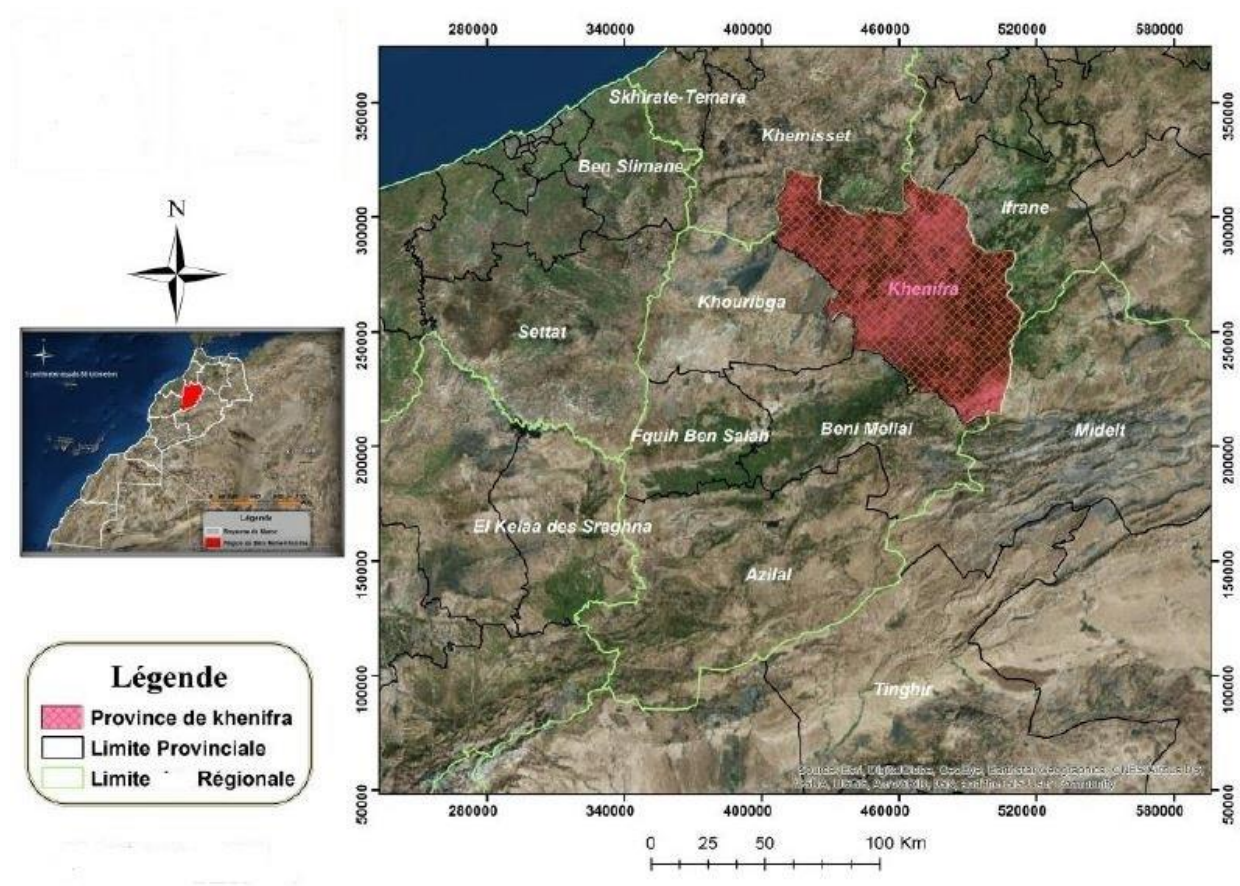


Figure 4: Situation géographique de la province de Khénifra

La Province de Khénifra a été créée par le Dahir n° 2-73-412 du 14 Rajeb 1393 correspondant au 14 Août 1973. Elle s'étend sur une superficie de 6 713.4 Km², cette province est limitée :

- ✓ Au Nord par les Provinces de Khémisset et El hajeb
- ✓ Au Sud par les Provinces de Béni-Mellal et Midelt.
- ✓ A l'Est par la Province d'Ifrane.
- ✓ A l'Ouest par la Province de Khouribga.

Administrativement, la province est découpée en deux pachaliks, 3 cercles (Khénifra, El Kbab et Aguelmous), cinq annexes administratives et 10 Caïdats. Elle englobe 22 communes dont deux en milieu urbain et le reste en milieu rural (Figure 5).

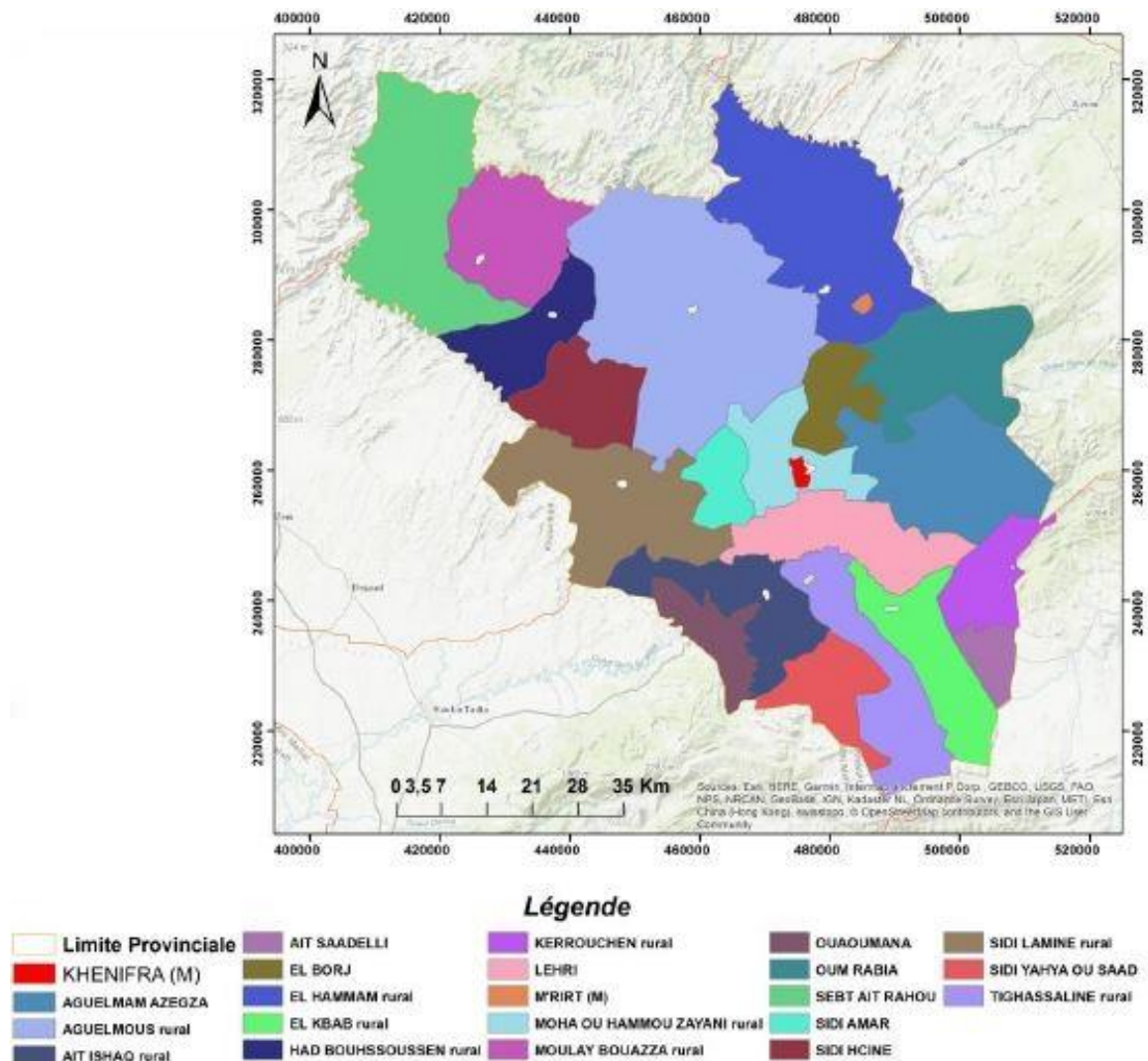


Figure 5: Découpage communal de la province de Khénifra

2. Topographie et géomorphologie

La province de Khénifra occupe une position de carrefour entre deux clos importants qui relient le bassin de l'oued Oum Er Rbia, bassin de la Moulouya, Sebou et le bassin de Bouregreg. La topographie y est mouvementée avec une pente relativement forte (Surtout en périphérie) de direction Nord et Est à

Sud-Ouest ainsi lorsqu'en allant vers l'Ouest (figure 6). La Province de Khénifra est caractérisée par des reliefs accidentés et une altitude s'aggravant de l'Ouest en Est. Ils varient de 306 m au Nord-Ouest et le sud de la province à 2210 m vers le Sud Est et le Nord. La zone Ouest de la province (la commune d'Aguelmous et une partie de la ville de Khénifra) fait partie du plateau Central Marocain. Le relief y est très mouvementé. Il s'agit d'une succession de sommets convexes et de vallées prolongées. La zone Est de la Province (El Kbab et une partie de Khénifra) est partagée entre le plateau Central avec des montagnes moyennes et le moyen Atlas tabulaire.

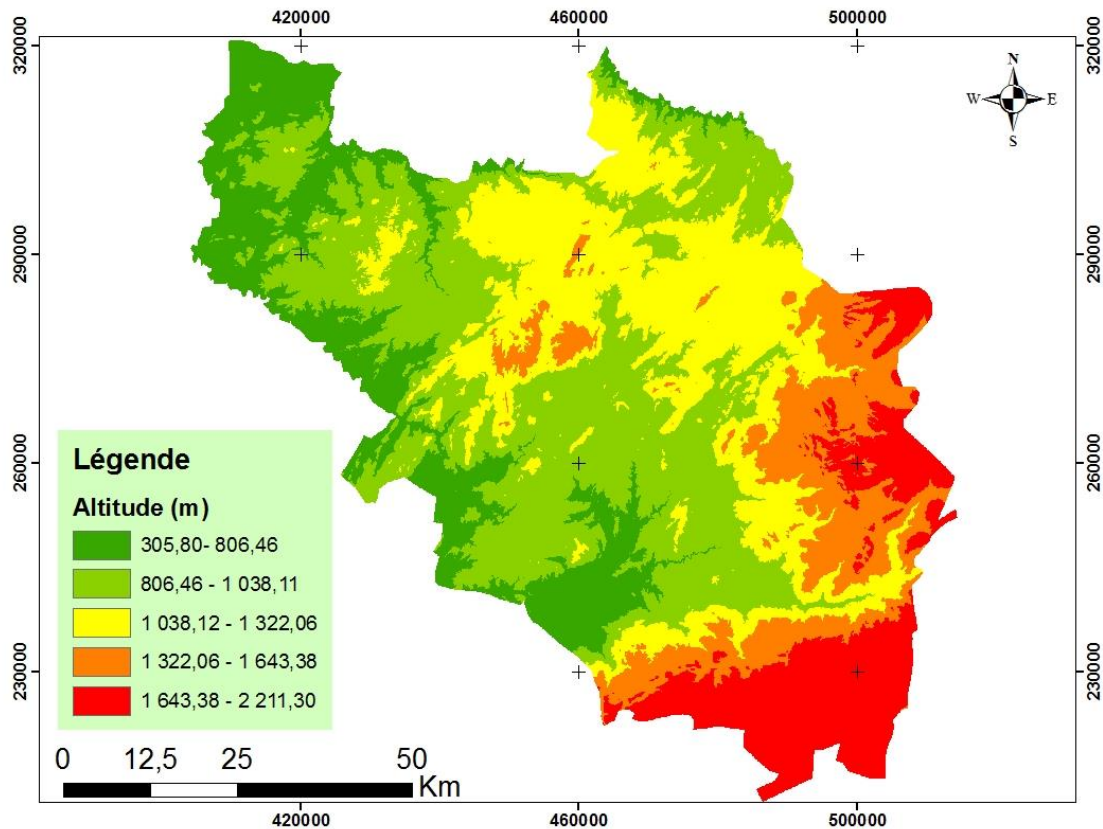


Figure 6: Répartition des altitudes dans la province de Khénifra

3. Contexte géologique et pédologique

La zone d'étude est subdivisée en deux grandes unités à savoir la Meseta centrale à l'Ouest et le moyen Atlas à l'Est (Figure 7).

- ✓ La Meseta centrale marocaine grossièrement tabulaire et pénéplaine après l'orogénèse hercynienne (fin du Primaire) et souvent appelée Massif Central marocain. Des granites et des roches métamorphiques y affleurent essentiellement au nord-ouest d'Aguelmous. Les schistes primaires (Ordovicien, Silurien, Dévonien ou Carbonifère) sont très largement représentés dans la Meseta vers le Ouest et Nord-Ouest de la zone d'étude, où ils sont fréquemment injectés de filons doléritiques souvent minéralisés. En intercalations dans les schistes se rencontrent des bancs de quartzites ou de grès dont la puissance varie de quelques mètres à quelques dizaines

de mètres. Enfin, quelques calcaires d'âge essentiellement Dévonien apparaissent dans des secteurs localisés et ne représentent que des volumes peu importants (figure 7).

- ✓ Vers l'Est, la Meseta centrale marocaine disparaît sous les recouvrements des calcaires jurassiques du Moyen Atlas. Ces formations calcaires sont très étendues, épaisses (plusieurs centaines de mètres), diaclasées et fissurées, et de ce fait constituent un réservoir d'eau naturel remarquable qui alimente essentiellement l'oued Oum-er-Rbia.

Le quaternaire et le quaternaire récent sont caractérisés par des dépôts en général de type travertins et Tufs, ou des coulés de laves ou des alluvions. La travertinisation est localisée surtout au tour des cours d'eaux, (Oued Oum Er Rbia...) et près des sorties des sources (les sources salines d'Oum Er Rbia...). Ces dépôts prennent de multiples formes.

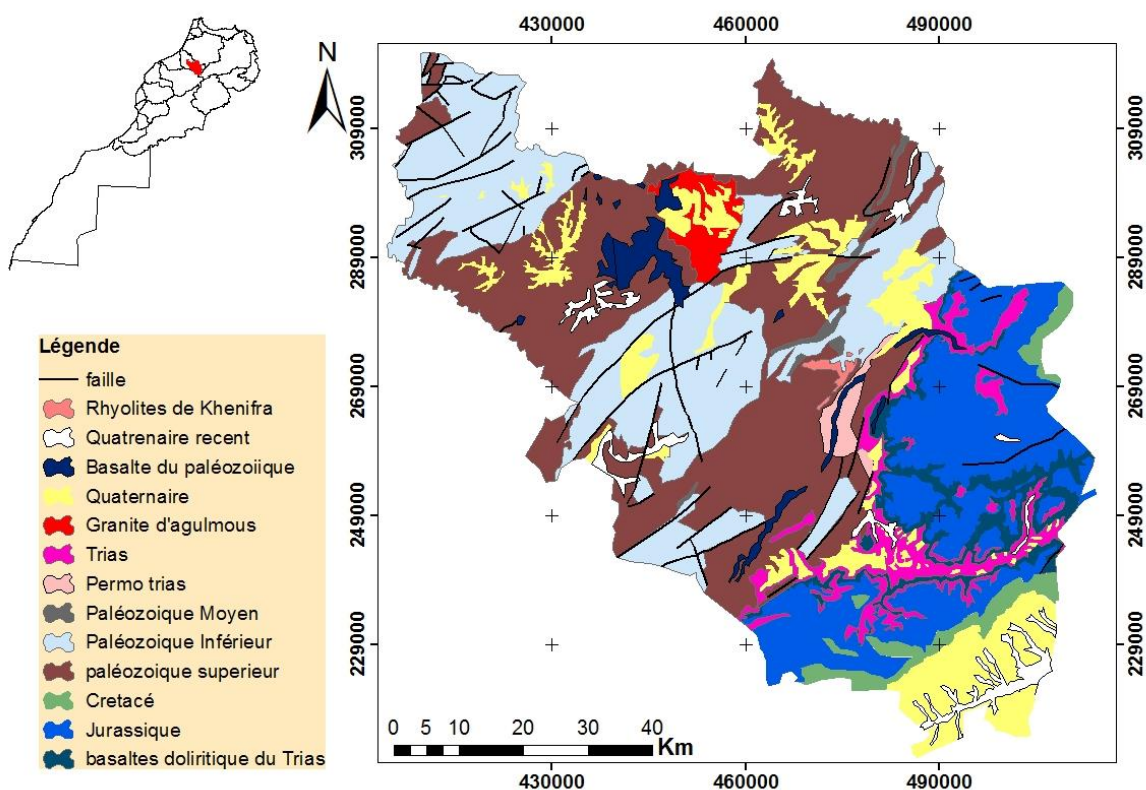


Figure 7: Carte géologique de la province de Khénifra (Carte géologique Rabat, 1976, 1/500000)

De point de vu structural, la zone d'étude est caractérisée par la présence des failles généralement de direction NE-SW. Cette orientation a été structurée lors de la phase majeure de l'orogénèse hyrcénien. L'altération de ces différentes formations et leur évolution pédogénétique ont donné plusieurs types de sols :

- ✓ Sols peu évolués d'apport alluvial et/ou colluvial, qui sont très fréquents, vertisols ;
- ✓ Sols calcimagnésiques ;
- ✓ Sols isohumiques assez profonds dans les vallées et les zones plates relativement stables ;
- ✓ Sols fersiallitiques sous forêts ou sur les terrasses anciennes.

Vue la nature du sol de la région, les conditions climatiques favorisent une érosion intense des sols. En effet, des études réalisées sur l'érosion et l'envasement des barrages ont montrés que les sols de la province de Khénifra sont exposés à une action érosive très intense, estimée à 50 jusqu'à 400 t/ha/an, touchent 54% du territoire (Yjjou, 2014). Cette action d'érosion est due à la complexité de la morphologie de la région.

4. Contexte hydrologique

La Province de Khénifra a toujours été considérée comme le château d'eau du Maroc. Les plus importants fleuves du pays y prennent naissance, notamment (Figure 8) : Oued Oum Er-Rbia et ses deux affluents (oued chbouka et oued Srou), oued Grou affluent d'oued Bouregreg, oued Ksiksou et oued Boukhmira.

Elle englobe quatre bassins versants :

- ✓ Le bassin de Bouregreg à l'Ouest drainé par l'Oued Grou.
- ✓ Le bassin de Moulouya drainé vers l'Est et le bassin d'Oum Er-Rbia qui est considéré le bassin le plus important dans la région et le plus grand au niveau national.
- ✓ Le bassin Oum Er-Rbia supérieur constituant l'artère principale hydrologique de la zone d'étude. Il est drainé par l'Oued Oum Er-Rbia et ses principaux affluents (Srou, Ououmana, Oued Chbouka) sur une superficie de 4318,35 km².
- ✓ Le bassin de Sebou drainé par oued Bouchbel.

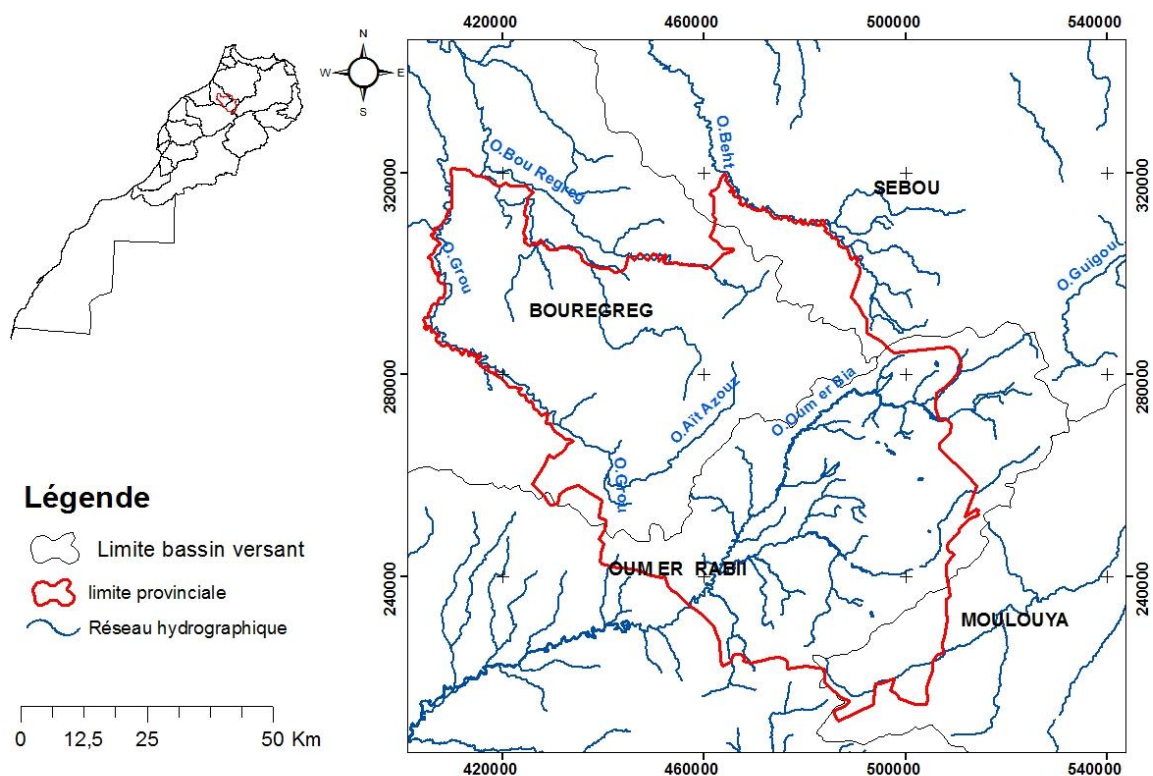


Figure 8: Réseau hydrographique de la zone d'étude

L'Oued Oum Er-Rbia à un débit d'environ 18 m³/s (direction provinciale d'équipement Khénifra, 2008) il prend sa naissance depuis des sources d'Oum Er-Rbia, Jenanmmas et El Kbab. La qualité des eaux de surface est généralement bonne en amont (amont de Khénifra) et elle est dégradée en aval par les rejets urbains de la région (Direction provinciale d'équipement Khénifra, 2008). La Province de Khénifra est caractérisée par la présence de plusieurs lacs et sources d'intérêt éco- touristique parsèment la province.

5. Contexte hydrogéologique

L'étude géologique de l'ensemble de la zone d'étude nous a permis de tirer des informations très importantes sur les caractéristiques de l'écoulement des eaux. Il possède une particularité qui réside dans le fait qu'il bénéficie d'un grand ensemble de plateaux calcaires perméables (cause du moyen Atlas). Il est soumis à des conditions climatiques homogènes (subhumides à humide). Grâce donc à un soutien hydrogéologique, l'oued Oum Er-Rbia et ses principaux affluents (Srou, Ououmana, Oued Chbouka) peuvent bénéficier de l'apport du Karst noyé via les sources karstiques (émergences) (Figure 9). La carte piézométrique a été réalisée à la base des prélèvements d'une campagne effectuée pendant l'année 2016.

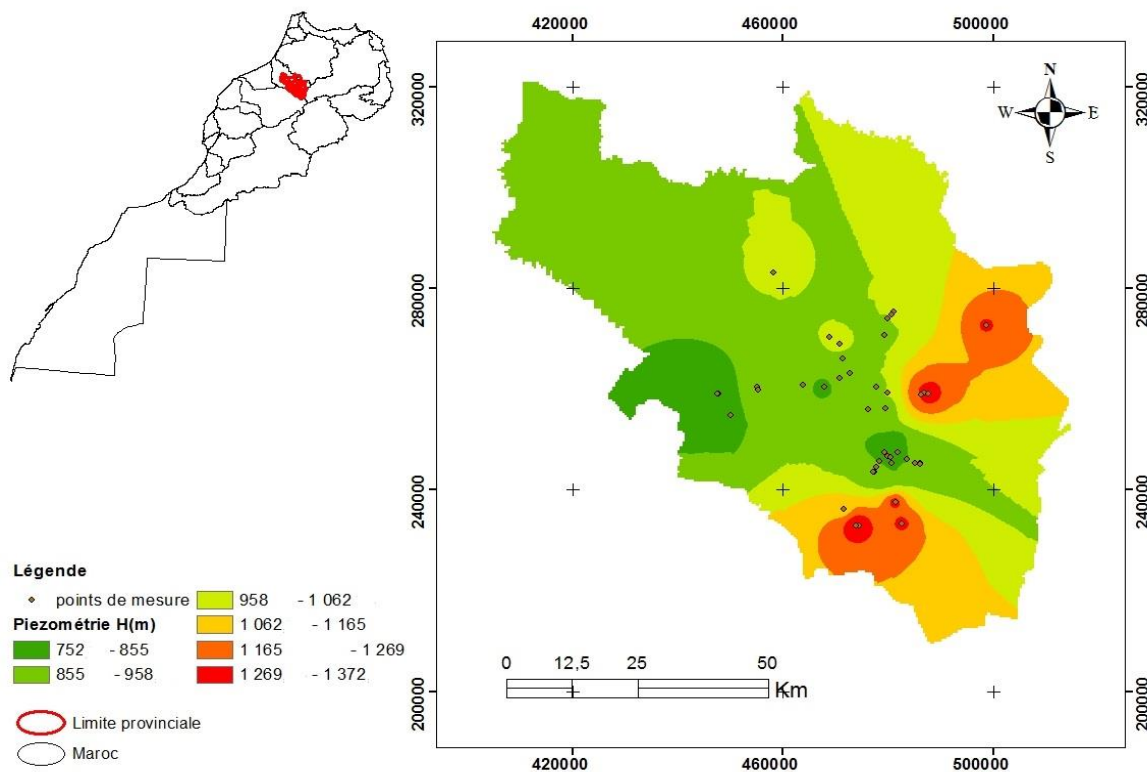


Figure 9: Carte piézométrique (Mai, 2016)

Au niveau de cette province, la morphologie du terrain favorise le drainage des eaux qui vont alimenter la nappe de Tadla et autres nappes dans le bassin versant de Moulouya et Bouregreg. Elle est caractérisée par l'absence des nappes très importantes, due à la nature géologique et lithologique de la

région. Mais, elle est parsemée de petites nappes localisées au niveau de petits réservoirs constituant de petites nappes superficielles dans les vallées alluviales et dans la partie altérée des schistes.

6. Occupation du sol

Les recherches effectuées au sein des services des eaux et des forêts ainsi que dans la monographie de Khénifra et l’image satellitaire du capteur Landsat-Oli 8 nous ont permis de distinguer quatre types de formations végétales dans la province: le milieu forestier (Cèdres, le matorral, les formations lâches ‘steppes et pelouses’, les terrains cultivés et les terrains nus et/ou les habitats (Figure 10). La forêt joue un rôle très important dans le développement du tissu socio-économique de la province, elle couvre une superficie totale de 306 602 ha (Province de Khénifra, 2015).

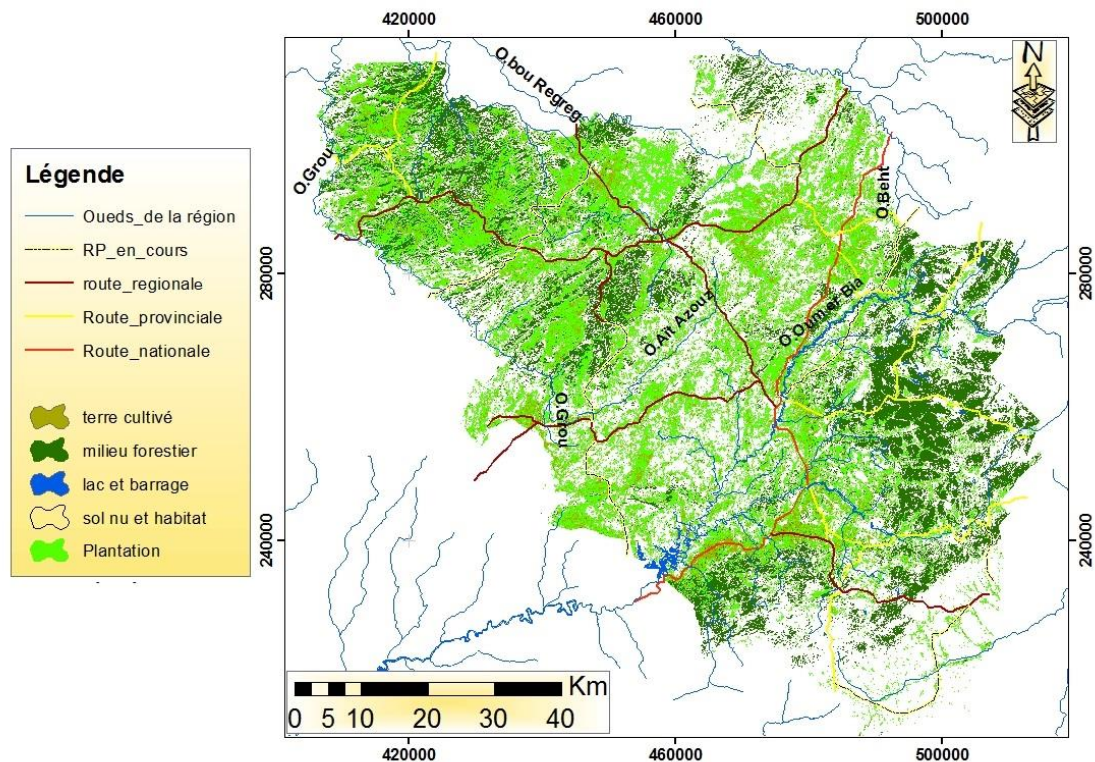


Figure 10: Carte d’occupation du sol de la zone d’étude (2016)

7. Contexte climatique

Le climat de la province de Khénifra est de type méditerranéen continental de montagne. Il se caractérise par un hiver pluvieux et froid avec des périodes d’enneigement dans les hautes montagnes, et un été sec et chaud avec des périodes d’orage (Province de Khénifra, 2015).

Les données climatiques de la région rassemblées, s’étalent sur une période qui dépasse les 20 ans. Elles couvrent presque le bassin le plus important dans la zone d’étude et elles sont fournies par les services de l’Agence du Bassin Hydraulique d’oued Oum Er-Rbia (ABHOER).

7.1. Précipitations

Le régime de précipitation est de type saisonnier avec un maximum de pluie et de neige en hiver. La pluviométrie annuelle varie, selon les régions entre 400 et 700 mm en fonction de l'altitude et de l'exposition.

La répartition géographique des précipitations met en valeur l'influence de l'altitude. Les pluies diminuent nettement avec la diminution de l'altitude qui est l'influence principale lorsque le relief ne vient pas compliquer le schéma. Ceci est un fait généralement connu sur toute la zone d'étude (Figure 11).

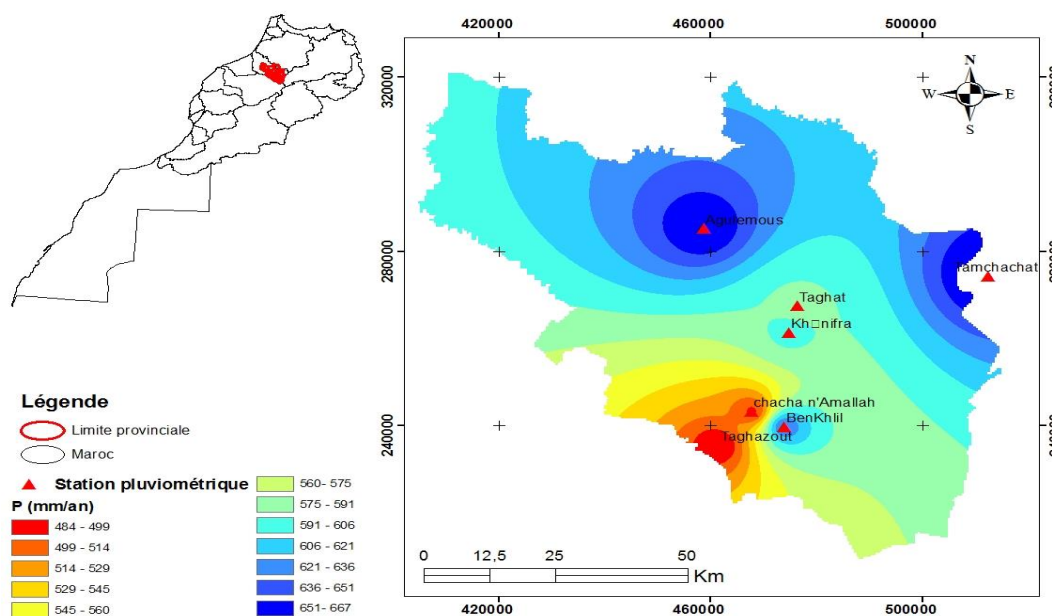


Figure 11: Précipitations annuelles moyennes dans la province de Khénifra (2004-2016)

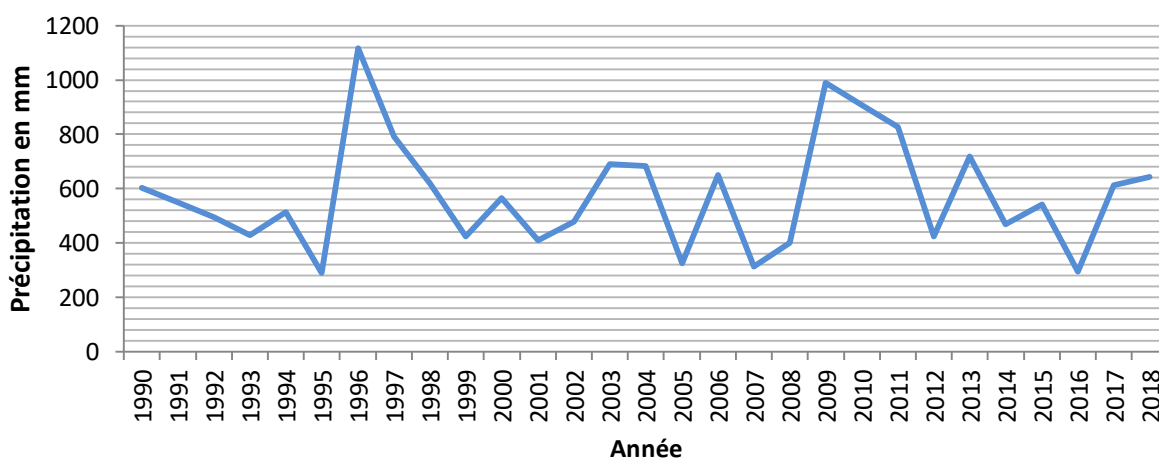


Figure 12: Variation des précipitations annuelles dans la station de Taghat (1990-2018)

L'analyse de la pluviométrie annuelle montre qu'il y a une grande hétérogénéité temporelle des averses ; avec des années sèches et autres humides (Figure 12). Nous pouvons remarquer que :

- ✓ Dans la période 1990 à 2018, quatre années exceptionnellement pluvieuses : en 1996 et 2009 à 2011 la station météorologique a enregistré de fortes précipitations qui avaient dépassé les 800mm.
- ✓ Les années : 1995, 2000, 2005, 2007 et 2016 ont été particulièrement sèches avec des précipitations inférieures à 400mm.

L'analyse de la variation mensuelle des données pluviométriques de la station montre que les mois les plus pluvieux sont d'octobre à mai et que les mois les plus secs sont de juin à septembre. En effet, le mois qui présente un maximum des précipitations est le mois de décembre par contre le mois le plus sec est le mois de juillet (Figure 13).

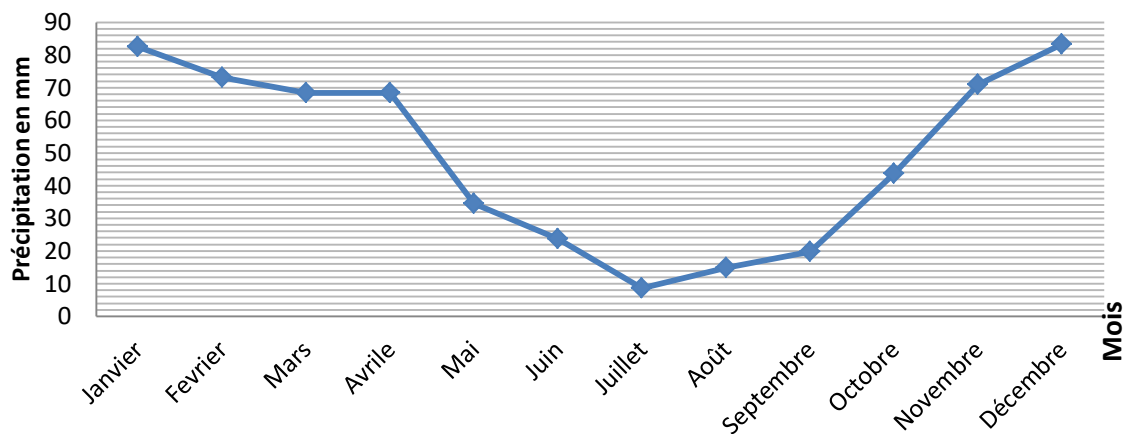


Figure 13: Précipitations moyennes mensuelles dans la station de Taghat (1990-2018)

7.2. Température

Les températures moyennes enregistrées varient d'un minimum de -2°C (janvier) à un maximum de 35°C (juillet - août). La période hivernale est caractérisée par un froid vif. Par contre, la période estivale apparaît de très fortes chaleurs (Monographie de Khénifra, 2015).

La température est sensiblement influencée par l'altitude moyenne du massif d'Atlas centrale. Les valeurs enregistrées sont relativement basses par rapport aux régions avoisinantes et confèrent une allure de climat continental. La figure 14 montre l'évolution annuelle des moyennes de la température dans la station thermométrique de Taghat, entre 1990 et 2012.

La température est un facteur climatique beaucoup plus régulier que les précipitations. La moyenne des températures moyennes annuelles oscille entre 17.5 et 19, l'amplitude entre les maxima et les minima augmente d'une façon générale avec la continentalité.

Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des maxima moyens de 30 à 35°C . Des maxima absolus journaliers supérieurs à 45°C (Figure 14) peuvent s'observer dans toute la région par vent de chergui.

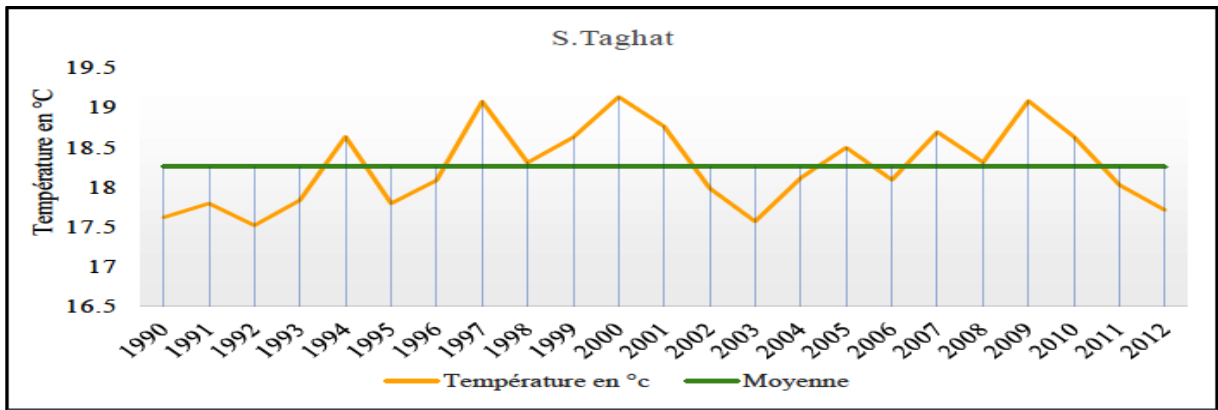


Figure 14: Variation annuelle de la température moyenne entre 1990 et 2012 (station Taghat)

Le diagramme Ombrothermique de la station dont les données sont disponibles montrent que la période sèche s'étale du mois de juin au septembre (soit environ quatre mois), et la période humide, durant laquelle, les températures moyennes mensuelles sont faibles et la pluviométrie locale est la plus forte, ce qui entraîne un stockage majoritaire des précipitations sous forme de neige (Figure 15).

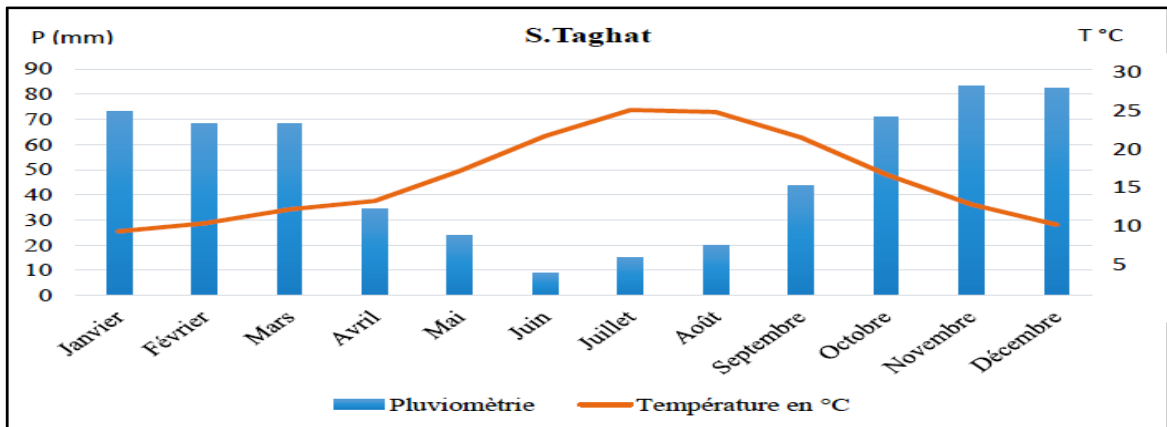


Figure 15: Diagramme Ombrothermique de la station Taghat

7.3. Evapotranspiration

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau évaporée et transpirée. Ce terme résulte de deux phénomènes : le premier physique (Sol, eau de surface, lac,...), c'est l'évaporation. Le 2^{ème} biologique (végétation), c'est la transpiration. Ce phénomène joue un rôle dans le cycle de l'eau. Elle est fortement liée à la variation de la température. Elle augmente lorsque la température est élevée, et diminue lorsque la température baisse.

L'évaporation varie d'un mois à l'autre. Elle est très forte au cours de la saison sèche du mois mai au mois d'octobre (Figure 16). Cela est justifié par une faible quantité des précipitations, et aussi par la longue durée d'ensoleillement favorisant l'évaporation, ce qui aboutit à des cours d'eau de faibles débits. En revanche, au cours de la saison hivernale, l'évaporation est moins importante, cela est dû aux fortes précipitations et à la courte durée d'ensoleillement, avec la présence des neiges aux sommets des montagnes.

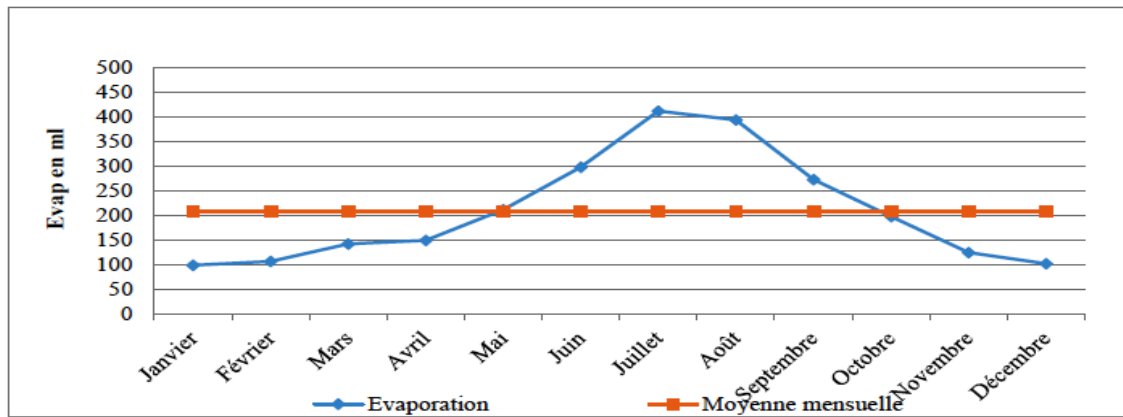


Figure 16: Variation d'évaporation mensuelle dans la station Taghat pendant la période (1990-2012)

7.4. Vent

L'analyse de la rose des vents (Figure 17) issue des données récoltées montre que le vent dominant est de direction Ouest avec une fréquence maximale en hiver et faible ou nulle en été. Il existe aussi par fois le phénomène de Chergui au niveau de l'Est de la région avec une fréquence maximale en été responsable de la sécheresse estivale qui sévit de mai à septembre.

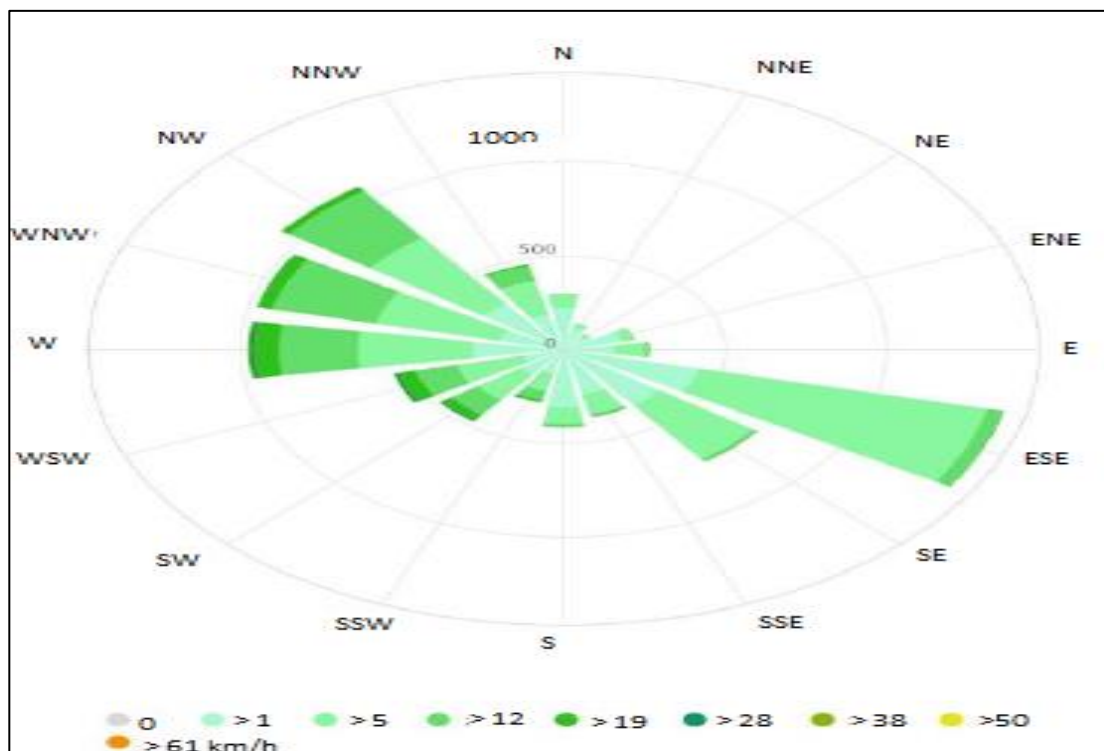


Figure 17: Direction du vent dans la zone d'étude

III. CADRE SOCIO-ECONOMIQUE

1. Evolution démographique

La population de la province de Khénifra est de 371 145 habitants (RGPH, 2014), répartis sur 87573 foyers, soit une moyenne de 4 personnes par ménage. Cette population est caractérisée par une densité relativement importante (55 Hab/Km²). Avec 61,58% au milieu urbain et 38,42% au milieu rural.

Plusieurs centres souffrent de l'exode rural, et ceci traduit par des taux d'accroissement négatif (tableau 7). Certaines commune connaissent un solde migratoire positive, et d'autres en connaissant un solde migratoire négatif. Pour estimer l'évolution de la population, on utilise une formule empirique qui se base sur le taux d'accroissement. La formule utilisée pour le calcul des projections est la suivante :

$$P(x) = Pi(1 + Ta)^{Ax-Ai} \quad (\text{Eq.1})$$

Soit : $P(x)$: Population projetée Pi : population de référence. Ta : Taux d'accroissement.
 Ax : Année identifiée pour la projection. Ai : Année de référence.

Tableau 7: Taux d'accroissement et projection de la population de la province de Khénifra

Communes	Population (2004)	Population (2014)	Taux d'accroissement	Population (2016)	Population (2020)	Population (2024)
Khénifra	101 605	117 510	0,83	119 469	123 484	127 635
ElBorj	4 985	3812	-0,23	3 794	3 759	3 725
M'irt	35196	42730	0,85	43 459	44 956	46 504
Ait Ishaq	19 624	19133	-0,025	19 124	19 104	19 085
Oum Er-Rbia	11 314	9555	-0,15	9 526	9 469	9 412
Moulay Bouazza	9 328	8489	-0,089	8 474	8 443	8 413
Had	7 281	7368	0,64	7 463	7 655	7 853
Bouhssoussen						
Sidi Hsin	3 614	2986	-0,17	2 976	2955	2 935
Aguelmous	35 849	35626	-0,006	35621,73	35613	35604
Sidi lamine	16 340	16 808	0,7	17 044	17 526	18 022
Sidi Amar	2 762	2175	-0,21	2165,87	2147	2129
Lahri	9 424	9085	-0,03	9 079	9068	9 057
EL Kbab	1 6719	16157	-0,03	16 147	16 127	16 108
Sidi Yahya	8 559	7051	-0,17	7 027	6 979	6 932
Ousaad						
Ouaoumana	7 846	8849	0,81	8 993	9 2871	9 592
Tighassaline	14 076	15204	0,77	15 439	15 920	16 416
Kerrouchen	7 598	7021	-0,075	7 011	6 989	6 968
El Hammam	15438	12830	-0,16	12 789	12 707	12 626
Aguelmam	8817	7684	-0,69	7 798	7 371	7 169
Azegza						
Ait Saâdalli	2621	2540	-0,03	2 539	2 535	2 532
Moha	10728	9286	-0,13	9 262	9 213	9 165
OuHammou						
Zayani						
Sabt Ait Rehou	10209	9245	-0,09	9 229	9 195	9 162
Total	359 933	371 145		374 429	380 512	387 054

2. Secteur agricole

La localisation du territoire de cette province dans une région de montagne lui confère une diversité dans les productions agricoles avec une dominance d'élevage et de grandes cultures et une présence de plus en plus remarquable de l'arboriculture fruitière à base d'olivier.

La superficie agricole utile de la zone d'action de la Délégation Provinciale de l'Agriculture de Khénifra (DPA) est de l'ordre de 214.000 ha, soit 32% environ de la superficie totale. Elle est répartie entre les céréales d'automne, les blés tendres, les blés durs, Maïs, Luzerne, Pomme de terre, Orges.... Le système d'irrigation est adopté dans 10% de la surface cultivée, par contre 90% sont des terres Bour (Province de Khénifra 2015).

3. Milieu forestier

Les grandes formations végétales de la zone d'action sont représentées par des peuplements de cèdre à l'état pur ou en mélange avec du chêne vert ou genévrier oxycèdre et thurifère. Le cortège d'espèces floristiques accompagnatrices est riche et diversifié d'où on cite : Le chêne zeen, le chêne liège, le houx, l'érable, le pin maritime, le pin d'Alep naturel, le lentisque, le pistachier de l'Atlas, l'oléastre, le caroubier, l'alfa, ...etc.

Tableau 8: Types des forêts dans la province et leurs superficies (Monographie de Khénifra, 2015)

Essences	Superficies (Ha)
Cèdre	26 029
Chêne vert	232 750
Chêne liège	11 380
Genévrier	10 110
Pin	11 620
Divers	14 713
Total	306 602

Le Parc National de Khénifra est créé en avril 2008. Il est situé dans le Moyen Atlas Central et dépend entièrement de la Province de Khénifra. Il couvre une superficie d'environ de 82.000 Ha et desserve les bassins versants d'Oum Er-Rbia, Mouloya et Sebou (Direction Régionale des Eaux et Forêts du Khénifra, 2008).

Le domaine forestier en constitue 78% et les terrains privés et collectifs 22%. Il s'agit d'un territoire spécifique à la cédraie de l'Atlas et du singe magot et recelant une grande richesse paysagère, géologique, biologique et culturelle en plus de la qualité de son climat (neige en hiver et été clément). Il renferme les écosystèmes représentatifs de la cédraie du Moyen Atlas Central, en particulier la zone biogéographique d'Ajdir, Kerrouchen, ...etc.

4. Secteur du tourisme

La province de Khénifra dispose grâce à sa situation géographique d'atouts naturels considérables se caractérisant par l'existence d'une formation montagneuse à savoir le Moyen Atlas, qui sur le plan naturel, présente, outre son rôle socio-économique, du point de vue touristique un intérêt appréciable. Cet environnement naturel se caractérise notamment par l'existence des grands espaces couverts de forêts de différentes espèces et d'une richesse hydrographique comprenant des rivières et des lacs de superficies différentes. On cite quelques sites d'intérêt touristique dans la province de Khénifra : source Oum Er-Rbia, lac d'Aguelmam Azegza, lac tiguelmamine, plateau d'Ajdír, vallée de l'Oued Srou (Figure 18). En plus de ces potentialités naturelles, la province de Khénifra se distingue sur le plan socio-culturel par la diversité de ses troupes folkloriques, de son artisanat et de ses monuments historiques. Cependant en dépit de ces atouts, l'activité touristique ne connaît pas un développement notable et ce en raison de l'insuffisance de l'infrastructure hôtelière de base d'une part et des moyens d'information et d'animation du secteur touristique d'autre part (Province de Khénifra, 2015) à noter l'absence d'une délégation provinciale du tourisme à la province de Khénifra sans oublier l'insuffisance de l'infrastructure de base en matière de vicinalité menant vers ces sites touristiques.



Figure 18: Sites touristiques dans la province de Khénifra

5. Artisanat

L'Artisanat joue un rôle remarquable dans l'économie provinciale. Il occupe une main d'œuvre importante (+10% de la population active) et draine des revenus non négligeables. C'est aussi l'un des atouts complémentaires de l'industrie touristique locale.

Les activités artisanales sont classées en 2 catégories principales :

- L'artisanat d'art : qui fait appel à l'esprit de création et d'innovation.
- L'artisanat de service : qui est issu des besoins modernes.

Les principaux produits artisanaux réputés dans cette Province sont : Tapis Zayani et M'Rabti, Hanbal, Tamizart, tentes tressées à la toile de poiles de chèvres et divers produits de bois et de cuir.

En milieu urbain l'activité artisanale s'exprime par la fabrication des tapis de Zayane et M'rabti et tissage rural, la menuiserie du bois, la sculpture sur plâtre, le fer forgé, la maroquinerie, la tannerie traditionnelle...

En milieu rural l'activité artisanale s'exprime par le biais des métiers suivants : Tapis et tissage rural, la menuiserie du bois, la poterie rurale et la vannerie.

6. Industrie et commerce

Le secteur de l'industrie et commerce constitue l'un des secteurs importants de l'économie de la province. Il assure l'essentiel des besoins de la population locale en produits et services de consommation.

Les types d'industrie les plus reconnues dans le secteur sont :

- Industries agro-alimentaires
- Industries chimiques et para-chimiques
- Industries mécaniques, métallurgiques, électriques, électroniques.

7. Infrastructures et équipements

7.1. Réseau routier

Vu sa position incontournable, la province de Khénifra présente un réseau routier de 799,156 km (Figure 19). En matière de revêtement, la totalité des routes nationales, régionales sont revêtues. En revanche, seule 34,65 Km des routes provinciales, ne sont pas revêtues. En dépit de ce faible taux de revêtement et couverture en matière des surfaces routières. Il convient de signaler que les chutes de neige et de pluies les plus importantes sont localisées sur les axes Kerrouchen, EL Kbab et Itzer via Ajdir.

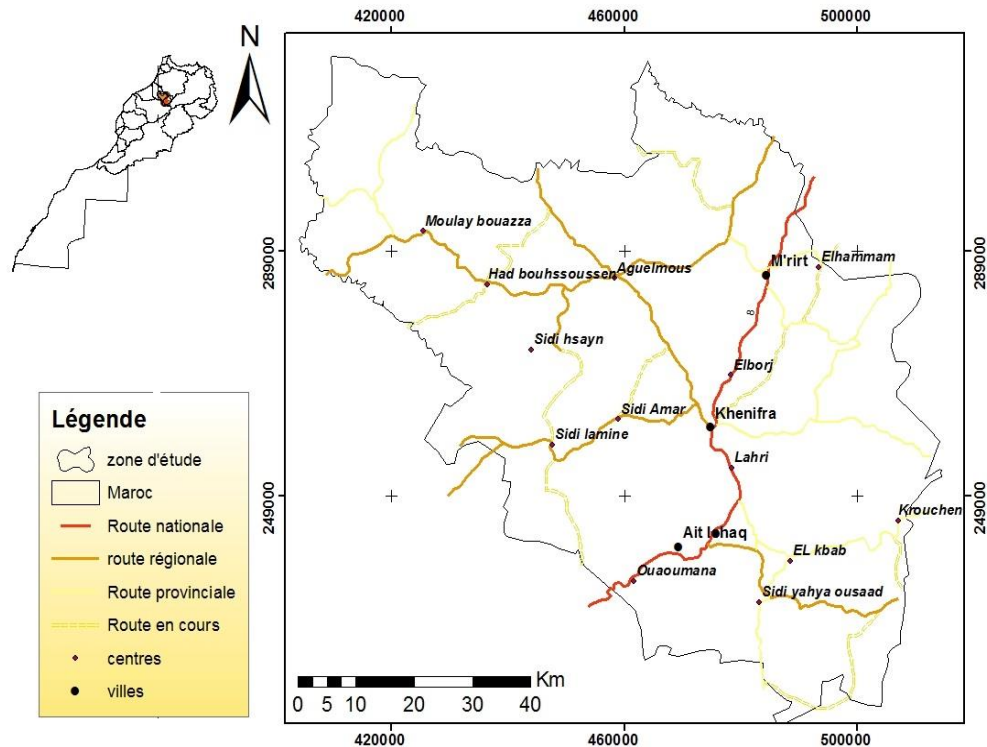


Figure 19: Carte du réseau routier de la province de Khénifra

7.2. Réseau d'eau potable

L'approvisionnement en eau potable dans la province de Khénifra est assuré, dans 13 communes ou centres, par l'ONEE-branche Eau soit 63% de la population. Mais 98% ont accès à l'eau potable dans les communes à caractère urbain. Dans le milieu rural, la situation demeure peu tardive puisque 84% de la population rurale bénéficient de ce service. Le taux moyen d'accès est de 94 % à la fin de 2011 grâce au projet PAGER dont l'alimentation des douars en eau potable est effectuée en majeure partie par le biais de bornes fontaines publiques.

La station de traitement des eaux alimente, en plus du centre de Khénifra, les centres d'Aguelmous, Had Bouhssoussen, My Bouazza, Kahf N'sour, Sidi Bouabbad, Sidi Amar, Lehri, Tighssaline et Ait Ishaq moyennant des adductions régionales. Le centre d'Ouaoumana et les douars relevant des communes de Lehri, Tighssaline et Ait Ishaq et limitrophes aux conduites principales d'AEP sont en train d'approvisionnement en eau potable par l'ONEE-BE. Le volume exploité par toute la population (urbaine et rurale) abonnée de la province atteint 7 779635 m³ en 2013 (ONEE Branche-Eau, 2013).

L'infrastructure existante assurant l'alimentation en eau potable de la population des centres desservis par l'ONEE est constituée des ouvrages suivants : Deux stations de traitement (Khénifra et M'rirt), deux forages, six puits et sept sources gravitaires.

7.3. Réseau d'assainissement liquide

La ville de Khénifra est dotée d'un réseau d'assainissement liquide de type unitaire à pseudo-séparatif. Ce réseau couvre environ 99% des zones d'habitats urbaines avec un linéaire total qui s'élève à

183,41 km. 80% des déchets liquides de la population de la ville Khénifra subissent l'épuration dans une STEP de type lit bactérien d'une capacité de 153 200 Equivalent-habitants et pourra traiter un débit de 12 000 m³/jour à l'horizon 2025. La STEP de Khénifra a été mise en service en 2012.

La ville de M'Rirt est partiellement couverte par un réseau d'assainissement liquide de type unitaire à pseudo-séparatif. La municipalité a été dotée d'une station d'épuration qui est entrée en service depuis 2003 de type lagunage naturel. Un projet de changement du mode de traitement au niveau de la station de M'Rirt, ainsi qu'un projet d'extension du réseau d'assainissement de M'Rirt sont en cours de réalisation.

Les réseaux d'assainissement liquide au niveau des communes de Khénifra et M'Rirt sont gérés dans le cadre de la gestion déléguée confiée à l'ONEE BE.

Le réseau d'assainissement au niveau des centres ruraux de la province varie d'une commune à une autre. Des centres sont dépourvus du service d'assainissement liquide et d'autres utilisent des services modestes avec un taux de raccordement faible. La population non raccordée rejette les eaux usées domestiques, entre autres dans des puits perdus (Province de Khénifra, 2010).

7.4. Electrification

La province de Khénifra est raccordée au réseau national ONEE. L'appel de la puissance est de 40 MW dont 12 MW sont réservés pour la ville de Khénifra. Le taux de raccordement est de 100% dans le milieu urbain et 78% dans le milieu rural (ONEE branche Electricité, 2016, PERG : Programme d'Electrification Rurale Global). L'infrastructure de l'électricité est composée d'un Complexe hydro-électrique de Tanafnit El Borj. Il est situé à 30 Km environ au Nord-Est de la ville de Khénifra.

IV. PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DES DECHETS AU NIVEAU DE LA PROVINCE DE KHENIFRA

Actuellement la gestion des déchets ménagers dans la zone d'étude a des impacts négatifs sur l'environnement sachant que le taux de collecte est faible. En effet, hormis la ville de Khénifra qui vient de renouveler le contrat de gestion déléguée de collecte et de nettoyage, les moyens ne sont pas adéquats et parfois absents pour la collecte à la commune de M'Rirt et dans les centres ruraux. L'impact aussi devient majeur dans les décharges, elles connaissent une situation critique depuis les années 2000. Ce qui engendre des véritables points noirs dans les communes de la province. Ces décharges sauvages posent un problème d'hygiène et de salubrité publique car leurs situations ne répondent à aucune norme et loi nationale. Les déchets sont acheminés vers ces dépôts sans aucun tri à la source. A cause des contraintes sociales et environnementales, les résultats du Plan Directeur Provincial des Déchets Ménagers (PDPDM) n'ont pas été strictement appliqués, notamment en matière du respect des sites des centres de transfert et des sites devront abriter les Centres d'Elimination et de Valorisation (CEV).

1. Problèmes liés à la collecte

Au cours de nos visites des services de propreté au niveau des communes de la province, on a pu déduire que le système de la collecte adopté (Porte à porte) par les communes est inadéquat devant une population mal sensibilisée qui ne respectent pas les horaires de la collecte. De plus le nombre insuffisant des conteneurs et des moyens de collectes. Ce qui provoque la répartition et la multiplication des points noirs dans les communes et surtout en périphérique. La présence des quartiers à accès difficile dans le cas où la voirie est inexistante ou en mauvaise état rend ce système de collecte inadéquat. En effet, certains centres ne disposent d'aucun système de collecte et par conséquent des impacts négatifs sur le milieu.

2. Problèmes liés aux décharges

Les visites des décharges nous ont permis d'identifier les impacts suivants :

- Impact sur la qualité de l'air : due au dégagement d'odeurs indésirables, des poussières, de la vapeur chargée de méthane et aussi des fumées engendrées par l'inflammation des déchets. L'abondance des déchets organiques qui produisent du biogaz déclenche des incendies et peut même aller jusqu'à causer des explosions accidentelles si la situation reste non contrôlée.
- Impact sur les ressources en eaux : à l'intérieur des décharges, en traversant les déchets, les eaux de pluie se chargent en germes pathogènes, en polluants organiques et minéraux. Ce qui entraîne au problème d'infiltration des Lixiviats vers les eaux souterraines. Où s'ajoute le drainage de ces polluants vers les cours d'eau présents et les affluents avoisinants (Figure 20).



A

B

Figure 20 : situation critique dans certaines décharges publiques de la région (Mars, 2016)

A = Décharge de Tighza ($x= 478818 / y= 286461$), B = Sidi Lamine ($x=447918 / y=257833$)

- Impact sur la faune et la flore : l'impact sur la flore se manifeste par la réception des sols environnants des envols d'origines de la décharge et le risque de contamination avec les Lixiviats étant donné que le terrain des décharges est perméable. L'impact sur la faune s'impose avec acuité par la présence des oiseaux rapaces, du bétail et les rongeurs qui peuvent être vecteurs des maladies (Figure 21).



Figure 21: Décharges de la commune de Khénifra (Août, 2017)

Le milieu forestier a été touché par l'évacuation des déchets (Figure 22).



Figure 22: Décharge d'Aguelmous (Mars, 2016)

- Impact sur le paysage : la majorité des décharges de la province sont situées à proximité des routes (décharge de Khénifra à la proximité de la route nationale N8 vers Béni Mellal). Ce qui entraîne à une mauvaise visibilité par l'envol des sacs en plastiques notamment dans les périodes de vents violents.
- Impact sur la santé humaine : les habitations se trouvent parfois à moins de 1000 m de la décharge de Khénifra. Ce qui peut engendrer des effets néfastes sur la santé humaine.

V. CONCLUSION

La province de Khénifra est un territoire qui se caractérise par un milieu naturel diversifié, mais fragile, ainsi que des activités primaires et secondaires traditionnelles en pleine mutation. Cette conjonction particulière d'éléments en fait un paysage anthropogène caractéristique actuellement en transition. Cet environnement naturel se caractérise notamment par l'existence des grands espaces couverts de forêts de différentes espèces et d'une richesse hydrographique comprenant des rivières et des lacs de superficies différentes. Donc, il s'est avéré nécessaire de préserver ce patrimoine éco-touristique contre les problèmes et les risques issus des déchets solides. Donc, avant d'arriver à des situations critiques, ces derniers doivent être gérés correctement en passant par une meilleure collecte, un bon transport et un traitement convenable (objectif de notre étude de thèse).

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE SUIVIE ET TECHNIQUES D'ANALYSES UTILISEES

I. INTRODUCTION

La gestion efficace et pérenne des déchets solides dans la province de Khénifra, oblige et justifie la mise en place d'un système de gestion qui répond aux exigences locales de la région. A cet effet, le choix du modèle le plus adéquat pour une bonne gestion est devenu indispensable pour faciliter le processus de prise de décision dans la gestion des déchets. Une telle gestion efficace pour qu'elle soit raisonnable et donne des résultats exploitables, il est nécessaire qu'elle soit basée sur une approche multidisciplinaire intégrant des critères techniques, sociaux, environnementaux et économiques. Cette approche ne peut être achevée que lorsqu'on dispose d'une base de données solide sur l'ensemble des secteurs et domaines qui rentrent en contact étroit avec le domaine des déchets. A cet effet, la caractérisation des déchets, l'approche sociale, l'étude économique et environnementale est l'une des choses primordiales qui aideront à extraire le maximum possible d'informations sur ce qui se passe en réalité avant de passer à la prise de décision future. Le concept principal de la méthodologie consiste à combiner entre autres, une étude socio-économique et environnementale pour le choix d'un meilleur système de gestion des déchets. Bien sûr, tout en utilisant des nouveaux concepts scientifiques et technologiques récents. Cependant, la méthodologie adoptée est subdivisée en cinq grandes étapes (Figure 23) à savoir :

1^{ère} étape : Un diagnostic de l'état actuel de la gestion des déchets dans la province de Khénifra. Ceci a été effectué par des sorties au terrain pour collecter des données, des enquêtes auprès des citoyens et des autorités concernés afin de mettre l'accent sur les contraintes et les défiances qui manifestent que ce soit en terme de collecte, transport et traitement.

2^{ème} étape : Deux campagnes de caractérisation des déchets dont le but de fournir le maximum d'informations et de données de référence pouvant aider les décideurs dans la prise de décision relativement à la gestion et au traitement des déchets. En effet, l'accessibilité de cet outil va permettre aux décideurs de pouvoir conduire des études périodiques afin de suivre les changements et les évolutions spatio-temporelles de la situation de la gestion des déchets. Ceci leur permettra d'optimiser les choix dans des programmes susceptibles de contribuer à résoudre la problématique des déchets (valorisation, recyclage, traitement, ...etc.).

3^{ème} étape : la valorisation des déchets ménagers de la province de Khénifra est une nécessité. Le compostage reste la filière la plus adaptée. Cette étape consiste à réaliser des essais de compostages, sous condition naturelles, pour étudier et évaluer les propriétés physico-chimiques et microbiologiques du compost des déchets solides de cette région afin de permettre, au futur proche, une meilleure valorisation des déchets organiques et de protéger l'environnement et la santé humaine.

4^{ème} étape : La conception d'un modèle décisionnel multicritère couplant la géomatique et l'analyse multicritère (fuzzy AHP), qui permet de faciliter aux décideurs le choix d'un site favorable pour le

stockage et le traitement des déchets ménagers tenant compte des critères géo-environnementaux et socio-économiques dans la province de Khénifra.

5^{ème} étape : Proposition des solutions adéquates selon des scénarios et des modèles de gestion, tout en prenant compte les critères socio-économique, technique et environnementaux. Ces différents scénarios sont testés par la méthode d'analyse multicritère (AHP) et classés en fonction de leur performance et de leur efficacité aideront certainement les décideurs à prendre une décision pour le meilleur système de gestion qui tient compte les particularités de la région d'étude.

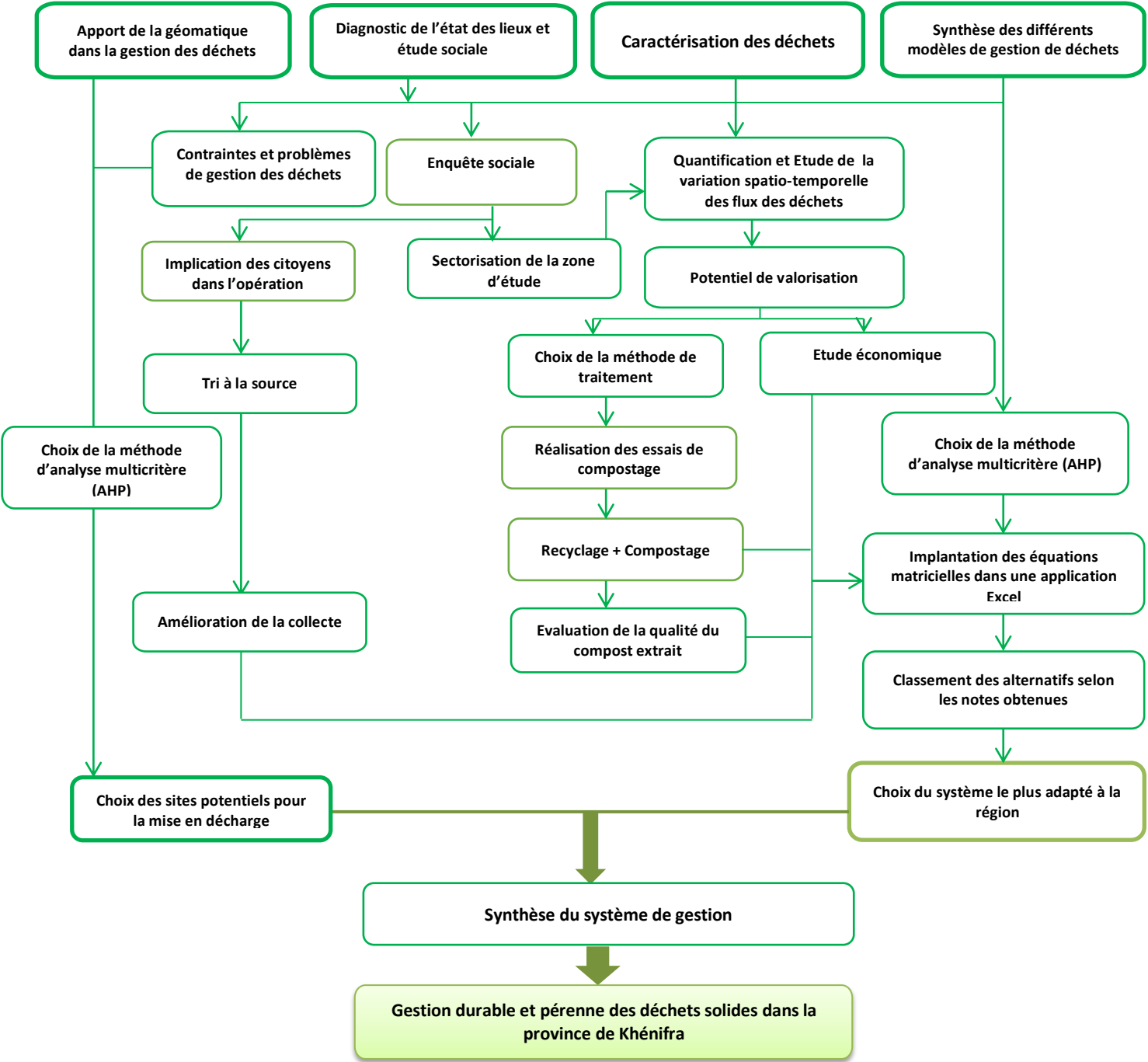


Figure 23: Organigramme de la méthodologie de thèse suivie

II. ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Plusieurs paramètres globaux ont été mesurés in situ et au laboratoire sur des substrats différents :

- Les broyats des déchets solides,
- Les composts, y compris leurs extraits.

1. Conservation et préparation des échantillons

Les échantillons des déchets solides et des composts ont été séchés et transformés en poudre à l'aide d'un broyeur mécanique. Puis, ils ont été fractionnés à l'aide d'un tamis 2 mm de porosité. La matière organique, le pH eau, le Carbone Organique Total (COT), l'Azote Total Kjeldahl (NTK) et les Métaux Lourds (ML) sont mesurés sur le broyat (Wang et al., 2010; Mohan et al., 2009, Koledzi al., 2011).

2. Mesure de l'humidité

Le taux d'humidité (%H) est déterminé sur les échantillons de composts et de déchets, le jour de prélèvement, pour limiter les pertes de masse par évaporation. La méthode utilisée est la méthode normée AFNOR NF U 44-171 qui consiste à sécher une masse de $100 \text{ g} \pm 0,1$, à $105^\circ\text{C} \pm 2$ à l'étuve jusqu'à poids constant, pendant 72 heures (Garcia et al., 2005; Khalil et al., 2008). Le taux d'humidité est calculé par l'expression :

$$H (\%) = 100 * (Ph - Ps) / Ph \quad (\text{Eq.2})$$

Avec Ph et Ps correspondent, respectivement, aux poids de l'échantillon humide et sec.

3. Mesure de la matière organique (MO)

Il existe plusieurs méthodes et techniques pour mesurer la matière organique. Les plus rencontrées dans la littérature sont celles effectuées par calcination de la matière sèche à 550°C (Tchobanoglous et al., 1993 ; Kelly et al. 2002-b ; François, 2004 et autres). Dans cette étude, la matière organique est déterminée par calcination d'une masse d'un échantillon de déchets secs (3g) ou de compost sec (5g) à 550°C dans un four pendant 4h 'NF ISO 14235, NF U 44-160' (Topanou, 2012). Le taux de MO est obtenu par différence entre la masse avant et après calcination rapportée à la masse initiale de broyat sec des déchets introduits au four, par l'expression:

$$MO (\%) = 100 * (Pi - Pf) / Pi \quad (\text{Eq.3})$$

Avec Pi et Pf représentant respectivement les poids secs de l'échantillon avant et après calcination.

4. Mesure du pH eau des déchets solides et du Compost

Le pH a été déterminé dans une suspension de 10 g de compost et des déchets dans 25 ml d'eau distillée. Après 30 minutes d'agitation à l'aide d'un agitateur magnétique, la suspension est laissée au repos pendant deux (2) heures et le pH est ensuite mesuré avec un pH-mètre à électrode.

5. Mesure du carbone organique (CO) et l'azote Total Kjeldhal (NTK).

Le carbone organique et le NTK des différents composts et des déchets solides ménagers ont été mesurés selon les normes AFNOR(2001) et leur rapport C/N calculé :

- Le carbone organique total, sur les échantillons solides est déterminé à partir de la matière organique, il est calculée par la relation suivante (Yang et al., 2018) :

$$\text{SOM (\%)} = 1,724 * \text{COT} \quad (\text{Eq.4})$$

Avec SOM : Matière organique dans l'échantillon et COT: carbone organique

- L'azote total Kjeldahl, somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique, est mesuré selon la méthode AFNOR.NF T 90-110 (Topanou, 2012).

6. Analyse des métaux lourds (ML)

L'analyse des métaux lourds est une tâche indispensable pour mesurer le potentiel polluant dans les composts extraits des déchets solides. Dans cette étude, on a déterminé ce potentiel polluant afin d'évaluer la qualité du compost obtenu et d'orienter les démarches futures de mise en œuvre de programmes adaptés de gestion et de traitement en vue d'atténuer l'impact de ces métaux sur l'environnement.

Les techniques les plus utilisées pour les ML sont la Spectrophotométrie (UV), fréquemment utilisée dans les PED à cause notamment du coût relativement abordable, la Spectrométrie d'Absorption Atomique avec une source d'atomisation four ou flamme, la Spectrométrie d'Emission Plasma ou Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) et la Polarographie.

Dans cette étude, les concentrations totales en métaux lourds ont été déterminées en utilisant la fluorescence X qui a permis de déterminer la composition chimique des échantillons du compost. L'appareil utilisé est le spectromètre de fluorescence (Thermo-science).

7. Détermination du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI)

Le pouvoir calorifique inférieur est déterminé par plusieurs méthodes (PCI). Il peut être calculé à partir du pouvoir calorifique supérieur (PCS) mesuré à l'aide d'une bombe calorimétrique (Diop, 1988). D'autres méthodes le déterminent à partir de la composition élémentaire des déchets, calculée sur sec (Cooper et al., 1999 ; Abu-Qudais et al., 2000 et Kathiravale et al., 2003) ou utilisent des formules de calcul simplifiées en fonction du PCS et l'humidité ou en fonction des teneurs des déchets en catégories et de l'humidité (Abu-Qudais et al., 2000 ; Wilson et al., 2001 ; Kathiravale et al., 2003 et Aloueimine et al., 2005-b). Le tableau en dessous donne quelques modèles empiriques utilisés pour évaluer le PCI dans les déchets :

Tableau 9: Modèles empiriques pour déterminer le PCI des déchets (kcal/kg en masse sèche)

Composition physique	Références
Modèle conventionnel	Abu-Qudais, (2000) ; Dong et al., (2003) ;
$\text{PCI} = 88.2R + 40,5 (G+P) - 6 W$	Kathiravale et al., (2003)
Modèle Ali Khan	
$\text{PCI} = 23(G+3,6.P) + 160(R + Ru)$	Kathiravale et al., (2003)
Autre modèle	Wilson et al. (2001)
$\text{PCI} = 40 (P+T+B+F) + 90R - 46W$	Aloueimine et al. (2005)

Soit : PCI en (kcal/kg) ; R = % des plastiques (en masse sèche) ; P = % papier-carton (en masse sèche) ; G = % du reste des déchets (en masse sèche) ; Ru = % caoutchouc et cuir (en masse sèche) ; T = % textiles (en masse sèche) ; F = % fermentescibles (en masse sèche) ; B = % bois et feuilles (en masse sèche) ; M = % solides volatiles ; W = % humidité et C, O, S = teneurs en ces éléments (exprimé % sur sec).

D'après l'analyse bibliographique, la détermination du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) pour les déchets de la province de Khénifra a été faite empiriquement en fonction de la composition des déchets par catégorie suivant certains modèles (Abu-Qudais et al., 2000 ; Wilson et al., 2001 ; Kathiravale et al., 2003 et Aloueimine et al., 2005-b), le choix du modèle dépend notamment de la précision des résultats et des moyens techniques dont on dispose. Le PCI est donc calculé en fonction de la teneur des catégories suivantes dans le déchet : papier, carton, textiles totaux, combustibles non classés, fermentescibles, plastiques, selon le modèle suivant (Aloueimine, 2006):

$$PCI = 40(P + T + B + F) + 90R - 46H \quad (\text{Eq.5})$$

Où : H- humidité moyenne des déchets ; (%) P, T, B, F, R - les teneurs (en %) respectivement des fractions papier, textile, déchets verts, fermentescibles et plastique.

III. CARACTERISATION DES DECHETS SOLIDES

1. Enquêtes auprès des ménages

Vu la superficie importante de la province de Khénifra et les caractéristiques hétérogènes des déchets solides et de l'influence du niveau de vie des ménages sur leur composition et leur quantification, l'étude consiste à procéder à la subdivision de la province en deux grands secteurs : secteur à caractéristiques urbaines et secteur à caractéristiques rurales. En fonction du niveau de vie essentiellement déterminé par la qualité et la nature de l'habitat et ses habitants, nous avons divisé le secteur urbain en trois strates (quartiers). Un échantillonnage aléatoire est alors opéré pour définir les ménages enquêtés.

L'enquête préliminaire auprès des ménages est une composante indispensable de la caractérisation des ordures ménagères. Elle est anonyme, ce qui contribue fortement à l'adhésion de la population ciblée.

Le questionnaire utilisé, rassemble un ensemble de questions dirigées vers des personnes de couches sociales, de sexes et d'âges variés : les chefs de ménages ou leurs épouses. Cette enquête a permis de recueillir des informations utiles et indispensables notamment: la taille des ménages, leur pratique de gestion de leurs déchets ménagers, l'idée qu'ils se font concernant la valorisation des déchets ou de l'une de ses fractions et leur vision pour sa gestion globale ou s'ils sont prêts à payer pour un service d'enlèvement des déchets et le montant à payer (Topano, 2012). Ainsi que leurs taux de satisfaction face aux prestations proposées. Au terme de ces enquêtes, les informations sont reportées sur un tableau Excel et sont traitées pour synthèse et prise de décisions en vue d'une stratégie de la mise en place d'un schéma adéquat pour une gestion durable des déchets.

2. Méthode de caractérisation des déchets solides

2.1. Objectif de la caractérisation

La réalisation d'une campagne de caractérisation des déchets dans la région de Khénifra reste un élément primordial pour pouvoir fournir un outil d'aide à la décision le plus complet et réaliste possible. La sectorisation de la région de Khénifra et le choix des échantillons sont basés sur l'étude socio-économique réalisée dans cette province (Elhamdouni et al., 2018), permettant de distinguer les différentes zones d'habitat, commerciales, administratives, rurales, ...etc. La typologie retenue pour les deux campagnes de caractérisation est la suivante :

- Zones Populaire (ZP) ;
- Zone Moyenne Haute Standing (ZMHS);
- Zone Centre-ville (CV) ;
- Zone Rurale (ZR).

2.2. Echantillonnage, séparation par taille et par catégorie

L'échantillonnage représente l'étape décisive dans la fiabilité des résultats de caractérisation, cela dépend avant tout de l'objectif visé par l'étude. L'hétérogénéité des gisements des déchets (catégories, sous-catégories) et la variation au sein des populations ciblées (quartiers, ménages) renvoyant l'échantillonnage encore plus complexe (Wavrer et al., 2009). Les études recommandent un échantillon de poids variant de 90 Kg à 135 kg (Chandana et al., 2006). D'autres méthodes recommandent la sélection de 100 à 200 Kg de déchets après un quartage (Tahraoui et al., 2012). La méthode MODECOME recommande un échantillonnage de 500 kg après le quartage pour limiter les erreurs de mesure. Mais, dans cette étude, les déchets de la province de Khénifra ne contiennent pas des pertes alors, nous avons opté pour une masse de 200 kg \pm 10 d'échantillon après un quartage d'un camion pris au hasard lors du déchargement des déchets. Cette opération a été répétée pour les quatre zones de la région de Khénifra pendant deux périodes 7/7j (la période sèche et la période humide) afin d'évaluer l'influence éventuelle des saisons. Certaines modifications ont, cependant, été apportées pour tenir compte des conditions locales.

L'échantillonnage s'est déroulé dans la zone de vidage des camions sur le site, à l'aide d'une chargeuse ou pelle mécanique, puis l'échantillon choisi est transporté à un local équipé. Par la suite, les déchets sont triés grâce à une table de tri (Figure 24) qui a permis de réaliser une séparation en trois tailles, à savoir : la Fraction > 250 mm (G1), fraction moyenne 250 - 80 mm (G2) et la fraction inférieure à 80 mm (G3). Ce choix se justifie par le fait que la majorité des déchets de petite taille sont constitués de matières organiques (Ouigmane et al, 2017; Mechadi et al., 2016). L'opération suivante consiste à trier les deux fractions G1 et G2 en 10 catégories et selon le MODECOM (ADEME, 2007): putrescible (Fermentescibles), papiers et cartons, textiles et textiles sanitaires, plastiques, verres, métaux, combustible non classés (CNC), déchets démolition et céramique. La méthodologie suivie lors de la caractérisation est présentée par la figure 25.

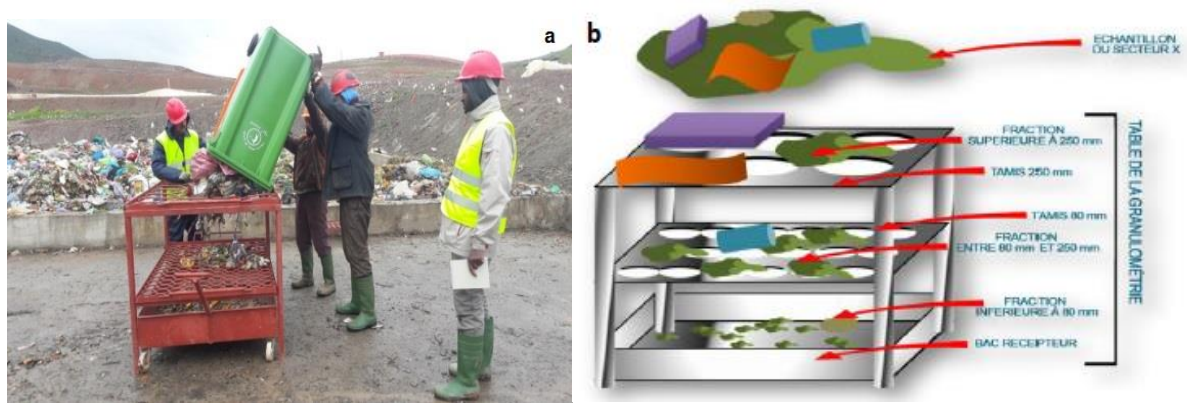


Figure 24: Opération de tri sur le site (a), Schéma de la classification par taille (b)

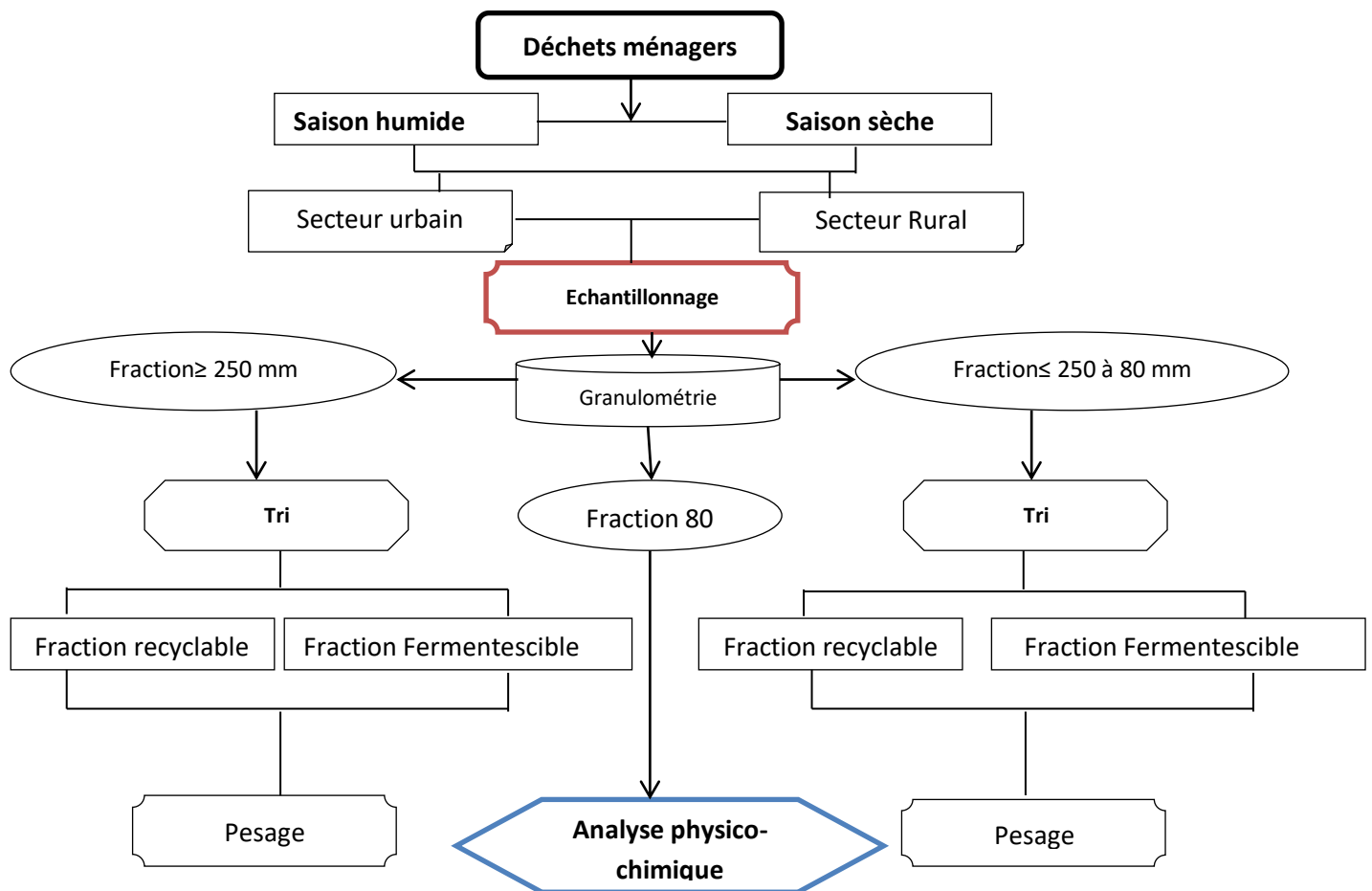


Figure 25: Méthodologie adoptée pour la caractérisation des déchets ménagers de la zone d'étude

IV. ELABORATION DES ESSAIS DE COMPOSTAGE

1. Campagne de compostage

Les essais de compostage ont été entrepris dans le site d'élimination et de valorisation des ordures ménagères (CEV) de la ville de Khénifra. Ce site a été créé dans le cadre d'un projet de coopération entre le Secrétariat d'Etat chargé de l'environnement, le Ministère de l'Intérieur et le groupement de communes territoriales ATLAS pour réduire l'impact des déchets sur l'environnement.

A leur entrée dans le site, les ordures ménagères sont mises en andains sans aucun traitement préalable. Par la suite, les déchets subissent un traitement physique qui consiste en un tri manuel afin d'enlever les éléments grossiers du compost, en un criblage par un tamis d'une maille de 80 mm dans le but de diminuer l'hétérogénéité des ordures ménagères. La matière organique fermentescible issue de ces traitements est remise en andains. Au cours de cette expérimentation, nous avons réalisé deux fosses. Leurs dimensions sont de 1m x 0.70m x 0.70m (longueur x largeur x profondeur) et correspondent à une masse approximative d'une tonne. La première fosse contient la matière organique des déchets ménagers (Inférieure à 80 mm). La deuxième, en plus de cette fraction on y ajoute des déchets verts. Un retournement chaque deux semaines afin d'homogénéiser progressivement un déchet hétérogène au départ, et l'arrosage permet de maintenir une humidité élevée.

2. Echantillonnage

A la fin du processus (6 à 7 mois), le compost obtenu est tamisé sur la table de tri. La matière fine du compost (MFC) recueillie à travers la maille de 2 mm, est pesée et envoyée au laboratoire pour étudier ses paramètres physico-chimiques et microbiologiques. La matière non fine appelée matière refuse, obtenue sur la maille de 2 mm est également pesée et conservée dans des sacs.

3. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques sont réalisées à partir d'une suspension de 10 g de compost dans 90 ml d'eau distillée stérile. La suspension est par la suite agitée pendant une heure dans le but de libérer le maximum de la charge microbienne. Le dénombrement des coliformes fécaux, E. Coli, des streptocoques fécaux et des champignons se fait selon la méthode du nombre le plus probable (NPP) (Rodier, 1978).

4. Tests de phyto-toxicité

Pour évaluer la maturité des composts obtenus, nous avons effectué deux tests de phyto-toxicité sur les graines de deux cultures différentes (maïs, tournesol), le choix des deux plantes est justifié en raison des conditions locales de la région et la rapidité des variétés qui est une réponse de 2 jours de ces espèces. Le premier test a pour objectif de déterminer l'effet de l'extrait aqueux du compost sur la germination des graines des deux cultures. La maturité est évaluée suivant le taux de germination des graines. Une proportion du compost (g/ml) est préparée pour chaque test de compost. Le compost/eau distillée est laissé en contact pendant 2 heures. Ce mélange est ensuite centrifugé pendant 15 minutes. Le surnageant est passé à travers un papier filtre. Quatre dilutions sont préparées à partir du filtrat final pour avoir une concentration de 25, 50, 75 et 100 % de l'extrait. Les graines sont mises à germer dans des boîtes de Pétrie contenant du coton (10 graines par boîte constitue une répétition). Les boîtes sont imbibées chacune avec 5 ml de l'extrait aqueux du compost (2 boîtes pour chaque dilution). Les 2 boîtes témoins reçoivent 5 ml d'eau distillée. La germination a lieu à l'obscurité à 26°C. Le nombre de graines germées par boîte est déterminé et la longueur de la racine est mesurée après 3 jours.

Deuxième test est considéré comme un test de confirmation et de validation. Ce test a été réalisé en semant 12 graines de chaque culture dans des pots en plastique contenant du sol, du compost seul et du compost (25 %) mélangé à du sol et à raison de 4 pots par catégories. Les pots ont été arrosés tous les jours. Après 15 jours d'incubation, à une température de 25 °C, la maturité du compost a été évaluée selon le pourcentage de germination par rapport au témoin.

V. COMBINAISON DE LA GEOMATIQUE ET DE LA METHODE (FUZZY AHP) POUR LA SELECTION DES SITES DES DECHARGES

1. Introduction

Le choix du site des décharges est un processus complexe impliquant des paramètres socio-économiques, environnementaux et techniques ainsi que les règlements en vigueur, ce qui nécessite évidemment le traitement d'une quantité massive de données spatiales. Ainsi la dynamique initiée au niveau national relative à l'amélioration des services en rapport avec la gestion des déchets nécessite de l'appui et l'accompagnement. L'objectif de cette partie de thèse, vise à contribuer à la conception d'un modèle décisionnel multicritère. Ce dernier permet de faciliter aux décideurs le choix du meilleur site pour le stockage et le traitement des déchets solides de la province de Khénifra.

2. Inventaire des activités dans la zone d'étude

Avant chaque étude de présélection de décharge, il est impératif de procéder à un inventaire systématique des activités dans la région d'étude ainsi que toutes les contraintes environnementales à la création d'une décharge. Le choix des alternatives doit tenir compte de la proximité de la source de production du site potentiel d'implantation de la décharge et son accessibilité. L'objectif est de minimiser les coûts et le temps de transport tout en respectant l'équidistance par rapport aux agglomérations à desservir.

3. Délimitation de la zone d'étude

La distance maximale par rapport à l'agglomération concernée est de 20-30 km. Le choix de ce rayon a pour objectif de minimiser le coût de transport. Pour une décharge au-delà d'un rayon de 20-30 km, le centre de transfère devient obligatoire (Oufama, 2010). Dans le présent travail, la zone d'étude a été choisie en tenant compte le centre de gravité lié à la population et la quantité des déchets ménagers produite.

4. Délimitation des surfaces libres

4.1. Délimitation des zones d'exclusion (négatif Mapping)

Lors de l'établissement des cartes thématiques, à chaque thème peut être affecté « un rayon de sécurité » à l'intérieur duquel il est interdit de placer une décharge. Les rayons de sécurité sont différents d'un thème à l'autre et d'un sujet à l'autre. Le choix du rayon de sécurité se fait en fonction de l'importance du sujet et prend en compte plusieurs paramètres spécifiques au thème. Il faut bien noter qu'il n'existe pas

de méthodes mathématiques pour calculer ces rayons, mais plutôt de l'expertise basée sur les expériences cumulatives dans le domaine d'installation des décharges et sur l'analyse des impacts naturels et socioéconomiques engendrés.

Tableau 10: Critères de choix et leurs rayons de sécurité.

Critère	Rayon de sécurité	Commentaires
La forêt et les réserves naturelles		Il s'agit des réserves forestières de valeur biologique (chêne liège) ou de valeur économique considérable (Pins)
✓ Les zones forestières	✓ RS=300 m	
✓ Parcs naturels	✓ RS = 500 m	
Les surfaces à vocations agricoles :		Il s'agit des surfaces agricoles à haut rendement et des périmètres irrigués avec infrastructures importantes
✓ Les zones agricoles	✓ RS=300m	
L'eau		
✓ Les barrages	✓ Exclure	Il s'agit de préserver les ressources en eau
✓ Les puits privés	✓ RS = 500 m	
✓ Les principaux fleuves	✓ RS =500 m	
✓ Les sources	✓ RS = 2 Km	
Les surfaces à contraintes socio-économiques		
✓ Les sites à culte régional	✓ RS = 500 m	L'emplacement de la décharge doit être dans des zones où la nuisance à l'activité économique et sociale est minimale.
✓ Les agglomérations	✓ RS = 500 m	
✓ Les aéroports	✓ RS = 5 Km	
✓ Les cimetières	✓ RS = 500 m	
✓ Les routes goudronnées	✓ RS = 500 m	
✓ Les sites historiques	✓ RS = 500 m	
✓ Les zones touristiques	✓ RS = 500 m	
Les surfaces à contraintes géologiques		Il s'agit d'exclure toutes les zones qui présentent des risques géologiques majeurs.
✓ Exclusion des affleurements en continuité avec son aquifère;	✓ Exclusion	
✓ failles géologiques	✓ 500 m	

Nous sommes basés pour choisir les critères et leurs rayons de sécurité (Tableau 10), sur la littérature et sur le guide GTZ élaboré par le Département de l'Environnement, en partenariat avec l'Agence de Coopération Technique Allemande (GTZ, 2002), l'Office Nationale de l'Eau Potable (ONEE-BE) et la Direction Générale des Collectivités Locales, dans le cadre du "projet Gestion de l'environnement" dans certain nombre de collectivités concernant le domaine de la gestion des déchets.

Ces zones de sécurité peuvent être revues à la baisse en fonction des conditions du milieu, de la topographie, de la disponibilité des terrains et de la volonté des communes et communautés concernées. A noter que cette restriction sur les zones de sécurité ne doit en aucun cas œuvrer à l'encontre du principe général de l'exclusion dans le but de préserver l'environnement. L'expertise et l'expérience de l'interprète utilisateur joue ici son rôle pour définir le rayon le plus adapté pour atteindre ce but.

4.2. Diagnostic des surfaces libres

Les surfaces libres sont obtenues après report sur fond cartographique, aux échelles correspondantes, des informations concernant les différents thèmes et leurs rayons de sécurité et puis la superposition des différentes cartes thématiques. Il s'agit des surfaces libres qui ne représentent sur la base des analyses effectuées aucune contrainte à l'implantation d'une décharge. Reste à vérifier sur le terrain l'exactitude des informations et l'occupation réelle de ces "surfaces libres" en faisant un diagnostic. Cette étape consiste à faire des enquêtes et des investigations sur terrains des sites sélectionnés dans les surfaces libres dont le but de confirmer et mettre à jour les appréciations dont il a été tenu compte jusqu'à présent.

4.3. Analyse multicritère

Les surfaces libres vont faire l'objet d'une classification moyennant l'analyse multicritère des critères d'évaluation en utilisant le processus d'analyse hiérarchique (AHP). Les critères que nous allons utiliser portent sur cinq types de facteurs respectivement socio-économique, géologique, topographique, hydrologique et occupation du sol.

4.4. Agrégation des critères

Cette étape a pour objectif d'unir et de standardiser les unités des différents critères, afin que leur comparaison et par la suite leur agrégation soit possible. Pour se faire, les critères sont standardisés à l'aide de la logique floue sur un intervalle commun de 0 à 1. Les valeurs les plus élevées expriment la convenance de l'emplacement du site le plus approprié.

De la même façon, tous les critères vont être agrégés en appliquant la formule de la somme pondérée pour produire une carte d'aptitude, et cela pour deux scénarios.

5. Données Utilisées

Les données disponibles sur la géologie, l'hydrogéologie, l'hydrologie, le sol et l'éco-sociologie ont été recueillies et produites sous forme papiers et numériques. Plusieurs cartes thématiques sont servies dans la préparation de la base de données de référence spatiale. Ces cartes étaient à diverses échelles et contenaient plusieurs types d'informations (Tableau 11).

Tableau 11: Données utilisées pour le choix du site

Type de données	Dates	Résolution/ Echelle	Sources
Carte topographique de Khénifra	1965		Agence nationale de conservation foncière du cadastre et de la cartographie direction de la cartographie Maroc
Carte topographique de Kaf N'sour	1975		
Carte topographique de M'Rirt	1974	1/50000	
Carte topographique de d'Aguelmous	1974		
Carte topographique de Kerrouchen	1977		
Carte topographique d'EILKbab	1974		
Carte topographique de El Hammam	1977		
Carte géologique Rabat		1/500000	Ministère de l'Energie et des Mines Maroc
Carte de réseau routier de la province de Khénifra.	2012	30*30	Equipement de Khénifra-Direction des routes et circulation routière
Modèle numérique de terrain SRTM		30*30	NASA
Image google earth	2016	Haute résolution	Google 2010
Image satellitaire de LANDSAT	2017	30*30	NASA
Plan d'aménagement de la ville Khénifra	2015		Agence urbaine de Khénifra

6. Approche adoptée

La méthodologie préconisée s'inspire du guide de sélection des décharges élaboré par le Département de l'Environnement (GTZ., 2004) et la littérature en ce qui concerne les étapes suivies et les critères retenus avec leurs rayons de sécurité pour extraire les zones d'exclusions dont l'objectif est: le choix d'un site favorable qui répond au mieux aux exigences environnementales, socio-économiques et qui minimise le coût. Dans cette étude, la géomatique et l'analyse multicritère (AHP) ont un rôle capital dans la détermination du site convenable pour une décharge contrôlée de la province de Khénifra. Le Diagramme de la méthodologie et du modèle hiérarchique utilisé est présenté ci-après :

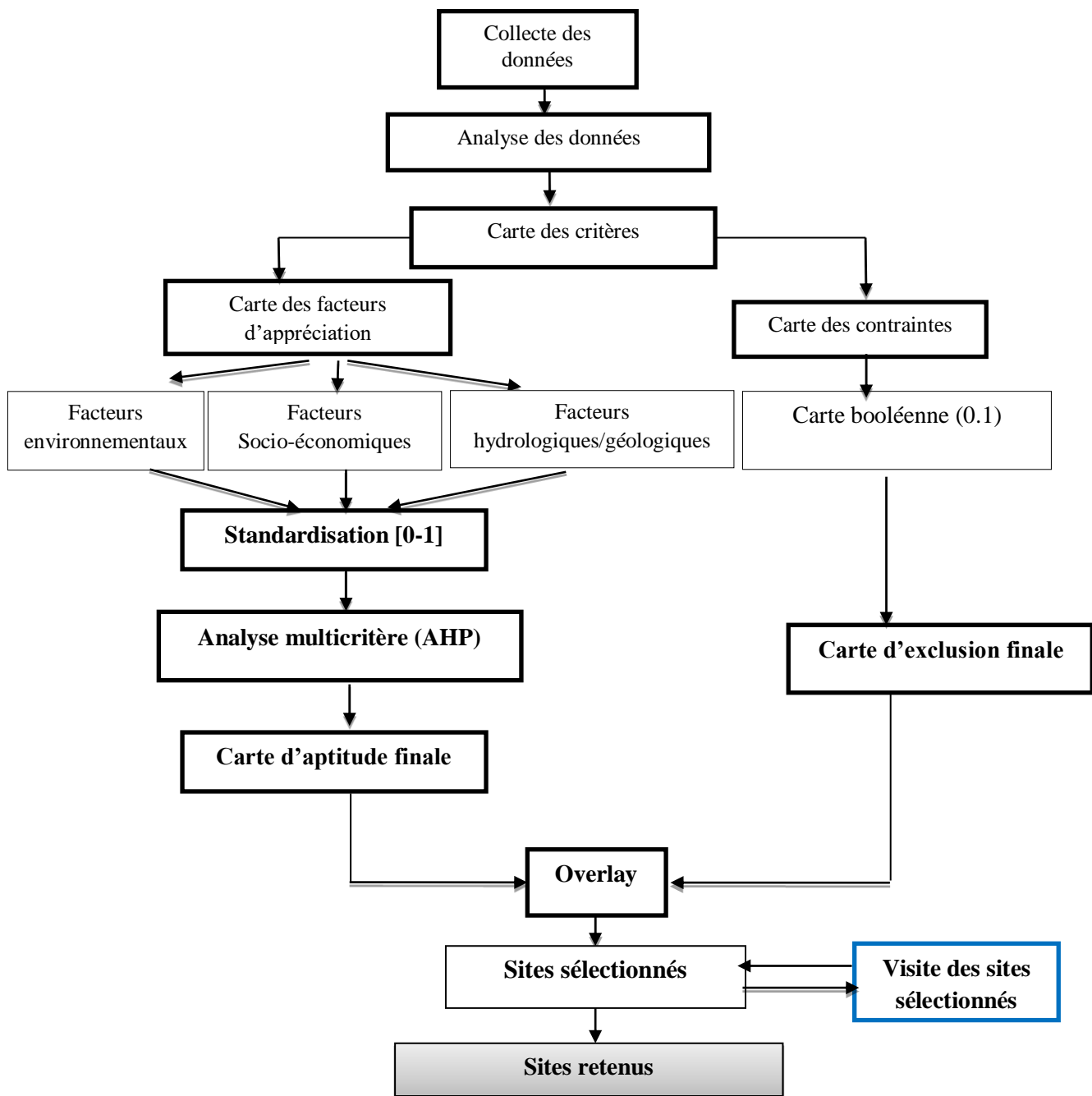


Figure 26: Méthodologie suivie pour le choix du site

6.1. Critères d'analyse

❖ Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion ont été subdivisés en deux grandes familles : géo-environnementaux et socio-économiques. On applique un rayon de sécurité puis on le reclasse suivant la logique booléenne 0 ou 1: 0 pour la zone défavorable et 1 pour la zone favorable (Figure 27).

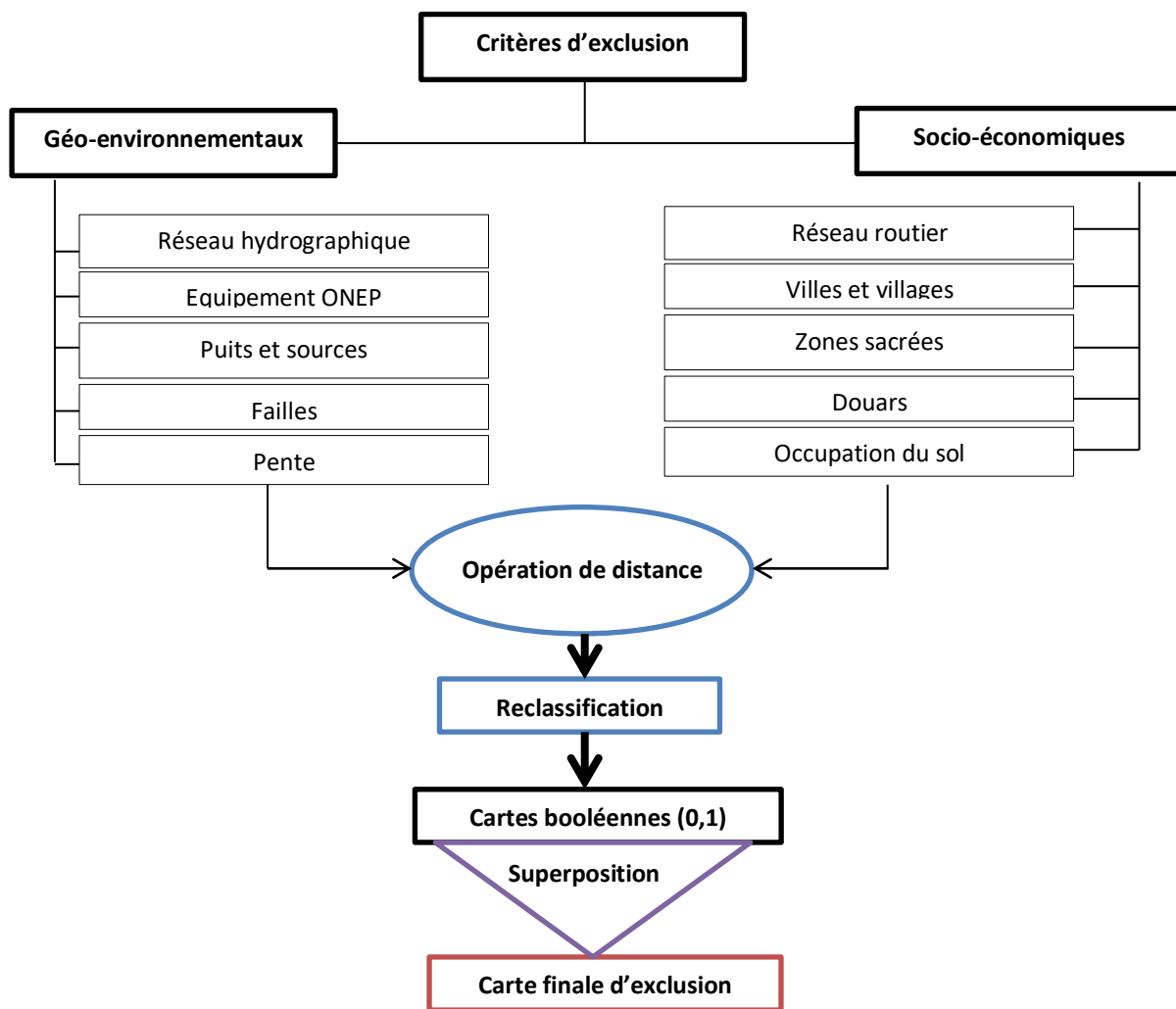


Figure 27: Critères d'exclusion des sites

❖ **Critères d'évaluation ou facteurs d'appréciations**

Dans cette étude, l'évaluation des facteurs d'appréciation a été effectuée par le processus de décision nécessaire avec l'utilisation de la méthode AHP dont au préalable la problématique ou le but de l'analyse doit être bien identifié (Rakotoarivelo, 2015). Les démarches suivies sont présentées dans la figure suivante :

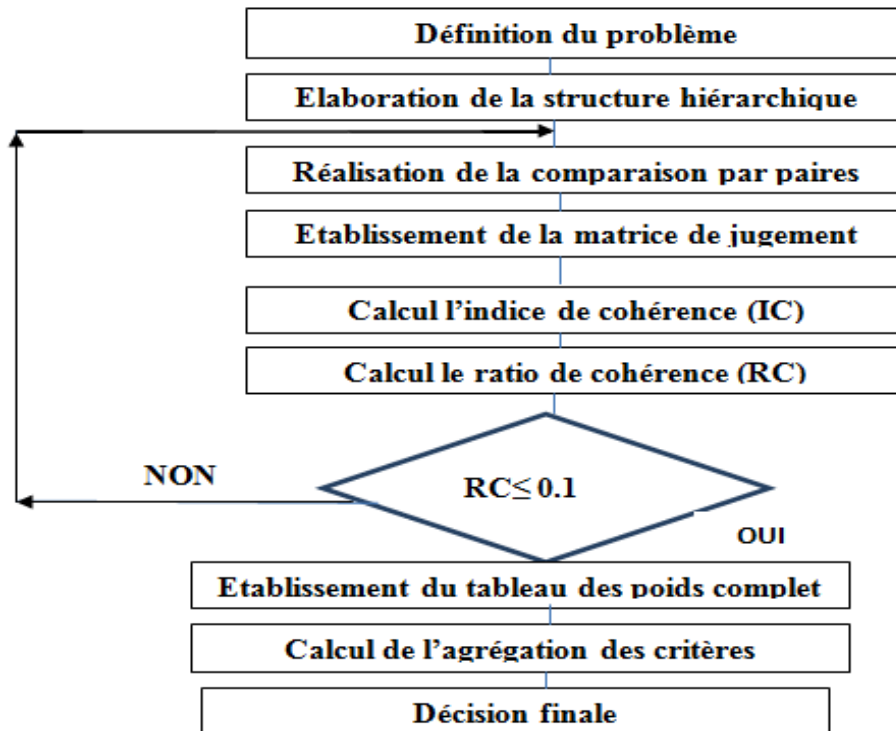


Figure 28: Etapes d'application de la méthode AHP pour le choix du site convenable

❖ Arbre de décision

L'arbre de décision, représente la hiérarchisation des critères et ces sous-critères que nous allons adopter dans la présente étude (Figure 29). Nous avons choisi de travailler avec quatre critères : Hydrologie, Socio-économie, utilisation du sol et géologie/topographie. Chaque critère est décomposé en sous-critères. Les critères constituent le niveau 1 et les sous critères constituent niveau 2.

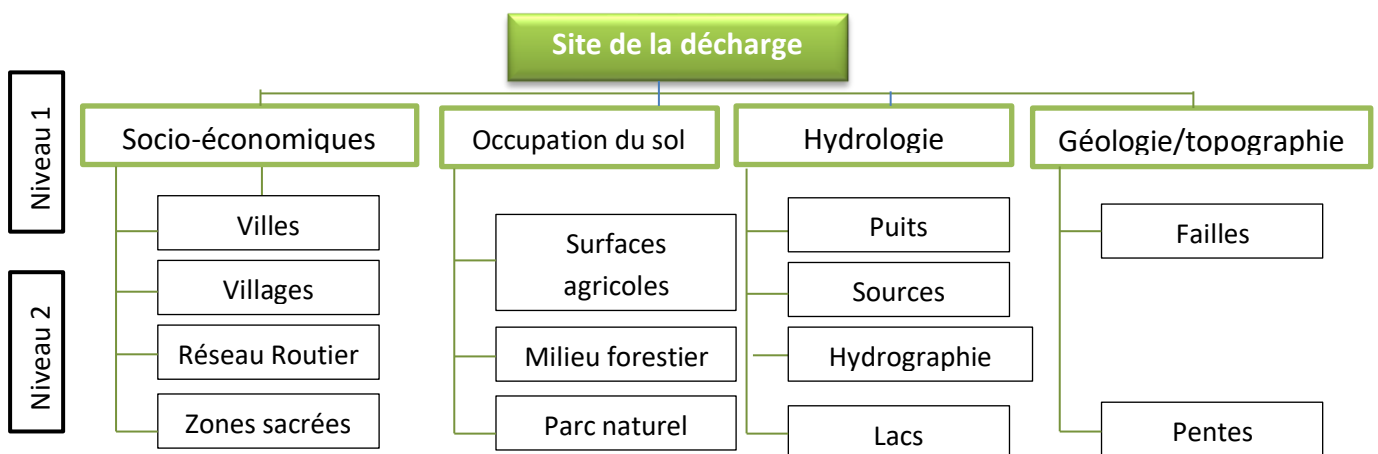


Figure 29: Hiérarchie des facteurs d'appréciation

❖ Standardisation

Cette étape consiste à unir et à standardiser les unités des différents critères selon un intervalle commun. Pour se faire, les critères sont standardisés sur un intervalle commun [0-1]. Les valeurs les plus élevées expriment la convenance de l'emplacement du site le plus approprié.

❖ Matrices de comparaison

Les poids des facteurs sont déterminés à partir d'une série de comparaison par paire de ces critères en tenant compte de l'importance relative de deux critères dans le choix du site. A cet effet, et en se basant sur l'échelle proposé par Saaty (1980) sur l'intervalle de 1 à 9 (Tableau 12).

Tableau 12: Echelles pour la comparaison par paires (Saaty, 1980)

Note	Importance
1	Même importance
2	Egal à modérément importante
3	Modérément plus important
4	Modérée à forte importance
5	Fortement plus important
6	Forte à très forte importance
7	Très important
8	Très à extrêmement forte importance
9	Extrêmement plus important

En utilisant l'approche de Saaty (1980), nous avons pu élaborer des matrices de comparaisons ou de jugement par paires pour les critères socio-économiques et géo-environnementaux, qui sont réciproques et positives. Ces dernières nous facilitent ainsi le calcul des coefficients de pondération des critères et les sous critères. Ainsi, l'établissement de ces matrices de comparaison pour le niveau des sous critères pour calculer des poids correspondants, qui va se faire de la façon suivante :

Tableau 13: Matrice de comparaison par paire du thème occupation du sol.

Occupation du sol	Parc naturel	Forêt	Surface agricole
Parc naturel	1	7	7
Forêt	1/7	1	3
Surface agricole	1/7	1/3	1

Tableau 14: Matrice de comparaison par paire du thème Socio-économique

Socio-économique	Ville	Villages	Zone sacrée	Route
Ville	1	3	3	7
Villages	1/3	1	1	5
Zone sacrée	1/3	1	1	5
Route	1/7	1/5	1/5	1

Tableau 15: Matrice de comparaison par paire du thème hydrologique

Eau	Réseau hydrographique	Sources et puits	Lacs
Réseau hydrographique	1	1	1/3
Sources et puits	1	1	1/2
Lacs	3	2	1

Tableau 16: Matrice de comparaison par paire du thème Géologique

Géologie	Faïlles	Pente
Faïlles	1	2
Pente	½	1

❖ Calcul des poids des facteurs

Cette étape a pour objectif d'affecter des poids aux sous critères selon les étapes ci-après. Nous allons détailler la méthode de calcul des sous critères relatifs à un seul critère « Occupation du sol ». Pour les autres, nous présenteront uniquement les résultats dans un tableau récapitulatif.

- **Calcul de la somme des notes pour chaque colonne**

Les résultats de calcul de la somme des notes pour chaque colonne sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 17: Calcul de la somme des notes pour chaque colonne

Occupation du sol	Parc	Forêt	Surface agricole
Parc	0,78 =1/1,28	0.84=7/8,34	0,64=7/11
Forêt	0,11=0,14/1,28	0.12=1/8,34	0,27=3/11
Surface agricole	0,11=0,14/1,28	0.04=0,34/8,34	0,09=1/11
Somme	1,28	8,34	11

Le calcul des poids finaux des sous-critères se fait par la détermination de la moyenne arithmétique des poids pour chaque ligne.

Tableau 18: Poids des sous critères relatifs au thème "Occupation du sol".

Occupation du sol	Parc	Forêt	Surface agricole	Poids finaux (Priorité)
Parc	0,78	0.84	0,64	0,75
Forêt	0,11	0.12	0,27	0,17
Surface agricole	0,11	0.04	0,09	0,08

- **Calcul de la valeur propre λ_{\max}**

Pour vérifier la cohérence de la matrice du thème « occupation du sol », nous calculons le Ratio de la Cohérence. La valeur RC doit être inférieure à 0,1 ou 10% (Rakotoarivelo, 2015). Nous avons effectué la multiplication des éléments de la matrice par les éléments du vecteur de priorité (Poids finaux), puis on a calculé la moyenne des valeurs trouvées. Le résultat est appelé la valeur propre λ_{\max} .

$$\begin{pmatrix} 1 & 7 & 7 \\ \frac{1}{7} & 1 & 3 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.17 \\ 0.08 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.4 \\ 0.50 \\ 0.24 \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} 2.4 \\ 0.50 \\ 0.24 \end{pmatrix} / \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.17 \\ 0.08 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.29 \\ 3.04 \\ 3.05 \end{pmatrix} \quad (\text{Eq.6})$$

Les résultats obtenus, peuvent servir à la détermination de la moyenne de la valeur de λ_{\max} avec $n=3$, « n » est le nombre de facteurs. Donc $\lambda_{\max} = 3,12$

- **Détermination de l'Indice Aléatoire (IA)**

Indice Aléatoire a été déterminé à partir de l'approche de Saaty 1980 (Tableau 19), ce dernier a élaboré une échelle où les indices aléatoires IA furent établis en effectuant des jugements aléatoires pour un nombre élevé de répliation.

Tableau 19: Cohérence aléatoire (Saaty, 1980)

Nombre de critères	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cohérence aléatoire	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

- **Calcul de l'Indice de Cohérence (IC)**

L'indice de Cohérence est le rapport entre la différence de la valeur propre λ_{\max} moins le nombre de comparaison sur ce dernier moins un : $IC = \frac{(\lambda_{\max} - N)}{(N-1)}$ (Saaty, 1980). On a $N = 3$ et $\lambda_{\max} = 3,12$

Alors : $IC = (3,12 - 3) / (3 - 1) = 0,06 \rightarrow IC = 0,06$.

- **Ratio de Cohérence (RC)**

Le Ratio de Cohérence (RC) est le rapport de l'indice de cohérence (calculé sur la matrice correspondante aux jugements du décideur) et de l'indice aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension. Cet indice se calcule par la formule suivante : $RC = IC / IA$ (Saaty, 1980). La valeur RC doit être inférieure à 0,1 ou 10% (Rakotoarivelo, 2015). Selon le calcul effectué, le $RC = 0,10 \leq 10\%$, alors on peut considérer que le degré de cohérence de comparaison est acceptable.

Après le calcul des différents poids des sous-critères relatifs aux quatre critères, nous passons à l'agrégation des sous critères moyennant la somme pondérée afin de construire le critère en question. A titre d'exemple : le critère « occupation du sol » sera établis en sommant les critères (Parc, surfaces à vocation agricoles et le milieu forestier) multipliés par leurs poids correspondants.

$$\text{Occupation du sol (C)} = CS1(\text{Parc}) * 0,75 + CS2(\text{Forêt}) * 0,17 + CS3(\text{Surface agricole}) * 0,08$$

Une fois établis, les poids des critères (ressources en eau, utilisation du sol, topographie et socio-économique) vont entrer dans un autre processus de pondération selon les scénarios possibles (chapitre 3- Partie III).

7. Outils et Matériels utilisés

7.1. Conception des modèles pour le choix du site

❖ Modèle des surfaces libres

Il consiste à élaborer un modèle des critères d'exclusion ou contraintes qui ont pour objectif de limiter la recherche de sites appropriés, dans des domaines à caractère exclusif qui ne tolèrent aucune concurrence. Il s'agit d'exclure des zones où les décharges ne peuvent pas être situées en raison du risque d'impact sur l'environnement, la santé humaine ou coût excessif. La procédure d'exclusion consiste à affecter « un rayon de sécurité » dans lequel l'emplacement d'une décharge est interdit lors de l'établissement des cartes thématiques. Le choix du rayon de sécurité est en fonction de l'importance du sujet et prend compte de plusieurs paramètres spécifiques au thème. Pour la conception du modèle (Figure 30), nous avons fait appel aux différentes fonctionnalités existantes sous Logiciels des SIG (tableau 20).

Tableau 20: Outils utilisés dans la construction du modèle des surfaces libres.

Outil utilisé	Description
Buffer	La création d'une zone de sécurité autour d'un élément spatial
Merge	La fusion de différentes couches thématiques en mode vecteur.
Featur raster	La conversion de l'élément spatial (point, ligne, polygone) en couche raster.
Calcul raster	Permet d'effectuer les différentes opérations sur les rasters.

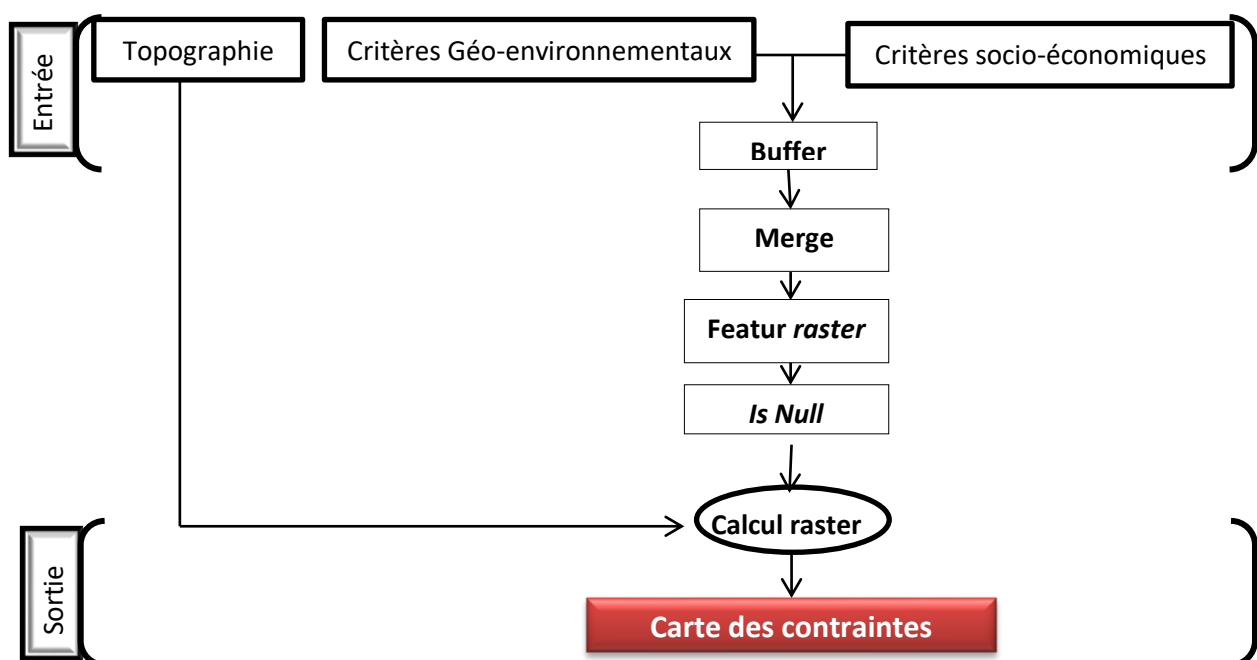


Figure 30: Modèle des surfaces libres.

❖ **Modèle pondération des critères et élaboration des cartes d'aptitude**

Ce modèle est conçu pour unifier l'échelle des critères d'appréciation, afin de pouvoir les comparer ultérieurement. Ensuite attribuer les poids relatifs à chaque critère afin d'établir la carte d'aptitude qui sera la base de la classification pour décider sur le choix du site. Pour la conception du modèle, nous avons fait appel aux différentes fonctionnalités existantes sous Logiciels des SIG (tableau 21). Nous devons aussi passer par les étapes suivantes (Figure 31).

Tableau 21: Outils utilisés dans la construction du modèle standardisation et de pondération

Outil utilisé	Description
Euclidian Distance	Description de la relation entre chaque cellule de la carte et la source en se basant sur la mesure de la plus petite distance entre ces deux éléments.
Fuzzy Membership	La classification (fonction continue) des pixels de différentes cartes rasters en lui affectant des nouvelles valeurs (0-1).
Weighted Sum	La superposition des différents rasters en multipliant chaque couche par son poids et en sommant le produit pour produire la carte d'aptitude.

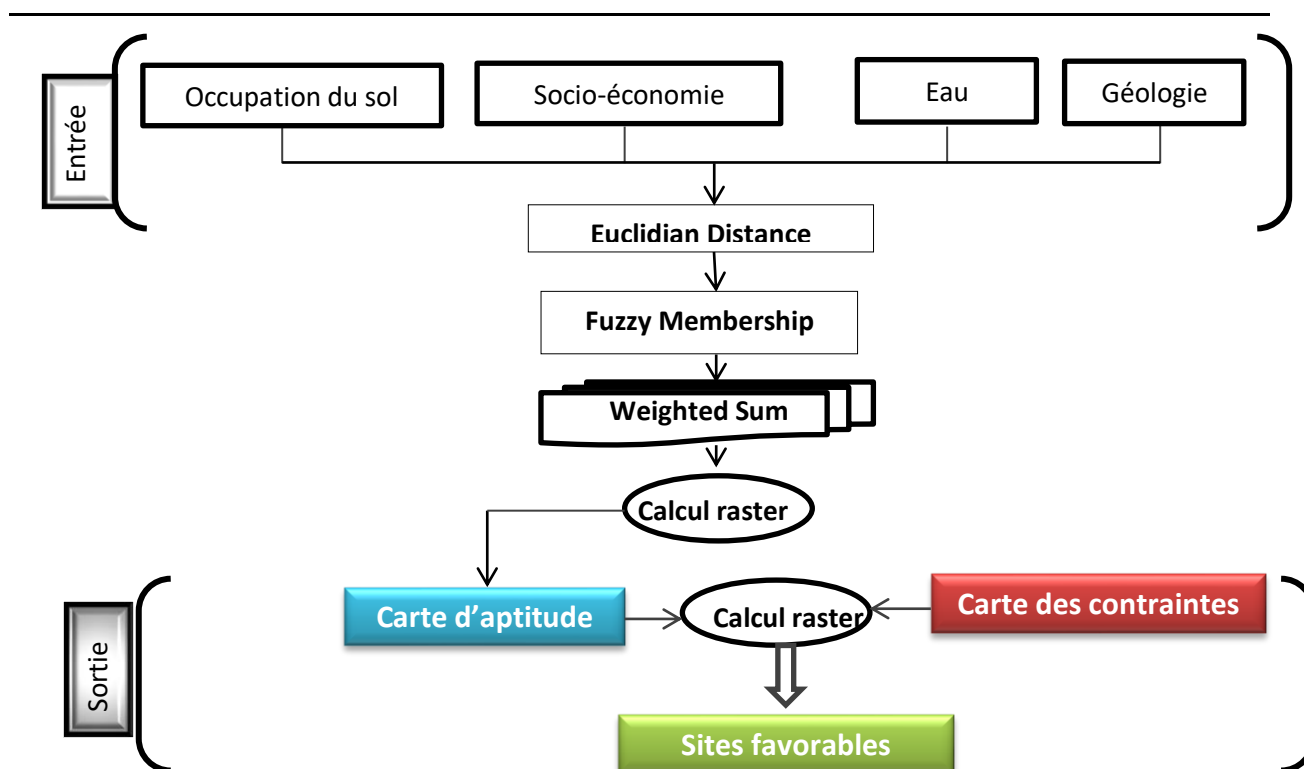


Figure 31: Modèle des critères d'évaluation

7.2. Développement d'une Interface Excel

En outre, nous avons développé une application Excel (AHP) des calculs matriciels (Figure 32) valable pour tous les sujets et les problèmes multicritères, dont le but de faciliter les tâches de calculs devant les décideurs, afin de sélectionner le meilleur critère et l'élément le plus favorable selon l'objet de l'étude.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	CR Value = 0,023		OK													
2	Pairwise comparisons															
3	Item Number	Item Description	1	2	3	4	6	7	8	9	10					
4			Social	Environne	Financier	Technique										
5	1	Social	1,00	0,33333	0,33333	2,00000										
6	2	Environnemental	3,00	1,00	1,00000	3,00000										
7	3	Financier	3,00	1,00	1,00	3,00000										
8	4	Technique	0,50	0,33	0,33	1,00										
9																
10	6						1,00									
11	7							1,00								
12	8								1,00							
13	9									1,00						
14	10										1,00					
15		Sum	7,50	2,67	2,67	9,00										
16																
17	STANDARDIZED MATRIX															
18			Social	Environne	Financier	Technique										
19	1	Social	0,13	0,13	0,13	0,22										Weight
20	2	Environnemental	0,40	0,38	0,38	0,33										15,1%
21	3	Financier	0,40	0,38	0,38	0,33										37,4%
22	4	Technique	0,07	0,13	0,13	0,11										37,4%
23	5															10,7%
24	6															
25	7															
26	8															
27	9															
28	10															

Figure 32: Interface de l'application Excel

VI. APPORT DE LA TELEDETECTION POUR L'ETUDE DE L'EXTENSION URBAINE

1. Introduction

À ce jour où l'utilisation des images satellitaires se généralise à de nombreux domaines d'activités, la télédétection est devenue, une source d'information essentielle pour le suivi de l'urbanisation. Elle est un véritable outil de planification et de rétrospective, elle a pu être utilisée dans le cas de la ville de Khénifra afin de déterminer l'évolution de son tissu urbain entre 1991 et 2017 et leur impact sur le site de CEV, à partir d'images Landsat. La sélection d'images pour la cartographie et le suivi de l'extension urbaine dépend largement de l'étendue de la zone d'étude, la disponibilité de l'image et le coût.

L'objectif principal de cette étude est d'examiner le potentiel des données Landsat pour le suivi de l'extension urbaine et de déterminer son impact sur le site de CEV choisi, en utilisant la classification "Support Vector Machin" (SVM).

La (SVM) est une méthode de classification supervisée dérivée de la théorie de l'apprentissage statistique qui donne souvent de bons résultats de classification de données complexes et bruyantes. Elle a été développée à la fin des années 1970, mais sa popularité dans la télédétection n'a commencé à augmenter que depuis une dizaine d'années (Mountrakis et al., 2011 et Baojoan et al., 2015). La théorie sous-jacente et l'explication mathématique détaillée du SVM ont été démontrées dans de nombreuses études antérieures (Foody et Mathur, 2004). Elle sépare les classes avec une surface de décision qui maximise la marge entre les classes. La surface est souvent appelé l'hyperplan optimal, et les points de données les plus proches de l'hyperplan sont appelés "Support Vectors" (Hsu et al., 2002).

2. Données utilisées

Pour quantifier le taux de l'étalement urbain sur une longue période, trois images satellitaires des capteurs Landsat, TM5 ETM7+ et Oli 8 ont été utilisées entre 1991 et 2017.

Tableau 22: Images utilisées

Images	Dates d'acquisition	Capteur	Résolution
1	18/05/1991	Landsat TM5	30 *30 m
2	19/06/2000	Landsat ETM+	30 *30 m
3	21/05/2017	Landsat 8-oli	30*30 m

3. Méthodologie et Démarche suivie

3.1. Approche méthodologique

La figure 33 illustre l'ensemble de la chaîne des prétraitements et de traitements effectués sur chacune des trois images. En premier temps, les images ont été géoréférencées dans le même système de projection. Des corrections radiométriques et atmosphériques ont aussi été réalisées par le modèle atmosphérique DOS (Dark Of Substraction) afin de pallier les variations de réflectance dues aux différences de conditions d'éclairage, d'observation et d'environnement entre les mêmes objets lors de l'enregistrement des trois imageries. Ces images prétraitées ont ensuite fait l'objet d'une classification basée sur une approche supervisée (SVM) en utilisant le logiciel ENVI 5.1 (Environment for Visualizing Images).

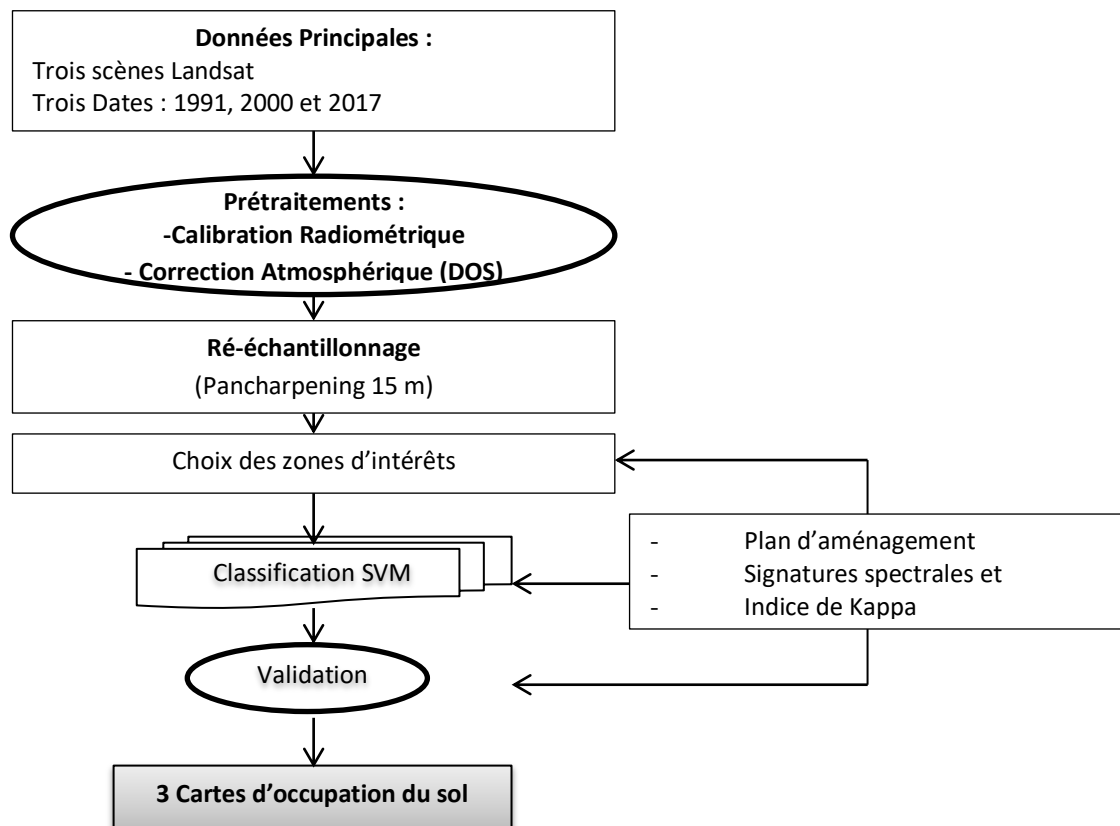


Figure 33: Organigramme de la méthodologie adoptée

3.2. Choix des zones d'intérêts

Pour des raisons de fiabilité et de véracité, il a été décidé d'employer uniquement des méthodes de classification supervisées, basées sur l'utilisation d'échantillons relevés par l'utilisateur. Après avoir observé les images en composition colorée et analysé les signatures spectrales d'objets communs et caractéristiques de chacune des images. Deux types d'objets ou classes d'échantillons ont pu être dégagés : le bâti de la ville de Khénifra et le non bâti (Sol nu, végétation,...). Afin d'englober un maximum de pixels dont les signatures spectrales sont assimilables à ces dernières, un grand nombre des zones a été choisi pour chaque classe. Il faut éviter de choisir des zones d'intérêts combinant les zones ombrées et éclairées même s'il s'agit du même objet.

3.3. Validations des résultats de la classification

Les résultats ont été validés qualitativement (par observations) et quantitativement (par test de séparabilité, matrices de confusion, coefficients Kappa). Le teste de séparabilité, basé sur la distance de Jeffries-Matusita entre chaque paire des classes, a montré des valeurs de séparabilité qui varient entre 1,9986 et 2. Ce qui signifie que nos classes sont bien séparées l'une par rapport à l'autre et peuvent être utilisées pour classier les images.

L'évaluation de la précision de la classification se faite par l'indice de Kappa et la matrice de confusion. Cependant, la matrice de confusion permet d'évaluer la qualité statistique des zones d'intérêts élaborés par le photo-interprète et le coefficient Kappa utilisés notamment pour évaluer le degré d'efficacité d'un modèle de classification.

Dans cette étude, la précision globale (le rapport du nombre de pixels bien classés sur le nombre total de pixels) varie entre 94,40 et 99,40 %. En outre, l'indice de Kappa calculé, est presque égal à la précision globale (Tableau 23), il varie de 0 à 1. On constate donc qu'il existe une excellente correspondance entre la cartographie et les observations de terrain.

Les résultats de l'analyse quantitative sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 23: Données de l'analyse quantitative

	Précision globale	Indice de Kappa (K)
Image 1 (1991)	94,40	0,942
Image 2 (2000)	98,78	0,987
Image 3 (2017)	99,22	0,993

VII. APPORT DES METHODES DE L'ANALYSE MULTICRITERE POUR LA GESTION DES DECHETS SOLIDES.

1. Choix d'une méthode d'aide à la décision multicritères (ADMC)

Le choix d'une certaine méthode AMCD ne peut pas être décidé au début du processus. Cette décision devrait attendre jusqu'à ce que le décideur comprenne le problème, les alternatives possibles, les différents résultats, les conflits entre les critères et le niveau d'incertitude des données.

Dans cette étude, la méthode AHP (Procédure Analytique d'Hiérarchie) a été choisie en raison de son efficacité et sa capacité de rapprocher la façon dont l'esprit humain exprime et synthétise les préférences en face des multiples perspectives de décision contradictoires (Şcener, 2010 et Mansour, 2015). La méthode AHP est une approche analytique multicritère d'aide à la prise de décision. Elle repose sur des calculs complexes ayant recours à l'algèbre matricielle et permet de décomposer un problème complexe en un système hiérarchique, dans lequel sont établies des combinaisons binaires à chacun des niveaux de la hiérarchie. Classant hiérarchiquement les situations que rencontre l'entreprise, le décideur peut en déduire des priorités relatives.

2. Application de la méthode AHP pour le choix du système de gestion des déchets

Le choix d'un système alternatif approprié de gestion des déchets solides ménagers concerne différents utilisateurs tels que les autorités et la population. Chaque système alternatif de gestion a ses propres conséquences de point de vue social, environnemental, financier et technique. En outre, les critères employés pour déterminer ces conséquences sont souvent contradictoires et n'ont pas la même importance. Les critères de la méthode de décision qui soutiennent le choix du meilleur système pour la gestion des déchets sont présentés et analysés dans ce travail. Bien sûr avant tout s'imposent, la constitution d'un ensemble de systèmes alternatifs de gestion et le choix d'une liste de critères appropriés pour les évaluer.

3. Méthodologie et démarches adoptées

Dans cette recherche, nous avons développé le processus de décision nécessaire à l'utilisation de la méthode AHP. Ce processus est présenté en plusieurs étapes, dont au préalable la problématique ou le but de l'analyse doit être bien identifié. Les étapes sont présentées dans la figure suivante:

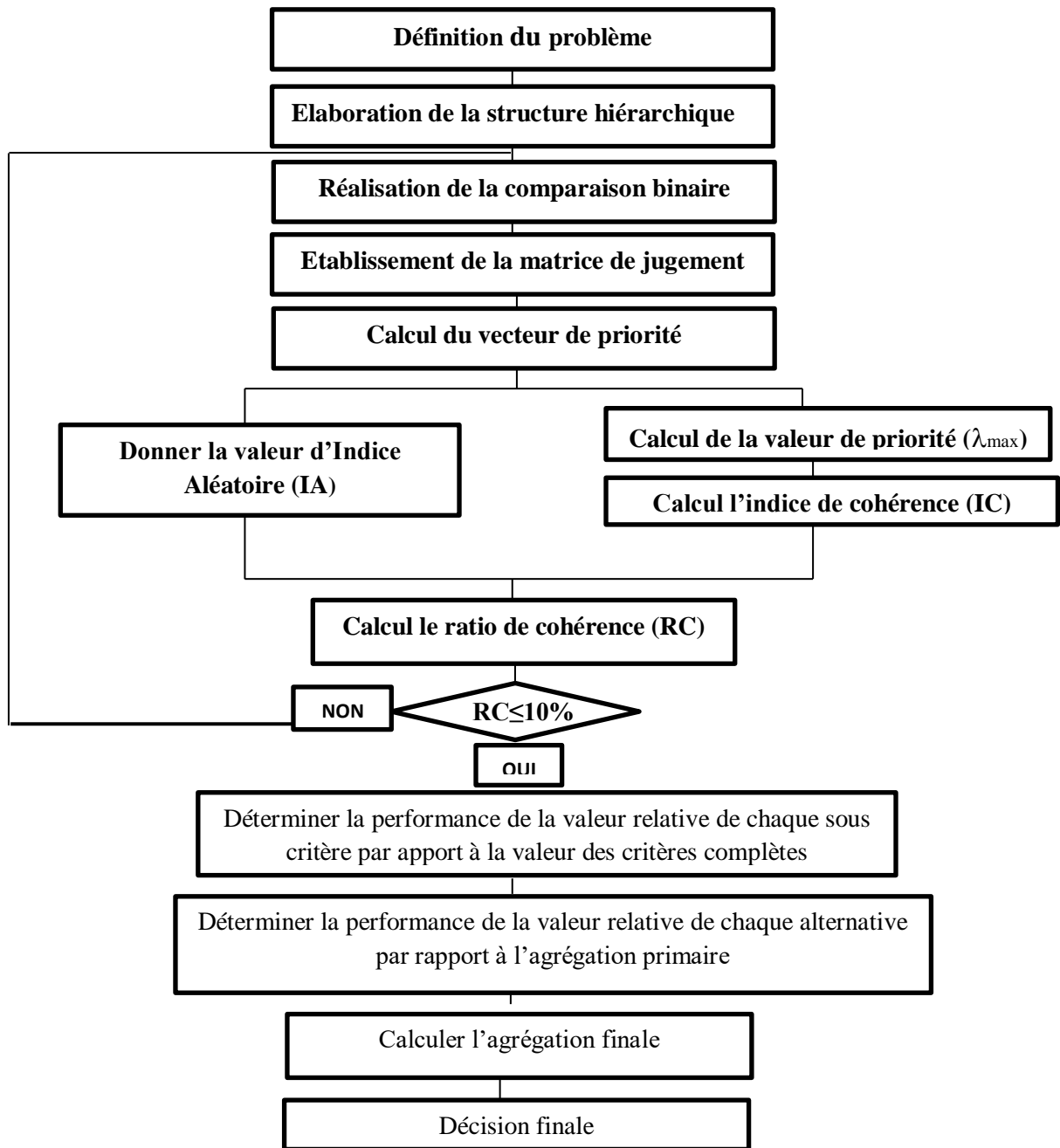


Figure 34: Etapes d'application de la méthode AHP pour la sélection du système de gestion

3.1. Définition du problème

Les résultats des études réalisées auparavant (technique, environnementale, financière et sociologique) ont guidé à la proposition de plusieurs solutions. Le problème posé repose sur le choix de la solution adéquate au contexte de la province de Khénifra. Pour contribuer à la mise en œuvre d'une solution optimale et adaptée au problème, l'analyse doit prendre en considération le côté environnemental, social, économique et technique.

3.2. Scénarios/Systèmes de gestions envisagés

D'après la recherche bibliographique, plusieurs systèmes de gestion des déchets sont reconnus (Makan, 2013). Alors, la proposition des systèmes et des scénarios de gestion des déchets étudiés a été basé sur

plusieurs critères à savoir : les caractéristiques spécifiques du Maroc, l'expérience acquise à partir des applications à l'échelle internationale et les propriétés des petits territoires comme la province de Khénifra. Les systèmes qui proposent la pyrolyse, la fermentation de l'Ethanol et la gazéification ont été éliminés parce qu'ils nécessitent une grande technicité et un coût très élevé, ainsi les scénarios sélectionnés sont les suivants :

- **Scénario/Système 1 : (Mise en décharge)**

C'est un scénario de référence pour évaluer la performance des autres scénarios de gestion, parce qu'il est utilisé comme système de gestion dans de nombreux pays. Il consiste à collecter les déchets et s'en débarrasser à la décharge.

- **Scénario/Système 2 : (collecte mixte –Tri- méthanisation).**

Les déchets solides mixtes collectés sont transférés pour un tri mécanique pour la récupération des matériaux recyclables (Verre, plastique, carton et des métaux) le reste des déchets (fraction biodégradable) sera soumis au traitement biologique par une digestion anaérobie (Figure 35).

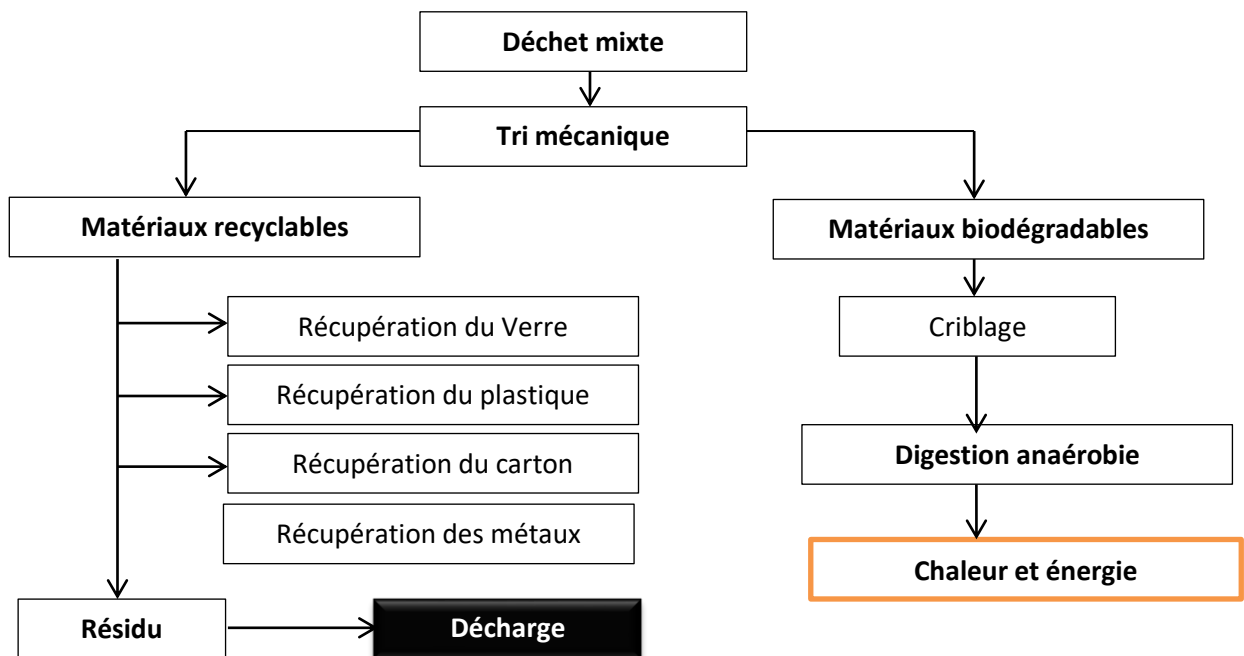


Figure 35: Représentation schématique du système 2

- **Scénario/Système 3 : (Collecte séparé – compostage-Décharge)**

Les déchets sont séparés à la source dans des conteneurs différents. Ainsi les matériaux recyclables sont rassemblés dans une station de traitement pour la récupération du verre, du papier, du plastique, des métaux ferreux et non ferreux (Makan, 2013 ; Montadar, 2009 ; Najih, 2015).

Les matériaux biodégradables sont regroupés dans une autre station pour subir un traitement biologique par une digestion aérobie (compostage). Les résidus des déchets solides récupérés après traitement sont transférés par la suite vers les casiers de l'enfouissement (Figure 36).

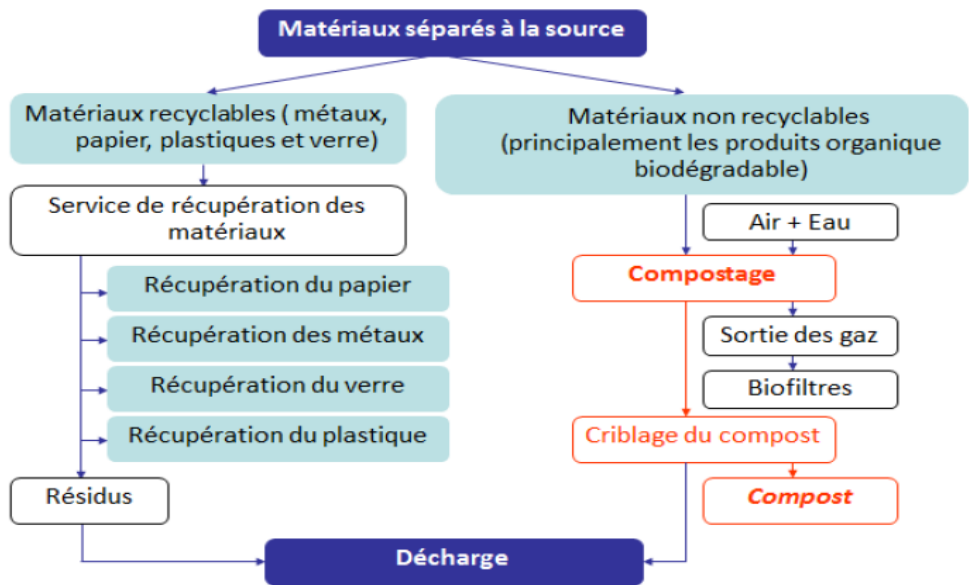


Figure 36: Représentation schématique du système 3.

- **Scénario/Système 4 : (Collecte mixte- Tri-compostage)**

Les déchets solides ménagers mixtes sont collectés pour subir un traitement mécanique suivi par un traitement biologique. Le traitement mécanique permet la récupération de verre, des métaux ferreux et non ferreux, du papier et des plastiques qui sont expédiés aux utilisateurs et le traitement biologique permet le compostage des produits organiques biodégradables. Les résidus sont transférés par la suite vers les casiers de l'enfouissement (Figure 37).

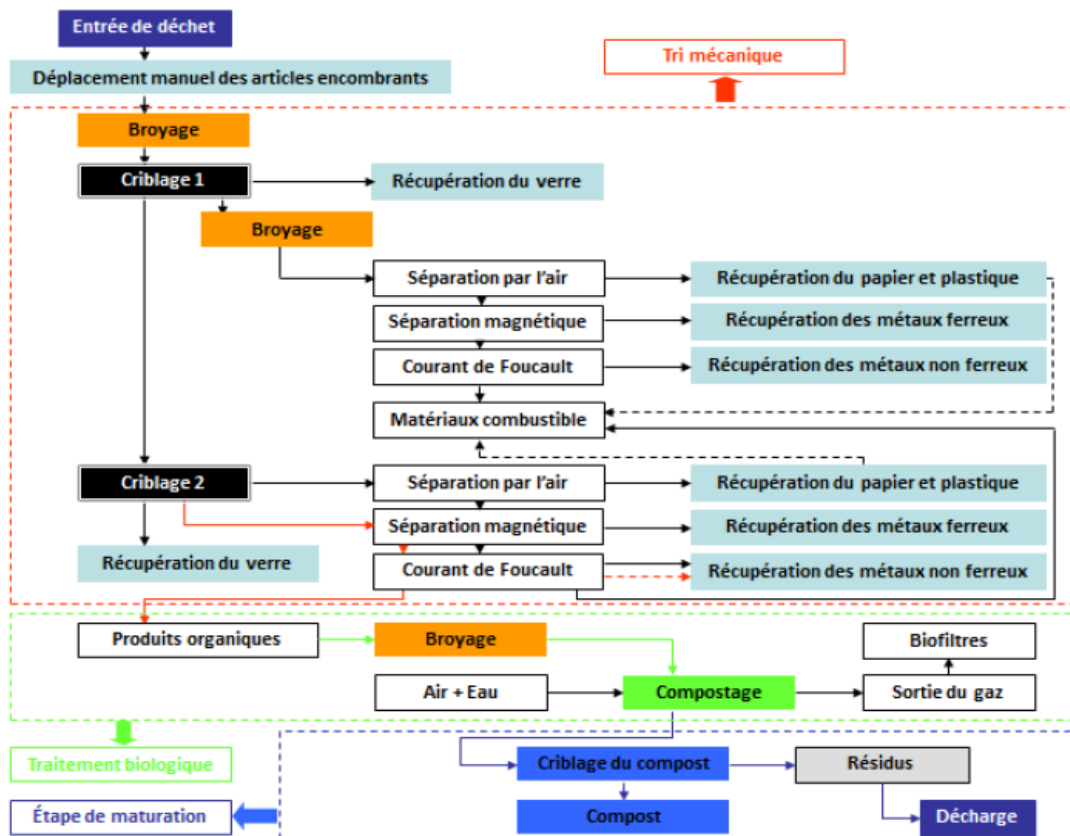


Figure 37: Représentation schématique du système 4.

- **Scénario/Système 5 : (Collecte mixte- Tri mécanique-Incinération)**

Les déchets solides mixtes collectés sont transférés pour un tri mécanique primaire pour la récupération des métaux ferreux et non ferreux et les matériaux combustibles restants sont soumis au traitement thermique pour la récupération d'énergie (Figure 38).

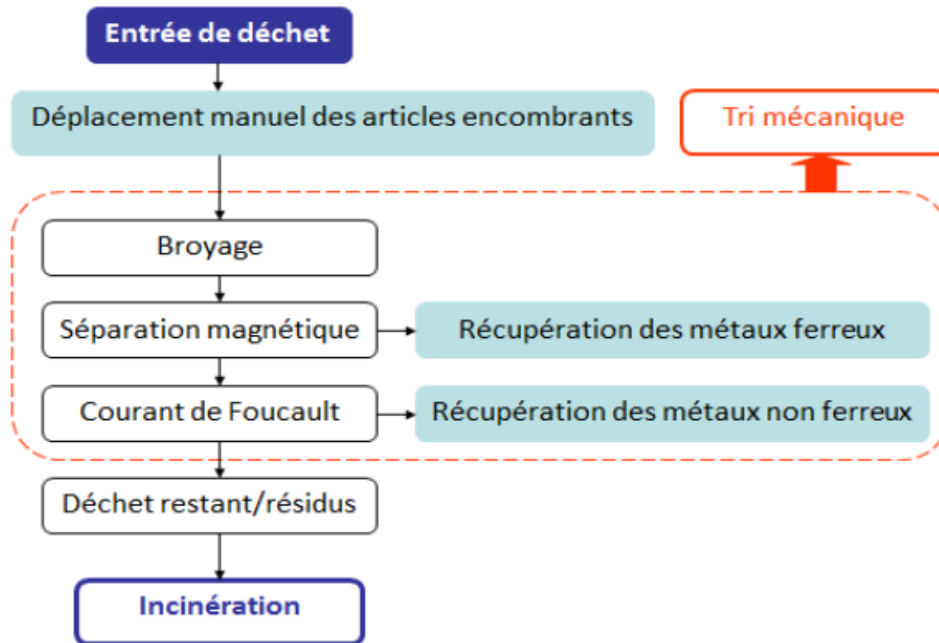


Figure 38: Représentation schématique du système 5.

3.3. Critères d'évaluation

Dans cette recherche, on réalise quatre niveaux hiérarchiques. Le niveau 0 étant l'objectif, le niveau 1 compare les critères par rapport à l'objectif, le niveau 2 compare les sous critères par rapport aux critères, le niveau 3 compare les scénarios (Systèmes) par rapport sous critères. Le but de chaque analyse est de cibler le meilleur critère et le meilleur scénario par rapport au niveau hiérarchique supérieur. L'arbre de décision, représente la hiérarchisation des critères et ces sous-critères que nous avons adoptés dans la présente étude (Figure 39).

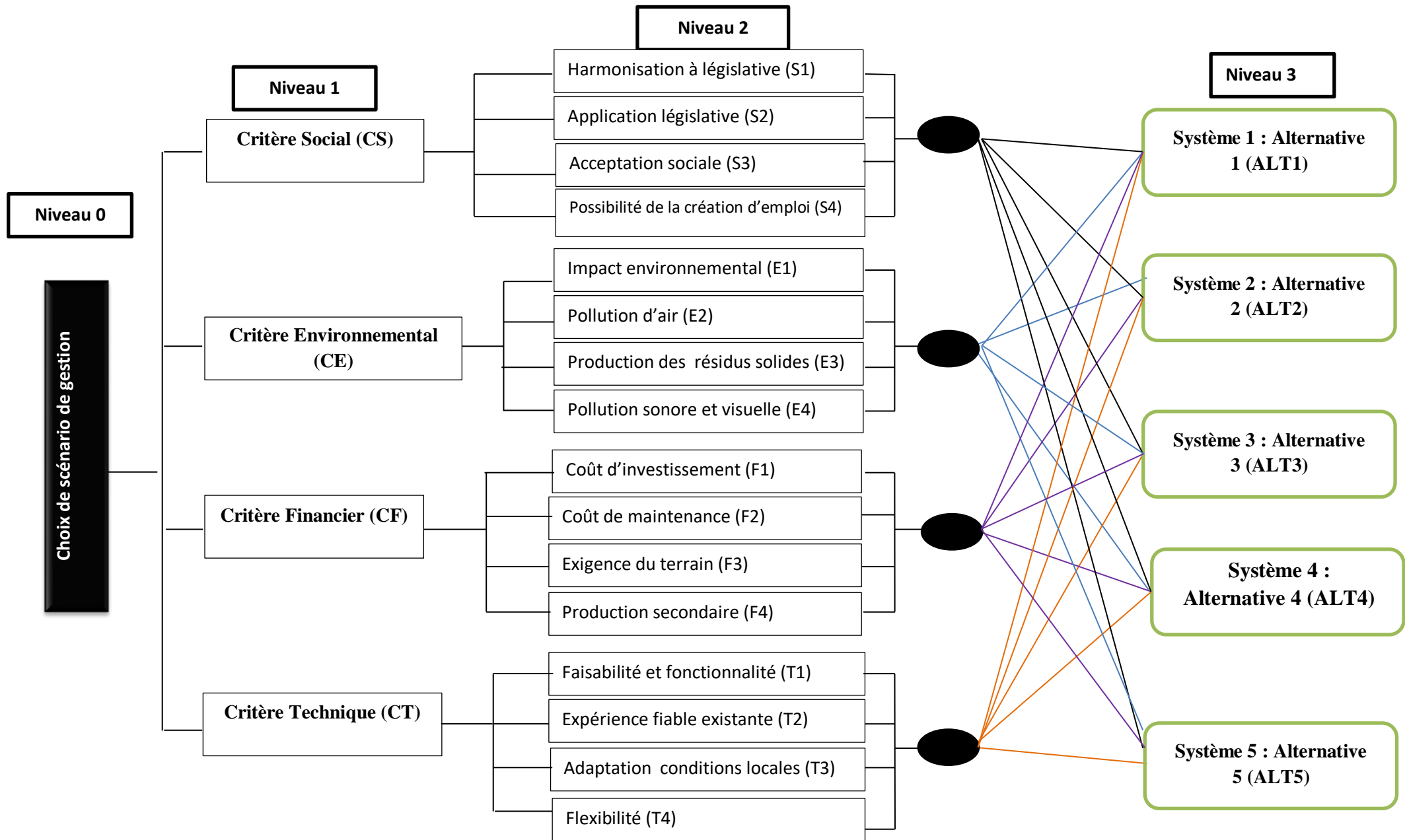


Figure 39: Représentation graphique complète de l'arbre montrant la hiérarchisation des critères et ces sous-critères adoptés

3.4. Réalisation de la comparaison par paire

La méthode suivie dans cette étape repose sur les mêmes principes que celle précitée dans la partie du choix de site (voir IV).

3.5. Matrice de jugement de comparaison

Dans cette étape, on transforme les tableaux de comparaison des critères, des sous critères et des scénarios en des matrices appelées matrices des jugements (Tableaux : 24, 25, 26, 27, 28 et 29).

Tableau 24: Comparaison des critères

Critère	Social	Environnemental	Financier	Technique
Social	1	1/3	1/3	2
Environnemental	3	1	1	3
Financier	3	1	1	3
Technique	1/2	1/3	1/3	1

Tableau 25: Comparaison des sous critères sociaux (S) **Tableau 26: comparaison des sous critères environnementaux (E)**

Sociale	S1	S2	S3	S4
S1	1	1	2	3
S2	1	1	2	3
S3	1/2	1/2	1	2
S4	1/3	1/3	1/2	1

Environnemental	E1	E2	E3	E4
E1	1	2	2	3
E2	1/2	1	1	2
E3	1/2	1	1	2
E4	1/3	1/2	1/2	1

Tableau 27: comparaison des sous critères techniques (T) **Tableau 28: Comparaison des sous critères financiers (F)**

Technique	T1	T2	T3	T4	Financier	F1	F2	F3	F4
T1	1	1/2	1	2	F1	1	4	4	5
T2	2	1	2	2	F2	1/4	1	1	2
T3	1	1/2	1	1	F3	1/4	1	1	2
T4	1/2	1/2	1	1	F4	1/5	1/2	1/2	1

Tableau 29: Comparaison des systèmes

Scénarios	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5
Système 1	1,00	0,33	0,20	0,25	0,33
Système 2	3,00	1,00	0,33	0,33	2,00
Système 3	5,00	2,00	1,00	2,00	3,00
Système 4	4,00	2,00	0,50	1,00	3,00
Système 5	3,00	0,50	0,33	0,33	1,00

VIII. CONCLUSION

En récapitulant les grands volets de ce chapitre,

Dans un premier temps, nous avons élaboré la méthodologie choisie pour une caractérisation complète des déchets y compris l'approche adoptée pour impliquer les citoyens dans l'opération. Ensuite, nous avons traité les démarches qu'on a suivies pour la réalisation des essais de valorisation par compostage, ainsi que les analyses effectuées au laboratoire pour évaluer la qualité des composts produits.

En second temps, nous avons passé à l'élaboration d'une méthodologie pour le choix des sites en utilisant les outils de la géomatique combinés avec les méthodes d'analyse multicritères.

Finalement, nous avons créé une approche méthodologique multicritères pour examiner et classer les différentes alternatives de gestion des déchets en utilisant l'AHP.

Les résultats des différentes démarches, méthodes et approches adoptées dans notre étude de thèse sont regroupés et discutés dans la troisième partie.

PARTIE III :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE 1 : CARACTERISATION DES DECHETS SOLIDES DE LA PROVINCE DE KHENIFRA

I. DIAGNOSTIC DE L'ETAT DU LIEU

1. Scénario adopté par la zone d'étude

D'après les investigations et les enquêtes réalisées au sein des communes de la province de Khénifra concernant la gestion des déchets solides, une variation de la gestion d'une commune à autre a été vérifiée et confirmée.

Dans la commune de Khénifra, la gestion du service est déléguée au secteur privé pour une durée de 10 ans à partir de 2009 (société Tout propreté) et pour une durée de 7 ans à partir de 2019 (société OZONE). La collecte des déchets se fait par le système porte à porte et par des conteneurs et des caissons métalliques durant toute la semaine. La société délégataire possède aussi des caissons métalliques d'une capacité de 5 m³ qui se transportent par deux Ampli roll de 14 T. Les déchets collectés sont évacués dans le centre d'enfouissement et de valorisation (CEV) de la province. Le balayage se fait en deux manières : manuelles avec une fréquence de 7/7 sur une longueur de 33,3 Km et mécanique 2/7 sur une distance de 230 Km concernant les artères principales.

Dans la municipalité de M'Rirt, le mode de la collecte des déchets ménagers et assimilés est pareille avec la ville de Khénifra, avec une fréquence de 6 jours par semaine du lundi au samedi. Elle s'organise en 3 secteurs. La gestion se fait par la commune elle-même et possède aussi des caissons métalliques d'une capacité de 3m³ dont l'état est très vétuste. Les déchets collectés s'évacuent dans la décharge publique de la commune de M'Rirt située à environ 2Km du centre-ville. Le balayage concerne les abords de deux artères principales, il se fait à une fréquence de 6 jours dans la semaine. La commune fait appel occasionnellement à des ouvriers occasionnels pour l'éradication des points noirs et le ramassage des sacs en plastique.

Dans les autres communes à caractère rural, la gestion est de mode directe. La collecte des déchets ne se fait pas d'une manière très régulière au niveau des centres de Sidi Lamine, El Hammam, Ait Saadelli, Had Bouhssoussen, Oum Rbia, Sidi Amar et Sidi Hcine de temps en temps. Les communes procèdent à l'élimination des déchets accumulés sous forme des points noirs par l'incinération.

Il faut souligner que 68 % des communes de la province gèrent leurs déchets en régie contre 5% en gestion déléguée et le reste (27%) des communes ne dispose pas de mode de gestion. Il est à noter aussi que 64% des communes possède un service de gestion des déchets permanent et 9% dispose d'un service occasionnel.

Hormis la municipalité de Khénifra, les problèmes majeurs relevés au niveau de la zone d'étude concernent notamment des insuffisances et des défaillances notoires portant sur les services de collecte

et de nettoyage, caractérisés par l'absence d'un service de la gestion des déchets dans les centres ruraux.

2. Mise en décharge

Jusqu'au 2017, la totalité des déchets produits a été mise en décharge sauvage avec un pourcentage de 100% et ne subissent aucun traitement. Les déversements des déchets sont au nombre de 12 allant de la décharge de Khénifra dont la superficie est 13 ha vers celle de M'Rirt qui s'étale sur plus de 6 ha, à des dépotoirs de quelques centaines de mètres carrés. Le nombre total des lieux de déversement identifiés durant les tournées réalisées dans le cadre de cette étude est de l'ordre de 12 dépôts sauvages dont 2 décharges importantes correspondantes aux communes de Khénifra et M'Rirt (Figure 40). La décharge de Khénifra accueille les déchets ménagers et assimilés de la commune de Khénifra et d'autres communes à savoir : Lehri, Tighassaline, El Borj, Moha Ou Hammou Zayani, SidiYahya Ou Saâd, El Kbab. Il est à noter qu'un projet de réalisation d'un centre provincial d'enfouissement et de valorisation (CEV), a été mis en service la fin de l'année 2017 et ce en partenariat avec le Ministère Délégué Chargé de l'Environnement et du Ministère de l'Intérieur.

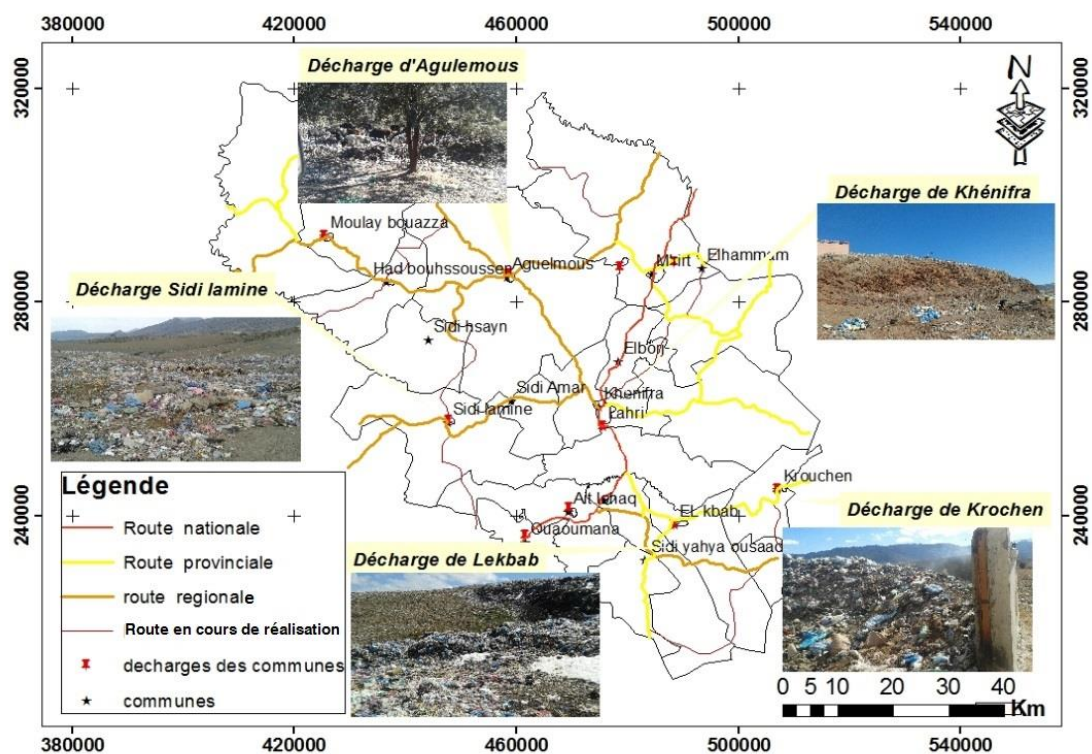


Figure 40: Géolocalisation des lieux de déversement des déchets dans la province de Khénifra

3. Moyens humains de la province de Khénifra

Les investigations réalisées au niveau des communes nous ont permis de sortir les moyens humains dédiés à la gestion des déchets dans la province de Khénifra. Elle emploie actuellement 181 personnes exclusivement pour les services de la collecte et du nettoyage. L'essentiel du personnel, soit 51% est

concentré dans les municipalités de Khénifra et M'Rirt qui produisent quasiment 72,8% du tonnage des déchets et regroupent 69% de la population.

Le personnel dédié au nettoyage représente 41 % du personnel total non compris le personnel commun aux deux services. Ce ratio est assez élevé et montre que les prestations de nettoyage sont suffisamment outillées en main d'œuvre.

Certaines communes ne disposent pas d'un service de la collecte, ne mobilisent aucun moyen matériel ni humain pour la collecte de leurs déchets. Par contre elles engagent des balayeurs pour assurer le nettoyage des centres à une fréquence journalière. En effet, d'autres communes disposent des effectifs faibles dédiés à la gestion des déchets ménagers.

En général, les communes à caractère rural sont dépourvues du personnel administratif et des cadres chargés du suivi et de la coordination des équipes communales.

4. Equipement de la zone d'étude

Le parc des véhicules de la zone d'étude utilisés pour la collecte des déchets solides se compose généralement de camions bennes, camion pour caissons, pick-up benne, des conteneurs et des brouettes pour la collecte des déchets dans les ruelles inaccessibles pour les camions.

La zone d'étude est sous équipée en moyen matériel; certaines communes notamment rurales ne disposent que de charrettes pour la collecte des déchets. Ces communes ne sont desservies qu'au niveau de leur axe principal ; la population dans ces centres prend en charge l'élimination des déchets elle-même et par ses propres moyens. La majorité du matériel est localisé dans les communes de Khénifra et M'Rirt qui produisent une quantité importante des déchets.

Tableau 30: Récapitulatif du matériel de la gestion des déchets dans la province

Véhicule (BT, CB, MB...etc)	Capacité (en m ³)	Taux de remplissage (%)	Nombre
Benne Tasseuse	80m ³	100	8
Camion Benne	33m ³	100	7
Benne Satellite	14 m ³	100	40
Multi Benne	3m ³	-	-
1 Balayeur mécanique	9 m ³	-	-
Caisson	30 m ³	-	130
Charrette	3 m ³	-	3

5. Contraintes de gestion des déchets dans la zone d'étude

La zone d'études connaît plusieurs contraintes et plusieurs obstacles qui perturbent une gestion efficace des déchets. Parmi-elles, que nous avons identifiées au cours de notre investigation, on cite:

- Le niveau bas de sensibilisation et d'implication de la population dans la gestion ;

- L'insuffisance du matériel adéquat en capacité et en qualité ;
- L'absence des mesures de prévention pour les employés communaux chargés de la collecte ;
- La présence des quartiers à accès difficiles dans le cas où la voirie est inexistante ou en mauvais état.
- Le manque respect des horaires de la collecte par les citoyens.
- L'absence des moyens et du personnel de gestion dans certaines communes
- L'absence de la conteneurisation dans la majorité des communes de la province justifiant ainsi la collecte traditionnelle.
- L'insuffisance de la conteneurisation dans certains quartiers de la ville de Khénifra.
- La présence des points noirs dans les centres ruraux et aussi dans le centre urbain de Khénifra malgré les efforts de la société délégataire.
- L'éparpillement des déchets par les chats et chiens errants.

Les dépenses du service de la gestion des déchets solides englobent généralement les dépenses du personnel (salaires, assurances, habillements..), matériel et frais de fonctionnement (assurances du matériel roulant, carburant, pièces de rechange ...).

Il est à signaler qu'au niveau de certaines communes, les moyens humains et matériels de la collecte sont généralement affectés à d'autres travaux communaux sinon à l'ensemble des travaux. Donc pour rapprocher les dépenses réelles afférentes au service de la gestion des déchets, on a adopté un taux d'affectation qui prend en considération le taux d'utilisation des moyens matériels ou humains dans le service.

Les dépenses totales annuelles d'exploitation en relation avec la gestion des déchets ménagers et assimilés atteignent en total pour la province de Khénifra environ **13 050 438 Dhs/an** soit **240,06 Dhs/tonne** en moyenne, mais à partir du janvier 2019 la commune de Khénifra investit environ **11 400 336 Dhs/an** dans la collecte des déchets soit **340 Dhs/Tonne**.

6. Suivi et surveillance

Le manque des moyens et des ressources (personnel d'encadrement, véhicules, outils informatiques et de communication, formation et recyclage) du suivi et d'évaluation des systèmes de gestion des déchets solides apparaissent relativement rudimentaires, particulièrement au niveau des communes du milieu rural. De fait, lorsqu'ils existent, le suivi et le contrôle de l'exécution de la mission de propreté ne sont ni réguliers, ni complets. Ainsi, l'analyse des activités de propreté est rarement effectuée par les communes. En particulier, il n'existe aucune information disponible sur l'efficacité de la collecte, le rendement du personnel, ou la disponibilité et la productivité du matériel de collecte.

II. RESULTATS DE L'ENQUETE AUPRES DES MENAGES

L'étude de caractérisation des déchets solides dans la région de Khénifra a permis de fournir le maximum d'informations et de données de référence pouvant aider les décideurs dans la prise de décision relativement à la gestion des déchets. En prélude à cette caractérisation, une étude sociale a été faite. Cette étude a permis de recueillir des informations utiles et indispensables notamment: la taille des ménages, leur pratique de gestion de leurs déchets ménagers, leur opinion envers la valorisation des déchets ou de l'une de ses fractions, leur vision pour la gestion globale, ainsi que leurs taux de satisfaction face aux prestations proposées.

1. Taille des ménages

Les résultats de l'étude sociale nous a permis d'extraire des informations en relation aux populations de la zone d'étude. Ces informations sont indispensables pour comprendre et savoir le degré d'implication des citoyens dans la gestion des déchets ménagers. L'échantillon de ménages enquêtés est de 447 représentants le milieu rural et le milieu urbain. L'enquête a montré que les tailles des ménages diminuent avec l'augmentation du niveau de vie. La vraie valeur de cette taille de ménage à 95 % de chance de se trouver dans l'intervalle de confiance figurant dans le tableau suivant. Ces tailles de ménage sont calculées pour $t\alpha ; n - 1$ (Aloumine, 2006) correspondant au nombre de ménages n par standing (Tableau 31).

Tableau 31: Tailles des ménages

Milieu Paramètres	Milieu Rural	Milieu urbain				Province de Khénifra
		Bas standing	Moyen standing	Haut standing	Khénifra ville	
Zone d'échantillonnage	Six communes	Q. Tiâlaline	Q. Agricole	Q. Coopératif	Trois quartiers	Sept communes
Nombre de ménages	177	105	91	74	270	447
Nombre de personnes	834	427	348	268	1043	1877
Taille moyenne des ménages	4,71	4,06	3,83	3,63	3,84	4,27
Ecart-type	5	3	3,2	3,37	3,19	4,09
Intervalle de confiance	± 4,13	± 4,60	± 4,32	± 4,10	± 4,35	± 4,23

2. Implication des citoyens dans la gestion des déchets

Pour comprendre le comportement de la population de cette province vis-à-vis de leurs déchets solides, un questionnaire a été réparti en quatre parties dont les résultats après traitement sont comme suit :

❖ Partie 1 : la gestion des déchets à l'intérieur des foyers

La production des déchets ménagers débute à l'intérieur des foyers, les ménages sont interrogés sur :

- Qui s'occupe de la gestion des déchets ;
- Les moyens de ramassage ;
- La fréquence de débarrassage.

Les résultats de l'enquête montrent que parmi les 72% des ménages (Figure 41), c'est la mère qui s'occupe de la gestion des déchets dans les foyers, 18 % c'est le père et les enfants aussi impliqués avec un pourcentage de 10 % dans le milieu urbain. D'après les résultats récoltés, le rôle de la femme dans la gestion des déchets est primordial, malgré que le niveau de sa scolarisation est faible.

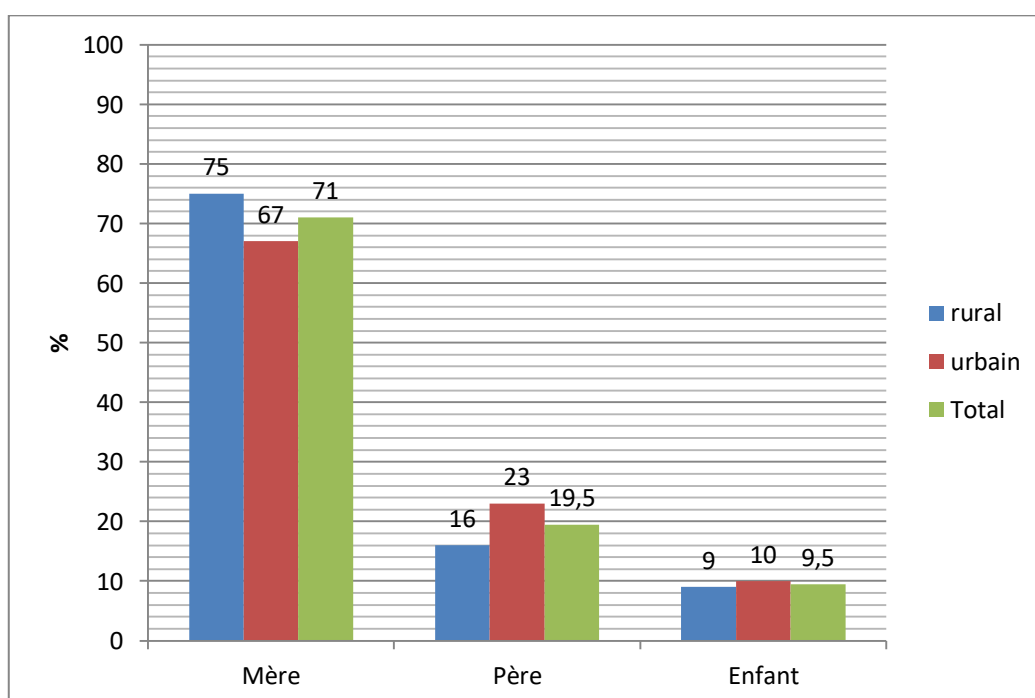


Figure 41: Membres de famille qui s'occupent de la gestion des déchets

Les résultats montrent aussi que la majorité des ménages du milieu urbain font sortir leurs déchets pendant le soir (43 %), le matin 33% alors que 24% sans précision (Figure 42). Par contre dans le milieu rural, la plus part des ménages se débarrassent de leurs déchets dans la matinée.

Aussi la quasi-totalité des ménages de la province (91%) se débarrassent de leurs déchets avec une fréquence d'une fois/jour (Figure 43). Ces pourcentages expliquent bien les problèmes rencontrés au niveau du territoire d'étude. En effet, le décalage du temps entre le ramassage exercé par les habitants et la collecte des déchets engendre, fréquemment, l'apparition des points noirs. Il est à noter que la collecte des déchets se fait d'une manière irrégulière au niveau du milieu rural (communes de Sidi Lamine, El hammam, Ait Saâdelli, Had Bouhssoussen et Sidi Amar) ; ces communes procèdent à l'élimination des déchets accumulés sous forme de points noirs par incinération.

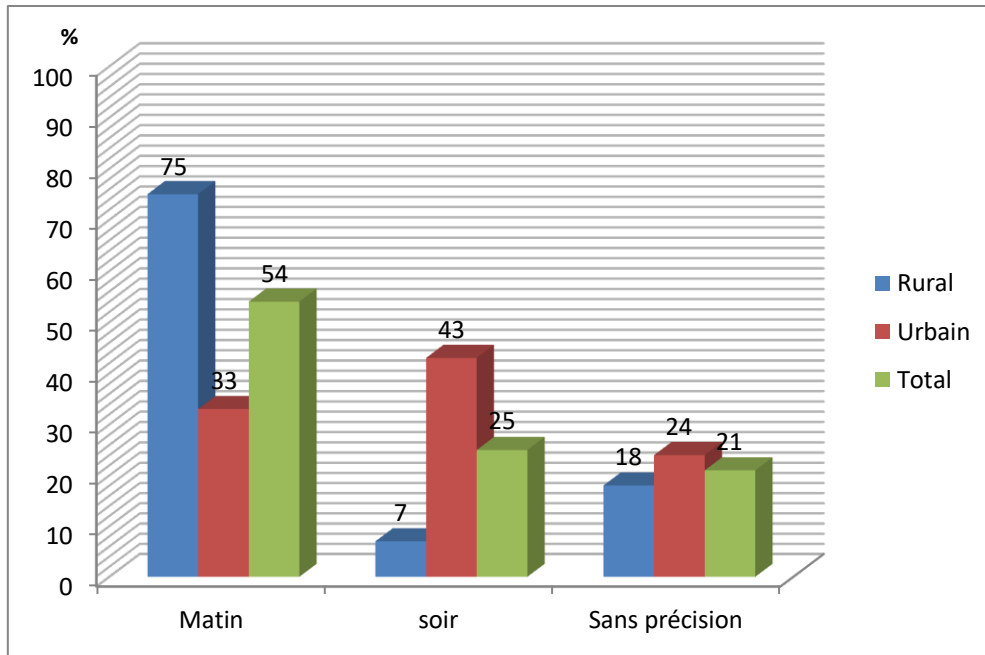


Figure 42: Horaires de sortie des poubelles dans la province de Khénifra

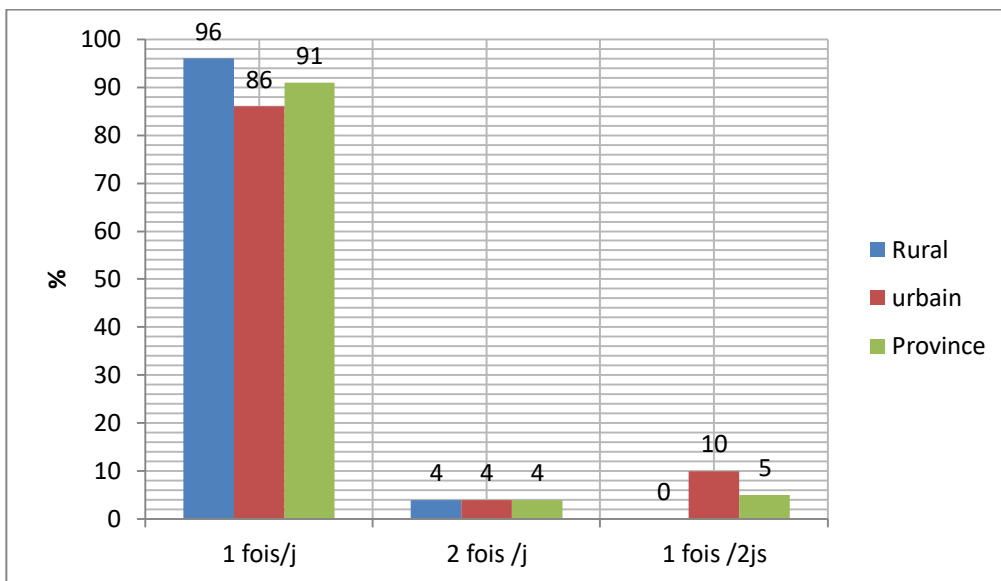


Figure 43: Fréquence de sortie des poubelles dans la province de Khénifra

❖ Partie 2 : Les problèmes de la gestion des déchets au niveau du quartier

D'après l'enquête réalisée avec la population, on a déduit que presque la moitié (51 %) déclarent qu'ils trouvent des difficultés pour se débarrasser de leurs déchets dans le milieu urbain (Figure 44), du fait qu'il y'a insuffisance et/ou absence des bacs, d'autres (21%) pensent que ces difficultés sont en relation avec la perturbation causé par le décalage de l'horaire de sortie des poubelles avec la collecte par la société déléguée. Alors que 17% de la population affirment que ces problèmes de gestion sont liés aux gestes incorrectes et irresponsables des habitants. Par contre en milieu rural, la totalité de la population enquêtée déclare que les problèmes sont plus graves et ceci en relation avec l'absence totale des bacs (Figure 45).

Ces déductions confirment bien les observations relevées à partir des visites et des tournées qu'on a réalisées au niveau des centres. En effet, nous avons constaté que dans le milieu rural la collecte s'effectue d'une façon directe et traditionnelle par la commune elle-même et elle ne dispose pas des bacs, ce qui intensifie les problèmes.

Au niveau du milieu urbain, et dans certains quartiers dont la densité des habitants est élevée, nous avons remarqué une insuffisance d'installation des bacs. Ceci, nous amène à penser de réaliser prochainement une étude d'optimisation des moyens de collecte.

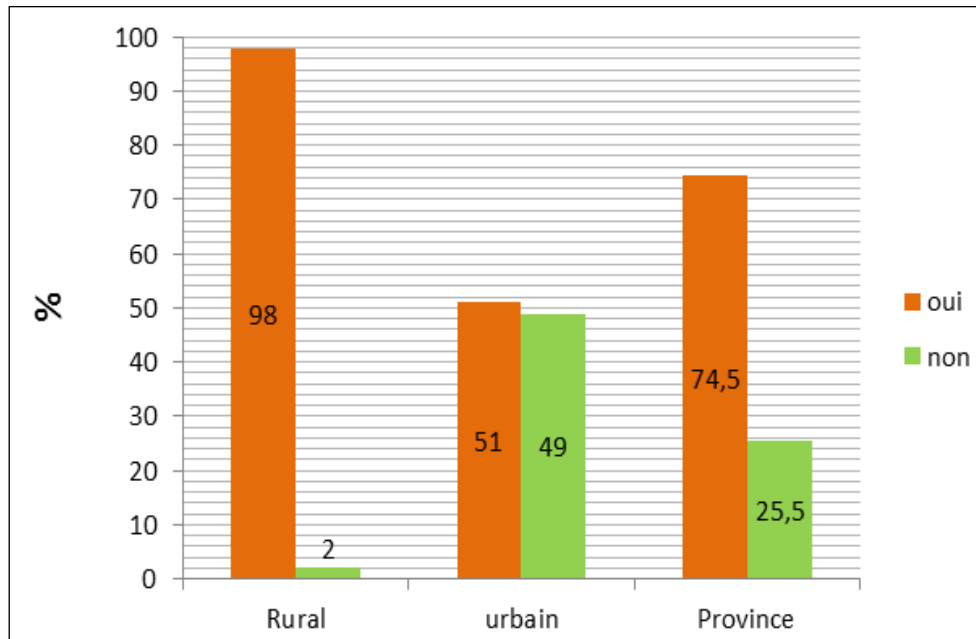


Figure 44: Déclaration des problèmes par les habitants

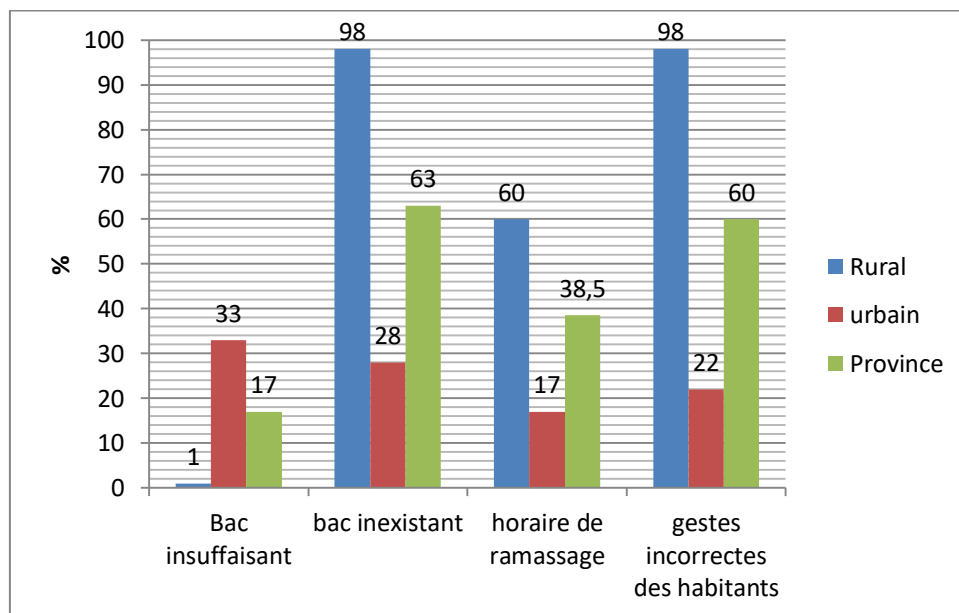


Figure 45: Classification des problèmes

L'éloignement, l'insuffisance et l'inexistence des bacs, ainsi le manque de civisme de certains citoyens, et la perturbation des horaires de ramassage imposent, 99% des familles du milieu rural et 44% des familles du milieu urbain, de se débarrasser de leurs poubelles dans la rue (Figure 46).

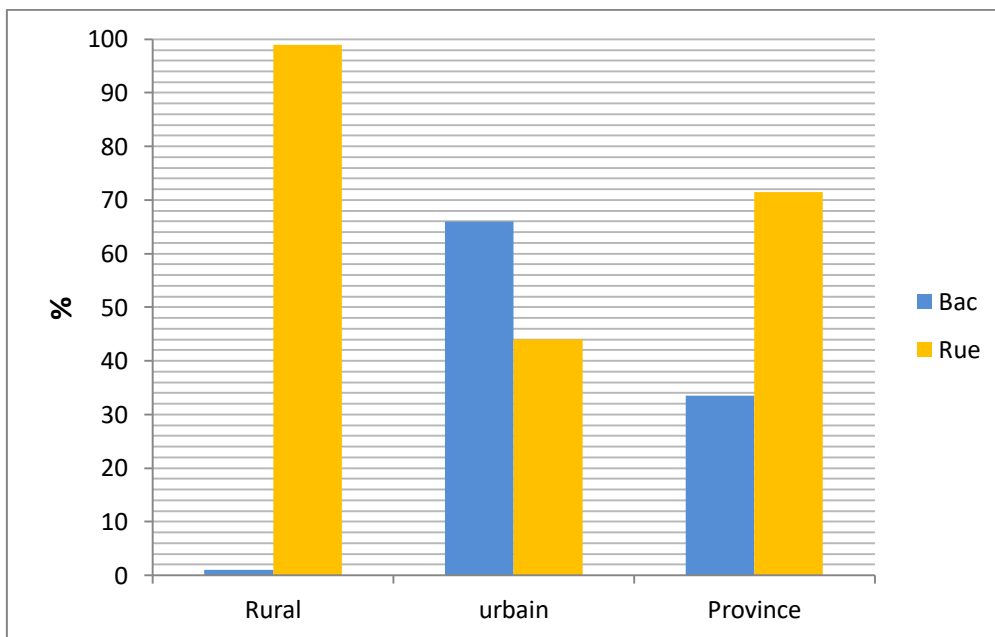


Figure 46: Lieu de déversement des déchets

L'analyse des données issues de l'enquête nous a révélé que la majorité des habitants questionnés du milieu rural ne sont pas satisfaits de la gestion actuelle des déchets. Alors que 47% des familles du milieu urbain ont une appréciation passable sur l'état actuelle de la collecte des déchets dans la ville (Figure 47). Cette appréciation des ménages vis-à-vis de la gestion des déchets solides explique et vient confirmer l'existence de dépôts sauvages dans la province de Khénifra.

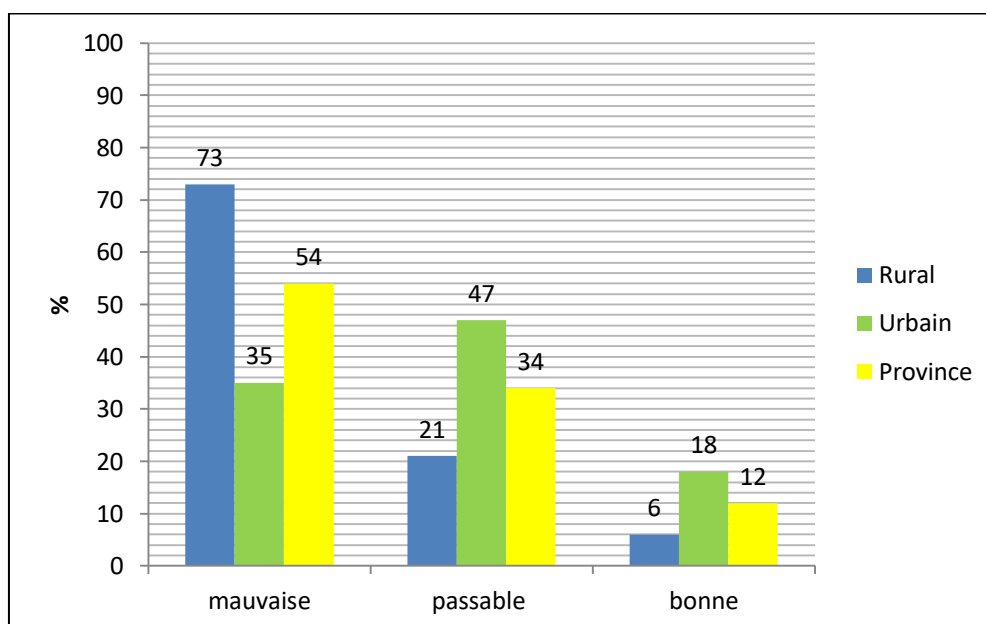


Figure 47: Appréciation des habitants vis-à-vis de la gestion actuelle des déchets

❖ **Partie 3 : Intérêt des habitants consacré au domaine des déchets**

Cette partie vise à savoir l'intérêt des habitants de la province de Khénifra consacré au domaine des déchets, afin de mesurer leur conscience relative aux impacts générés par ces derniers.

Les résultats (Figure 48) de l'enquête sociale révèlent que, presque 43 % des enquêtés ne savent pas ce que deviennent ou pourraient devenir les déchets qu'ils produisent. Les taux de réponses négatives varient de 29% à 30% des familles du milieu rural et urbain. Ces résultats montrent bien l'inconscience des citoyens de la province de Khénifra au sujet de la gestion des déchets et à leurs problèmes. En revanche, les déchets ne suscitent pas leur enthousiasme une fois évacué de leurs maisons ; il y a une relation évidente entre la distance au déversement et la perception du déchet et de son risque.

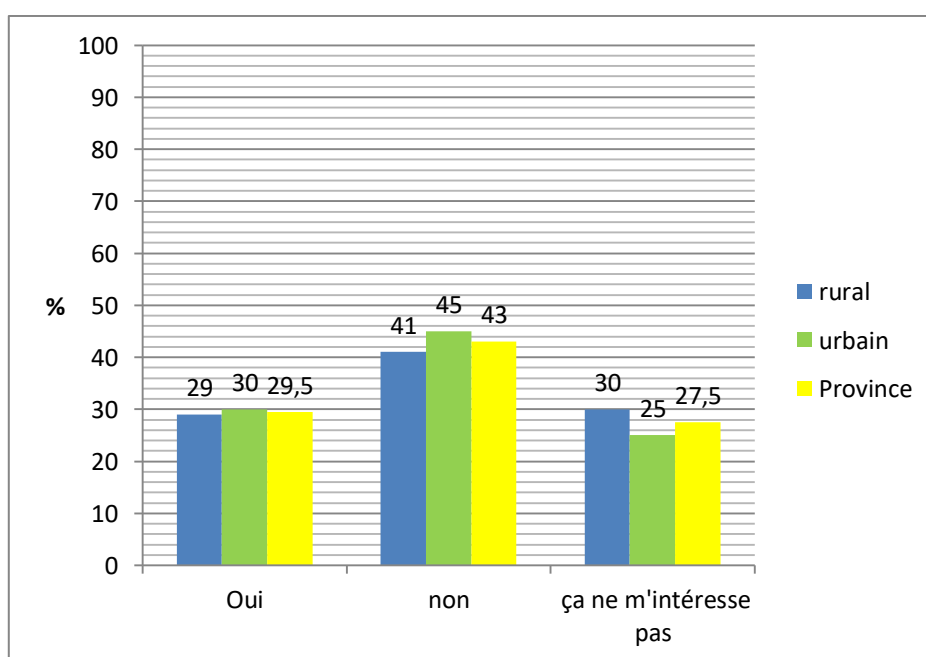


Figure 48: Habitants de la province de Khénifra qui savent le sort des déchets

❖ **Partie 4 : Implication des habitants dans le processus de la gestion des déchets**

Le tri à la source constitue une opération indispensable dans les systèmes actuels de gestion de déchets ménagers. Cependant, à l'échelle nationale cette opération n'est pas encore utilisée, il y a quelques expériences encourageantes. Cette partie de notre questionnaire met l'accent sur le degré de connaissance des habitants envers le domaine du tri et du recyclage. Les résultats obtenus montrent que 54% des habitants du milieu urbain ont une idée et sont informés sur le tri. En revanche, 75% des ménages du milieu rural, n'ont aucune idée sur cette opération (Figure 49).

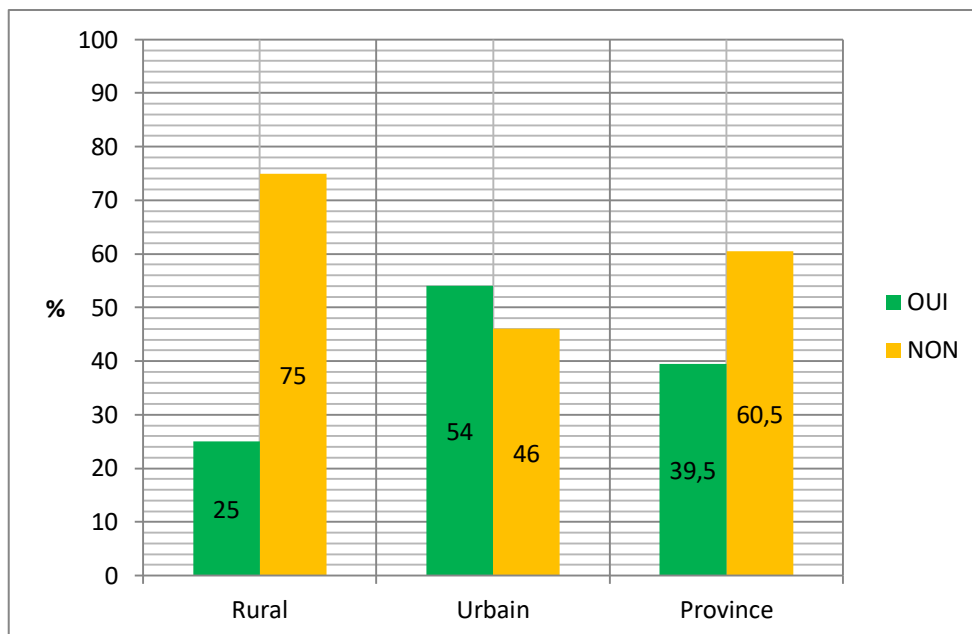


Figure 49: Ménages qui ont une idée sur le tri à la source dans la province de Khénifra

Les résultats montrent que la majorité de la population enquêtée (64%) dans le milieu urbain accepte de faire le tri à la source (Figure 50), alors que 52% des habitants des ménages ruraux refusent de faire cette opération. Par conséquent, la moitié de la population de la province de Khénifra accepte de faire le tri à la source.

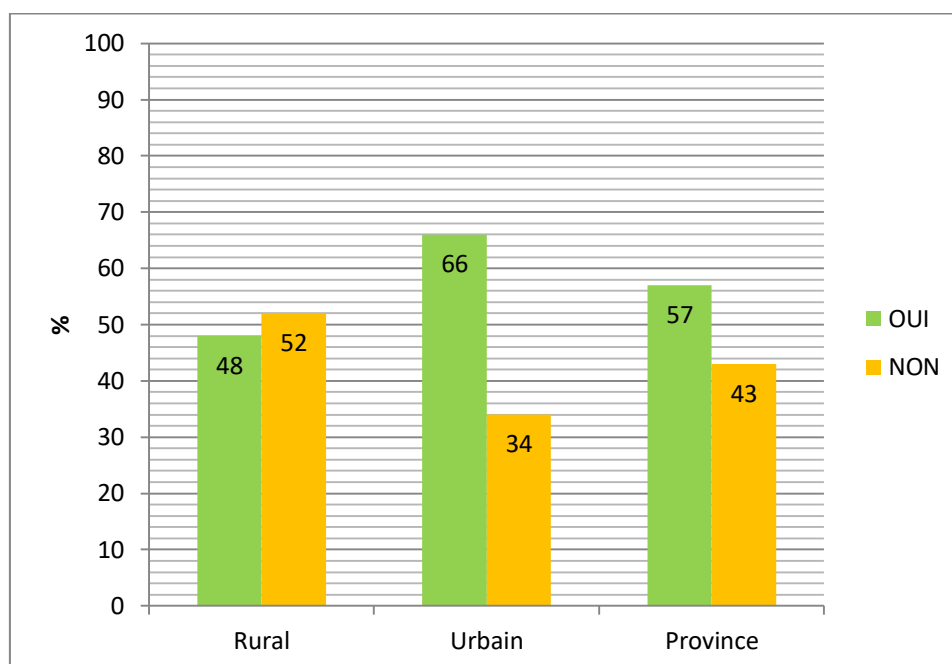


Figure 50: Ménages ayant accepté d'exercer le tri à la source dans la province de Khénifra

Pour évaluer la volonté des habitants de s'impliquer dans le processus de changement de l'état actuel, nous avons interrogé les habitants sur la possibilité de leur implication d'une façon financière pour moderniser et développer le secteur de gestion des déchets ménagers.

Les résultats obtenus montrent qu'environ de 70% des ménages refusent de payer une taxe supplémentaire pour moderniser l'état actuel de la gestion des déchets (Figure 51). Le pourcentage de la population acceptant de payer la taxation supplémentaire est supérieur en milieu urbain qu'en milieu rural. Ceci indique que le type de secteur reflète le degré du niveau de vie des ménages, est un facteur important qu'on doit prendre en considération dans la mise en place d'un système de gestion approprié à la province de Khénifra. Les études effectuées dans d'autres pays sur l'applicabilité de la redevance montrent que cet outil ne peut être pas toujours pris comme moyen pour améliorer le secteur ni à assurer l'implication des citoyens (Elhamdouni et al., 2018).

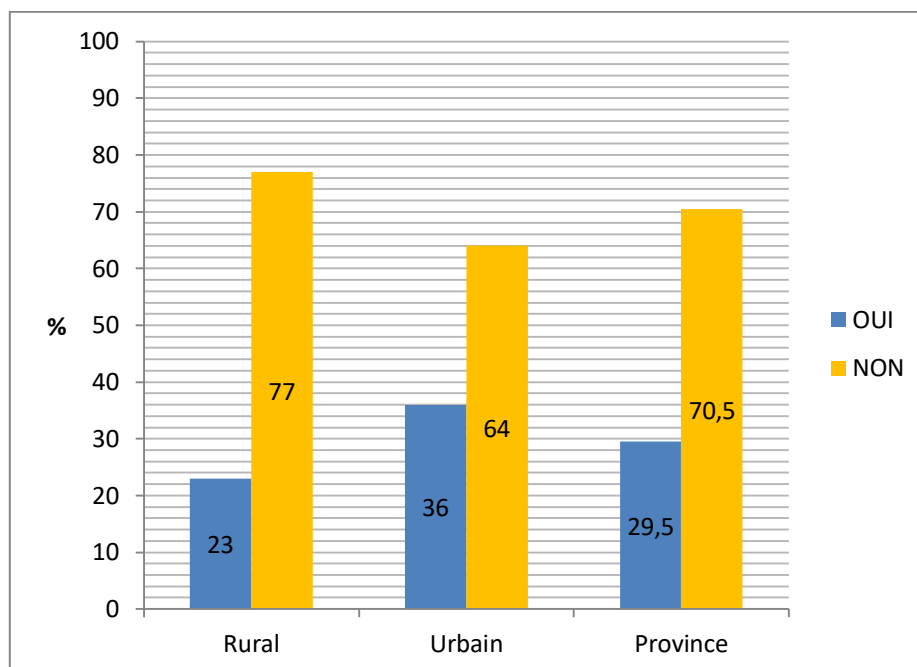


Figure 51: Ménages de la province qui sont prêts à payer la taxation supplémentaire

III. RESULTATS DE LA CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS

La caractérisation des déchets ménagers dans la province de Khénifra nous a permis de mettre en place les données de référence qui pourront servir dans la mise en place d'une stratégie globale de gestion des déchets au niveau national. Tenant compte des caractéristiques très hétérogènes des déchets ménagers et l'influence du niveau de vie sur leur composition, il était indispensable de procéder à la minimisation de la variation au sein de la population étudiée.

1. Ratio journalier

L'analyse des résultats récoltés en relation avec les ratios journaliers (quantités rejetées par habitant par jour) dans la région de Khénifra, au niveau du site du CEV confirme l'effet saisonnier sur la

production des déchets ménagers, d'où l'augmentation significative de la production journalière s'effectue pendant la saison estivale.

Les résultats montrent également une différence dans le ratio journalier entre les secteurs étudiés, il s'agit d'une augmentation remarquable dans le milieu urbain par rapport au milieu rural (Tableau 32). Cette augmentation est principalement due à la croissance démographique et à la différence des modes de vie entre les deux milieux. Le ratio de production moyenne de déchets dans la zone urbaine est inférieur à celui du Grand Casablanca (0,89kg/hab/j) (Ben Amar, 2006) et Mohammedia, soit 0,80kg/hab/j (El maguiri et al., 2014). En revanche, il est proche du ratio moyen du Maroc, estimé à 0,75kg/hab/j dans les zones urbaines et celui de l'Algérie, estimé à 0,75 kg/hab/j (Mezouari, 2011). Cela peut être expliqué par la forte densité de population dans cette région (caractérisée par la verticalité de ses bâtiments) et par la manière de collecte qui se fait avec un rythme élevé par rapport aux autres secteurs ruraux. D'autre part, les résultats obtenus pendant la saison sèche montrent une augmentation des quantités générées en moyenne de 20% par rapport à la période humide. Cette augmentation est plus importante au niveau du secteur urbain (environ 16% par rapport à la saison humide). Cette augmentation reste proportionnelle avec les principales fractions. Ceci peut être dû à l'évolution du mode de vie des populations, mais surtout à un changement de leur pratique de gestion des déchets.

Tableau 32: Ratios de production des déchets par secteur dans la province de Khénifra (2018)

	Milieu urbain	Milieu rural	Province de Khénifra
Saison humide			
Nombre d'habitants	120 156	16 807	236 160
Quantité des déchets (T/j)	83,84	8,83	150,35
Ratios (kg/hab/j)	0,70	0,53	0,62
Saison sèche			
Nombre d'habitants	120 156	16 807	236 160
Quantité des déchets (T/j)	99,01	10,5	180
Ratios (kg/hab/j)	0,82	0,62	0,73
Ratios moyen (kg/hab/j)	0,76	0,57	0,67

2. Caractérisation par catégorie et par taille

Le tri par taille nous a permis d'avoir des informations sur les proportions de la fraction de classement, procédé au tri décrit auparavant à savoir: G1 (> 250 mm), G2 (<250 mm et > 80 mm), et G3 (<80 mm). Cependant, les déchets de la fraction inférieure à 80 mm n'ont pas été triés car ils sont principalement

constitués de matériaux biodégradables (Mechadi et al., 2016; Ouigmane et al., 2017). La composition des déchets par catégories en pourcentage de la masse triée, selon les saisons et les zones de la région de Khénifra est représentée dans les tableaux 33 et 34. En revanche, la composition globale des déchets de cette province est représentée dans la figure 52. La connaissance de cette composition est essentielle pour déduire les méthodes d'élimination à savoir le compostage, le recyclage des métaux et autres matériaux d'emballages: carton, papiers, verre, plastiques et également pour dimensionner les endroits de traitement.

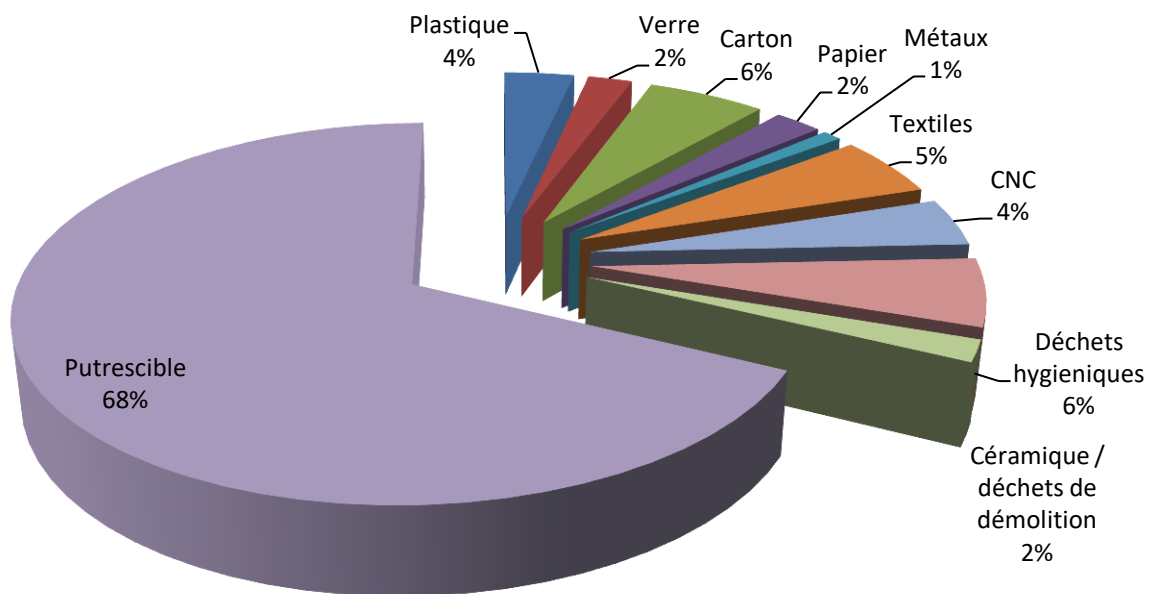


Figure 52: Composition globale (%) des déchets solides ménagers de la province de Khénifra

Les résultats de deux campagnes de caractérisation réalisées au niveau de la zone d'étude montrent bien que les déchets solides ménagers de la région de Khénifra sont principalement constitués de déchets fermentescibles dont le pourcentage varie en moyenne entre 67% (hiver) et 69% (été) suivis de déchets d'emballages (papier, carton, verre, textile et plastique) en plus des combustibles non classés (CNC).

La séparation par taille a montré que la fraction G3 est la plus abondante avec une variation spatio-temporelle significative (60% en milieu urbain et 69% en milieu rural), composé essentiellement des matériaux biodégradables (Figure 53). Le G2 constitue 29-37% selon le milieu de production de l'ensemble des échantillons de déchets contenant principalement des matériaux biodégradables et des déchets recyclables (textiles, carton et papier, plastiques, déchets sanitaires et de démolition). La fraction G1 représente 2 à 3% selon la saison et le milieu ; le taux des matières biodégradables dépasse 30% et la part des combustibles est 60%, le reste étant un déchet recyclable.

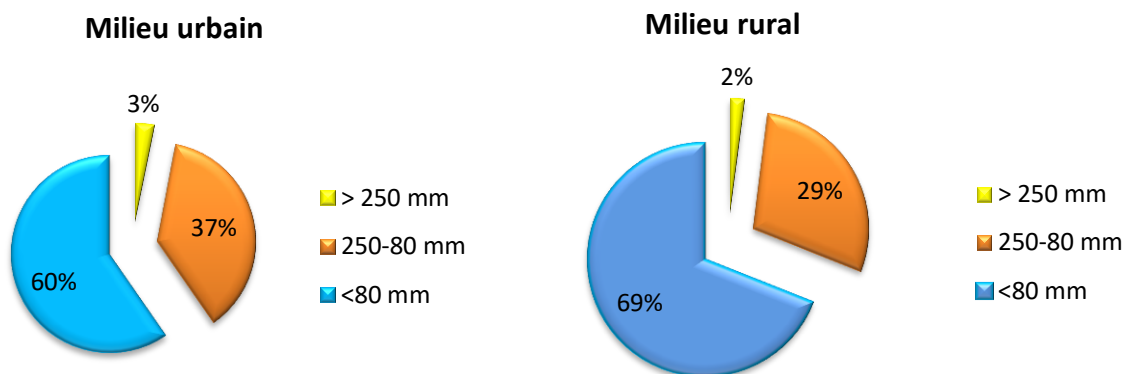


Figure 53: Répartition granulométrique des déchets de la province de khénifra par milieu

Tableau 33: Composition (%) par catégorie des déchets solides ménagers (Saison humide)

Secteurs	Urbain			Rural			Province de Khénifra		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
Granulométrie									
Pourcentage	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Catégorie									
Plastique	1,25	3,01	-	-	1,1	-	0,6	2,05	-
PET	0,75	2,01	-	-	0,91	-	0,6	1,50	-
HDPE	0,35	0,75	-	-	0,10	-	-	0,25	-
PVC	0,11	0,13	-	-	-	-	-	0,23	-
PP	0,04	0,12	-	-	-	-	-	0,07	-
Verre	-	2,5	-	-	0,9	-	-	1,7	-
Carton	2,87	6,15	-	1,31	2,57	-	2,09	4,36	-
Papier	-	3,85	-	-	1,38	-	-	2,12	-
Métaux	0,55	0,88	-	-	0,60	-	0,23	0,74	-
Textiles	3,62	5,25	-	1,87	3,91	-	2,75	4,58	-
Combustible non classes (CNC)	0,90	2,5	-	0,55	0,5	-	1,45	3,00	-
Déchets hygiéniques	-	6,65	-	-	5,25	-	-	5,95	-
Déchets de démolition	-	1,57	-	-	1,83	-	-	1,7	-
Putrescibles	2,02	4,50	58,91	-	3,9	64,2	1,01	4,2	61,55

Tableau 34: Composition (%) par catégorie des déchets solides ménagers (Saison sèche)

Secteurs	Urbain			Rural			Province de Khénifra		
Granulométrie	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G1	G2	G3
Pourcentage	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Catégorie									
Plastique	1,5	4,5	-	1,25	2,5	-	1,37	2,5	-
PET	0,5	2,51	-	1,00	0,75		0,88	1,12	-
PEHD	0,75	1,02	-	0,25	0,26		0,22	1,25	-
PVC	0,21	0,75	-	-	0,15		0,17	0,13	-
PP	0,04	-	-	-	0,10		0,1	-	-
Verre	-	3,5	-	-	1,2	-	-	2,35	-
Carton	1,5	5,2	-	0,55	1,88	-	1,03	3,55	-
Papier	-	3,85	-	-	1,55	-	-	2,7	-
Métaux	-	0,99	-	-	0,75	-	-	0,9	-
Textiles	1,5	4,5	-	-	3,21	-	0,75	3,85	-
Combustible non classés (CNC)	1,9	4,23	-	-	2,55	-	0,90	3,39	-
Déchets hygiéniques	-	6,5	-	-	5,25	-	-	5,80	-
Déchets de démolition	-	2,5	-	-	1,05	-	-	1,75	-
Putrescibles	1,70	3,50	64,55	-	2,00	66,61	0,85	2,75	65,58

Les résultats obtenus dans les deux campagnes ont montré que la part des putrescibles varie entre 66 - 69% et une légère variation dans les proportions de déchets d'emballages (papier, carton et combustibles non classés). Le pourcentage des métaux est faible dans les deux campagnes et dans les deux milieux en raison de leur tri à la source par le secteur informel.

Les proportions des fermentescibles obtenues durant la période sèche sont assez élevées par rapport à celles de la période humide. Elles enregistrent une différence significative entre les deux milieux de la province de Khénifra. Cela peut être expliqué par le mode et le niveau la vie, par la nature de l'environnement et le caractère socio-économique ainsi que par le régime alimentaire des habitants qui est généralement basé en été sur les légumes et les fruits. Ces derniers résultats montrent que les facteurs de la zone d'étude ont des effets significatifs sur l'environnement et les interactions intimes entre le climat et l'alimentation.

Les résultats de l'étude de caractérisation obtenus pendant les deux saisons révèlent que la région de Khénifra se subdivise en deux grands milieux distincts : le premier avec un caractère semi-urbain comprend les deux communes Khénifra et M'Rirt, le deuxième à caractère rural comprend les autres communes.

La variation des pourcentages des déchets d'emballages (papier, carton) pendant les deux périodes montre qu'il n'y a pas d'évolution sensible, mais une différence remarquable a été observée dans le milieu urbain par rapport au milieu rural, cela est dû à la source de ces matériaux qui est particulièrement liée à l'activité commerciale et administrative de la zone urbaine.

Les résultats ont montré également, que le pourcentage du verre enregistre une variation significative spatiale et temporelle. Ce pourcentage, malgré qui est relativement faible, peut constituer une économie assez considérable car le verre est le seul matériau recyclable à l'infini sans perdre ces qualités intrinsèques. En effet, son enfouissement est une perte de sources naturelles qu'il faut protéger.

Compte tenu de l'évolution du mode de vie, les textiles hygiéniques sont de plus en plus utilisés dans les deux secteurs et ils ne donnent aucune variation remarquable entre les deux périodes. La part du plastique est enregistrée essentiellement dans la fraction G2 et une quantité faible dans la fraction G1. Par ailleurs, elle montre une variation significative entre les deux secteurs étudiés et une légère variation saisonnière de 1%. Les valeurs élevées du plastique dans le secteur urbain sont expliquées par le développement de l'industrie pétrochimique au Maroc. D'autre part, le PET est la sous-catégorie du plastique dominante 70 à 73% en moyenne, suivie par le PEHD avec 20 à 24%, par contre le reste (4%) pour les autres catégories (PVC et PP). Par conséquent, le secteur rural produit moins de déchets recyclables, étant donné le mode de vie des ménages.

Selon les travaux de caractérisation des déchets solides dans différentes villes de différents pays en voie de développement, comme à Lomé au Togo (Koledzi, 2011), à Tunis en Tunisie (Zaïri et al., 2004 ; Ben Amar, 2006), à Nouakchott en Mauritanie (Aloueimine, 2006), Tanger (Elkadi et al., 2016), Mohammedia (El maguiri et al., 2014) et Béni Mellal au Maroc (Mechadi, 2017) et Alger (Tahraoui et al., 2012) montrent qu'il existe des distances très importantes sur chaque catégorie, ce qui confirme la théorie selon laquelle la nature d'un déchet est liée au mode de vie, le climat et le caractère socio-économique ainsi que le régime alimentaire des habitants. La variabilité des catégories et des sous-catégories des déchets ainsi que les pourcentages importants de certaines catégories montrent bien l'intérêt du tri à la source, qui est une nécessité incontournable afin d'éviter des conséquences souvent très coûteuses et d'encourager l'économie circulaire.

3. Caractérisation physico-chimique

3.1. Détermination de l'humidité

Le taux d'humidité de la fraction granulométrique fine de nos échantillons, a été déterminé après séchage préalable à l'air puis le séchage à l'étuve au laboratoire. Le tableau suivant présente les résultats de l'humidité des deux campagnes.

Tableau 35 : Mesure de l'humidité (%)

Secteurs	Urbain			Rural	Province de Khénifra
Zones	ZP	ZMHS	ZCV	ZR	Moyenne
Humidité	%	%	%	%	%
Campagne 1 (S. Humide)	72,3	72,5	69,4	73,3	71,5
Campagne 2 (S. Sèche)	67,5	67,2	66,5	69,1	67,5
Moyenne	69,9	69,85	67,95	71,2	69,5

Il semble que les pourcentages d'humidité des déchets présentent des variations saisonnières mais, il enregistre une légère variation entre les secteurs étudiés notamment le secteur rural. L'humidité de la saison humide varie de 69,4% à 73,3% par contre ce taux ne dépasse pas 69,1% pendant la saison sèche. Elle est importante dans la saison humide par rapport à la saison sèche, ceci est dû au climat de la région. Ces valeurs est un atout en faveur d'un traitement biologique tant par compostage que par méthanisation pour éviter la génération d'une grande quantité de lixiviat dans les centres de valorisation. Le taux d'humidité des déchets de Khénifra est supérieur à celui de Mauritanie (11%) (Aloueimine et al., 2005) et de Tanger 43 % (Elkadi et al., 2016). En revanche, il reste proche à celui d'Alger = 69 % (Youb et al., 2014). L'humidité moyenne des déchets à Khénifra est de l'ordre de 69,5% en raison de la grande teneur en putrescible.

3.2. Détermination de la masse volumique

La masse volumique est l'un des paramètres importants aussi bien dans le choix et la conception des moyens de transport des déchets urbains que dans la stabilisation des déchets en décharge. Elle a été déterminée pour les déchets générés chaque jour pendant la période de chaque campagne de caractérisation. A cause de l'hétérogénéité des déchets, les mesures effectuées ont montré une variation des résultats obtenus (Tableau 36). Cependant, malgré la différence de constitution des déchets par standing, on constate que les valeurs de la masse volumique moyenne sont voisines, quel que soit le niveau de vie. Ceci pourrait s'expliquer en partie par le fait que le taux important de la fraction des fines pour les niveaux du bas et moyen standing, sont compensés, en masse, par les fermentescibles dans le haut standing. En revanche, les mesures présentent des variations significatives entre les saisons. La masse volumique moyenne dans la région de Khénifra est comprise

entre 272 kg.m⁻³ et 350 kg.m⁻³ selon la saison. Elle reste dans la gamme des valeurs des PED (250-500) d'après Cointreau Levine en 1997.

Tableau 36: Masse volumique (MV%)

Secteurs	Urbain			Rural	Province de Khénifra
Zones	ZP	ZMHS	ZCV	ZR	Moyenne
MV	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
Campagne 1	350	320	420	310	350
Campagne 2	290	230	310	255	271
Moyenne	320	275	365	282	310

3.3. Détermination de la matière organique

La matière organique (perte au feu) a été déterminée par calcination à 550°C de la matière sèche. Ainsi, la calcination est réalisée sur des échantillons reconstitués de la fraction G3. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau 37: Matière organique (%)

Secteurs	Urbain			Rural	Province de Khénifra
Zones	ZP	ZMHS	ZCV	ZR	Moyenne
MO	%	%	%	%	%
Campagne 1	77	73	68	78	74
Campagne 2	79	75	71	79	76
Moyenne	78	74	69,5	78,5	75

Les résultats des analyses sur les échantillons reconstitués pendant les différentes campagnes n'ont pas mis en évidence des différences significatives en fonction de la saison. Ils ont montré que la matière organique varie entre 68 à 79% et représentent en moyenne 75% du poids sec des déchets. Ce taux est comparable à la moyenne des ordures ménagères des autres déchets dans les pays en voie de développement tels que l'Ile Maurice avec 85% et la Tanzanie avec 80% (Mbuligwe et al., 2004) ou à certains types de déchets cités par Hossain en 2002 dont les teneurs représentent 78,6% de la masse sèche des déchets. En revanche, il reste relativement important à d'autres déchets des Etats-Unis donné par Tchobanoglous et al en 1993 qui est de 52% et varie de 40 à 60% selon le type des déchets. Nous pensons que ces résultats sont en accord avec la situation géographique, le climat, les saisons, le niveau de vie des ménages et le régime alimentaire. Nous avons constaté que ces facteurs favorisaient des taux plus élevés de putrescibles, d'où une teneur en humidité plus élevée.

3.4. Détermination du pouvoir calorifique inférieur (PCI)

La détermination du PCI pour les déchets solides ménagers de Khénifra a été faite empiriquement en fonction de la composition des déchets par catégorie suivant la formule (Eq.5) décrite dans la partie matériels et méthode. Le PCI est donc calculé en fonction de la teneur des catégories suivantes dans les déchets : papier, carton, textiles, combustibles non classés, fermentescibles, plastiques. Le tableau ci-dessous présente les résultats du PCI en fonction des secteurs étudiés.

Tableau 38: Pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Secteurs	Urbain			Rural	Province de Khénifra
Zones	ZP	ZMHS	ZCV	ZR	Moyenne
PCI (kcal/kg)					
Campagne 1	340,12	387,42	401,18	355,56	371,07
Campagne 2	357,7	464	463,20	350,20	408,8
Moyenne	348,91	425,71	432,19	352,88	389,94

Les résultats obtenus donnent un PCI de 389,94 kcal/kg en moyenne. Il reste largement inférieur à la moyenne dans les pays en développement PED qui est de l'ordre de 1500 à 2700 kcal/kg (Cointreau-Levine, 1997). Ce PCI faible est influencé par le taux important d'humidité (69,5 %). Il est encore un paramètre jouant en faveur de l'option de traitement des déchets par compostage ou Bio-méthanisation.

3.5. Détermination des paramètres chimiques

Les résultats obtenus des paramètres chimiques des déchets ménagers montrent des légères variations entre les différents secteurs étudiés (Tableau 39). Cependant, les valeurs de pH ne sont pas significativement différentes quel que soit le standing ; ces valeurs marquent toujours un aspect acide. Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux obtenus par Topano en 2011 dans les déchets du Benin. Le rapport C/N reste le même dans tous les secteurs étudiés et confirme que la qualité des déchets est dégradée pour tous les standings. La différence est essentiellement due à la teneur en azote Kjeldahl significativement différente selon le standing (Tableau 39). Le rapport C/N du milieu rural est légèrement faible par rapport au milieu urbain. Toute porte à supposer que la faible différence dans ces valeurs s'explique par une différence dans l'alimentation, le haut standing étant caractérisé par une alimentation carnée, riche en azote, plus importante.

D'une façon générale, les valeurs du pH et de rapport C/N montrent que les déchets de la province de Khénifra ont une mauvaise qualité. Donc, le tri à la source est une nécessité pour une bonne exploitation efficace de ce gisement.

Tableau 39: Analyse des paramètres chimiques des déchets bruts

Secteurs	Urbain			Rural	Province de Khénifra
Zones	ZP	ZMHS	ZCV	ZR	Moyenne
pH	5,1	5,3	5,7	5,2	5,32
COT (mg/g)	28	27,51	25,61	28,81	27,48
Azote (mg/g)	3,25	3,03	2,89	3,91	3,27
C / N	8,61	8,91	8,86	7,36	8,43

IV. VARIATION DU TONNAGE DES DECHETS SOLIDES DANS LA PROVINCE DE KHENIFRA

1. Variation du tonnage annuel et mensuel des déchets dans la province de Khénifra

En 2017, le tonnage annuel des déchets de la province de Khénifra connaît une augmentation entre janvier et août d'une valeur minimale de 2361,20 Tonnes/an à une valeur maximale de 3856,14 tonnes/an. Puis une diminution jusqu'à 3002,43 Tonnes/an en Septembre. Le tonnage maximal est enregistré pendant l'été et surtout en mois de Ramadan et pendant la fête de Aïd Aladha tandis que le minimal a eu lieu au début de l'hiver. Le tonnage en 2018 a connu une augmentation d'une valeur minimale de 2601,74 Tonnes/an en janvier à une valeur maximale de 4463,76 Tonnes/an en août. Cette augmentation remarquée entre 2017 et 2018 est expliquée par les apports de certaines autres communes telles que Agulmous pendant le mois d'Avril 2018 et les boues de la station d'épuration des eaux usées pendant les mois de mai et décembre 2018.

La variation du tonnage annuel des ordures ménagères en 2019 est représentée par une augmentation de 3490,07 Tonnes/an en février à une valeur maximale de 5205,16 Tonnes/an au mois d'août, puis une diminution jusqu'à une valeur minimale de 3586Tonnes/an en décembre.

La variation mensuelle du tonnage est comparable entre les années 2017, 2018 et 2019, l'enregistrement des extremums (maximum et minimum) de tonnage durant, respectivement, les mois d'août et janvier. D'autre part, nous avons remarqués une légère augmentation du tonnage mensuel pendant le mois de mai des deux années 2018 et 2019, cette augmentation est liée à l'activité du mois de Ramadan et aussi à la décharge des boues de la station d'épuration (Figure 54).

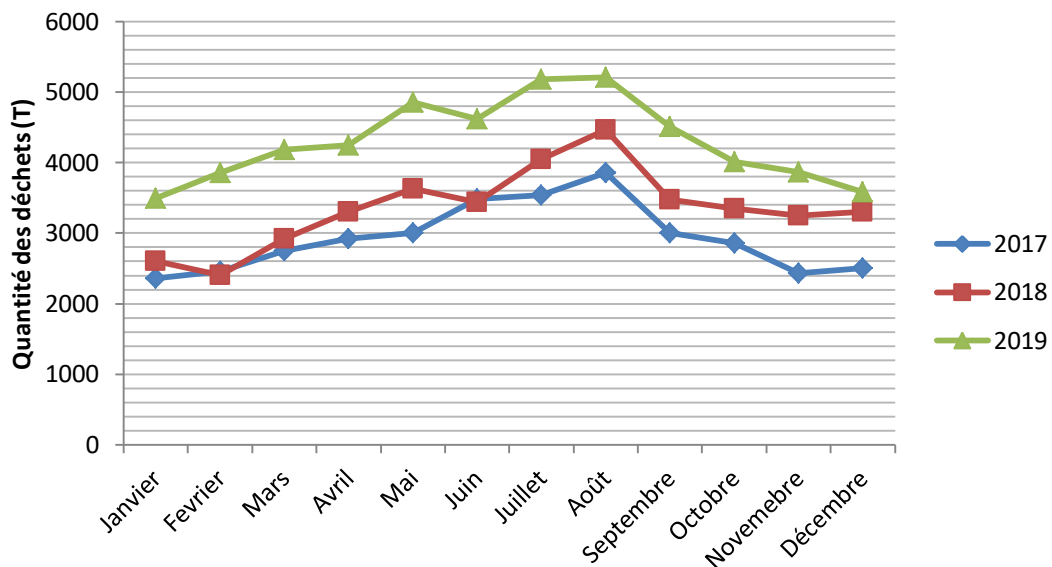


Figure 54: Variation du tonnage mensuel des déchets ménagers en 2017, 2018 et 2019

La comparaison des résultats obtenus lors des trois dernières années (2017, 2018 et 2019) a révélé que le tonnage en 2017 (35 166,34 tonnes/an) est inférieur à celui de 2018 (40 182,56 Tonnes/an), ce dernier est inférieur à celui de 2019 (50 879,07 tonnes/an). Cette augmentation entre les trois années successives est liée à l'implication de certaines communes dans l'acheminement de leurs déchets vers le centre d'enfouissement et de valorisation des déchets (M'Rirt à partir de janvier 2019).

La comparaison des résultats obtenus lors des trois dernières années (2017, 2018 et 2019) nous a montré que le tonnage annuel des déchets solides dans le milieu rural a connu une augmentation comparable à celle du milieu urbain. En effet, cette comparaison a montré également que le tonnage du milieu urbain est supérieur trois fois que celui du milieu rural durant les deux années 2017 et 2018, et supérieur quatre fois lors de l'année 2019 (Figure 55). Cependant, la commune de Khénifra évacue la grande majorité de ce tonnage ($\approx 80\%$).

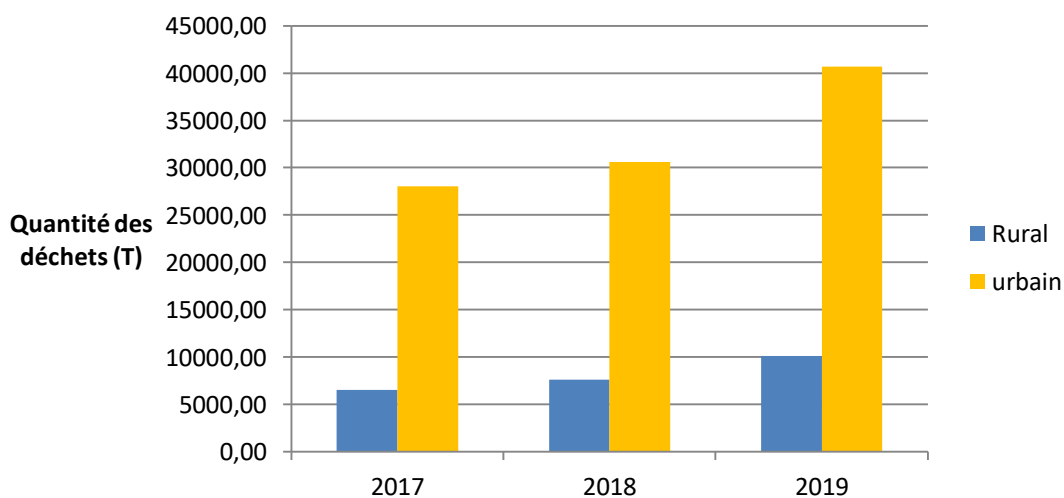


Figure 55: Variation du tonnage annuel des déchets dans le secteur urbain et rural de la province

2. Génération des composants des déchets solides et évaluation de leurs coûts

La caractérisation physique des déchets dans la province de Khénifra est motivée par la nécessité d'estimer les fractions pouvant être récupérées par fermentation et/ou de recyclage de certains composants de ces déchets. En 2019, la quantité de déchets collectée et traitée était d'environ 50 879,07 tonnes. La gestion d'une tonne coûte aux environs 34 euros/tonne (EL maguiri et al., 2014). La variation des composants par rapport à la quantité totale pour chaque année d'étude est indiquée dans la figure 54.

Les déchets organiques ont la particularité d'être complètement biodégradables. Donc, le compostage est la solution envisagée pour leur traitement. La matière organique représente environ 66-69% des déchets produits par la province. En effet, le tonnage annuel en 2018 est de l'ordre de 26 520,48 tonnes et en 2019 est d'environ 33 580,18 tonnes (Figure 56). Il ne fait pas l'objet d'un traitement spécifique et sa gestion coûte 1,12 Millions d'euros.

Les principaux composants récupérables, par recyclage, correspondent aux catégories suivantes: verre, plastique, papier, carton et métaux. Sur la base de notre étude, l'introduction d'une collecte sélective des déchets permettait de récupérer 6 429 tonnes en 2018 et 8 140 tonnes en 2019 de cette fraction (Figure 56). Le traitement annuel de ces déchets coûte environ 0,30 Millions d'euros soit 34 euro/t (El maguiri et al., 2014). Cependant, la valorisation de ce type de déchets est devenue, au Maroc, une activité économique génératrice de revenus importants, essentiellement informels. Les collecteurs de déchets informels revendent les produits recyclables qu'ils collectent des bacs à des intermédiaires qui les acheminent vers les industries de recyclage. La formalisation de ce secteur d'activité peut le rendre plus rentable en raison de la réduction du nombre d'intermédiaires travaillant dans ce domaine et de l'industrialisation du processus de recyclage et par conséquent l'économie verte sera motivée.

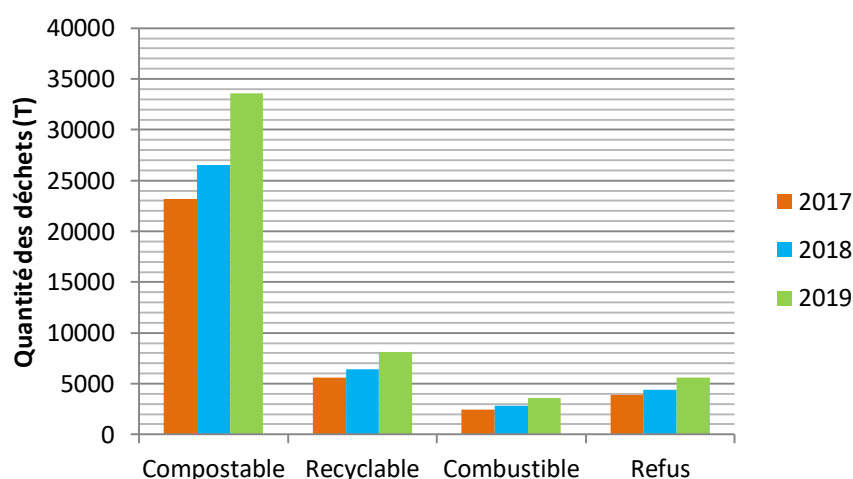


Figure 56: Variation des tonnages des fractions des déchets ménagers selon le mode de gestion durant les trois années (2017, 2018 et 2019)

V. EVOLUTION QUANTITATIVE DES DECHETS SOLIDES ET PROJECTION EN 2044

En tenant compte des résultats des différentes campagnes de caractérisation et les quantités de déchets générés lors des trois années, il était intéressant de projeter dans le futur l'évolution de la situation des déchets solides dans la zone d'étude. Les données de ces projections peuvent être un outil d'aide à la décision. Cependant, vue de la difficulté d'avoir une uniformité dans les projections relatives à la croissance de la population et de la génération des déchets dans la province, les quantités générées pendant la troisième année d'étude (2019) considérées comme données de référence, ont montré une augmentation moyenne de 36 % par rapport aux données de l'année 2017 et 25 % par rapport à l'année 2018.

La quantité des déchets, produite à différents horizons, est estimée à l'aide de la relation suivante:

$$Q_{Ax} = Q_i (1 + Tc)^{(Ax - Ai)} \quad (\text{Eq.6})$$

Avec, Q_{Ax} : Quantité de déchets en t/an pendant l'année x, A_i (année de projection), Q_i : Quantité de déchets en t/an correspondant à l'année de référence A_i Tc : Taux de croissance de déchets annuel moyen retenu (Ratio), A_x : Année de projection.

Les résultats de différentes projections sont donnés dans le tableau suivant:

Tableau 40: Projection de la population et la quantité des déchets produite dans la province de Khénifra

Année	2019	2024	2036	2040	2044
Population	235 184	247 767	266 825	275 952	283 912
Quantité des déchets estimée (T/an)	50 879	57 944	62 554	64 171	65 828
Quantité des fermentescibles (T/an)	33 580,18	38 243,04	41 285,64	42 352,86	43 446,48
Quantité des recyclables (T/an)	8 140,6512	9 271,04	10 008,64	10 267,36	10 532,48
Quantité des combustibles (T/an)	3 561,53	4 056,08	4 378,78	4491,97	4 607,96
Refus (T/an)	5 596,69	6 373,84	6 880,94	7 058,81	7 241,08

Les résultats de la projection ont montré que la quantité des déchets est étroitement liée à la population. Par conséquent, la quantité des déchets ménagers produit au niveau de la province de Khénifra connaîtra une augmentation d'environ 4% par année. Ce qui va augmenter prochainement les revenus de la province en termes de traitement par compostage et par recyclage. En effet, le tonnage annuel des déchets valorisable par compostage va atteindre 43 446T/an en 2044 au lieu de 33 580T/an pendant 2019. De même, pour la fraction recyclable, qui passera d'un tonnage de 8 140, 65 T/an en 2019 à 10 532, 48 T/an soit une augmentation de 22%.

VI. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

L'enquête auprès des citoyens de la province de Khénifra, révèle que la filière de la gestion des ordures ménagères se résume à la pré-collecte. La totalité des ménages enquêtés ont des problèmes pour se débarrasser de leurs déchets. C'est ainsi, qu'on a détecté l'existence de plusieurs défiances et

contraintes, au niveau des opérations quotidiennes de la collecte et de la mise en décharge. Cette enquête a montré que le niveau d'éducation environnementale de la population concernée, particulièrement dans le milieu rural, est faible. Ce qui nécessite d'effectuer des campagnes et des ateliers de sensibilisation.

En outre, les résultats récoltés de l'étude de caractérisation, nous ont permis d'extraire des informations importantes sur l'aspect physique et chimique des déchets ménagers. Il apparaît que la quantité et la composition des déchets ménagers générés varient selon la saison, le niveau et le mode de vie des citoyens. La proportion des fermentescibles suggère le compostage comme la technique la plus prometteuse par rapport à d'autres méthodes d'élimination des déchets (comme l'incinération). Néanmoins, une caractérisation des déchets chimiques est cruciale pour une meilleure décision. L'étude chimique a montré que la qualité des déchets notamment la fraction recyclable est de mauvaise qualité. Toutefois, cette fraction est intéressante et pourrait constituer le deuxième segment de la gestion des déchets ménagers. Cependant, les déchets de la région de Khénifra, vu leur contenu élevé en matière organique, le taux d'humidité est assez important ce qui influence le pouvoir calorifique. Donc, les déchets de Khénifra peuvent être valorisés via trois voies possibles :

- le recyclage du papier et du métal;
- la valorisation énergétique sous forme de Combustibles Solides de Récupération (CSR) ;
- le compostage : technique simple et évolutive avec une bonne maîtrise des coûts d'investissement et d'exploitation, permettant le traitement de l'ensemble des déchets biodégradables.

A noté qu'une combinaison des trois modes sera idéale pour une exploitation efficace du gisement des déchets de la région de Khénifra. Mais vu, les conditions climatiques (Ensoleillement assez fort, Températures moyennes annuelles $> 17,5$ °C) et les besoins énormes des sols de notre pays (en particulier la région d'étude) en matière organique, le traitement biologique reste le plus avantageux. En tenant compte de l'aspect socio-économique de la problématique des déchets (Elhamdouni et al 2018), nous avons pu orienter la valorisation des déchets vers la stratégie 3R (Recyclage, Réutilisation et Réduction). En conclusion, le système de tri à la source (ou gestion sélective) est devenu très demandé et justifié.

CHAPITRE 2 : ÉVALUATION DE LA QUALITE DES COMPOSTS EXTRAITS DES DECHETS SOLIDES

I. INTRODUCTION

Les déchets ménagers produits par la population de la province de Khénifra sont riches en matières fermentescibles avec un pourcentage de l'ordre de 67 - 69 % de poids sec et un taux d'humidité élevé de l'ordre de 67,5 - 71,5% de matière fraîche. La valorisation par compostage combinée avec le recyclage, alors, est une solution envisageable pour réduire les quantités des déchets ménagers. Il est devenu une réalité dans les pays en développement. Dans ce chapitre, nous allons discuter les résultats obtenus des essais réalisés sur des composts extraits des déchets tout en évaluant leur qualité sur la base d'un certain nombre de paramètres.

II. ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Plusieurs critères d'évaluation de la qualité du compost de déchets ménagers et varient d'un pays à l'autre et sont également en fonction de type des déchets utilisé et de l'emploi du compost obtenu. Dans ce travail, la maturité du compost est un important critère pour l'évaluation de la qualité du compost car elle est indispensable pour une utilisation optimale des composts comme fertilisants du sol. Les résultats des paramètres physico-chimiques des composts sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 41: paramètres physico-chimiques des composts des déchets de la province de Khénifra

	Ordures ménagères seules (C1)	Ordures ménagères mélangées avec des déchets verts (C2)	Moyenne	NORME FAO*	NORME AFNOR
Matière organique (%)	20,6	19,7	20,65	10-30	≥ 20%
Matière fine ≤ 2 mm (%)	60,7	61,2	60,95	-	-
Humidité	31,5	29,8	30,3	-	≤ 70%
pH	8,1	7,9	8	-	7-9
Carbone organique total (COT) (%)	11,97	11,45	11,71	-	-
Azote Total Kjeldhal (NTK) (%)	0,79	0,74	0,77	0,4-0,5	> 0,25
Rapport C/N	14,96	15,47	15,21	15- 20	8-20

Les résultats récoltés ont montré que le taux de la matière organique, diminue en passant de 75% dans les déchets bruts à 20,65% dans la matière sèche du compost obtenu. Des semblables diminutions, pendant le compostage, ont souvent été rapportées et assimilées à la minéralisation des matières organiques par les micro-organismes (Bernal et al., 1998). Les teneurs en matière organique, azote

total, carbone organique sont moyennes par rapport aux normes internationales (Tableau 41). Elles sont proches de ce qui est couramment signalé en Afrique (Ngnikam et al., 2000), mais très basses par rapport à la moyenne de 40% pour la matière organique obtenue en pays industriels tels que : France, Vienne (Temgoua, 2014).

Les résultats des paramètres étudiés dans les composts qu'on a produit, ont des teneurs, en matière organique, en carbone organique, en azote et un rapport C/N, qui sont dans les limites acceptables selon la norme FAO et la norme de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) (NFU 44-051). Un rapport C/N proche de 15 en phase solide est considéré comme un indicateur de maturité pour le compost (Iglesias-Jimenez et al., 1993). La valeur du rapport C/N est comparable à celle trouvée dans les composts, elle est proche des sols humiques (Compaoré et al., 2010 et Charnay, 2005). Le pH du compost produit est légèrement basique (pH 7,9-8,1) comme la plupart des composts (Ngnikam et al., 2000), il donne donc des conditions favorables à l'amélioration des propriétés biologiques et à la disponibilité des nutriments dans le sol.

La fraction fine (≤ 2 mm) est quasi-semblable avec celle obtenue par plusieurs auteurs dont Soudi (2001) et Charnay (2005). La teneur élevée de la proportion fine du compost est probablement expliquée par le processus de décomposition et de dégradation au cours du compostage. En effet, le pourcentage élevé des éléments fins indique une bonne qualité des composts. Car, les normes d'AFNOR montrent que les composts dont les particules fines sont supérieures à 60% ayant moins de 5% d'éléments indésirables (Compaore et al., 2010). Ces résultats vont appuyer ceux obtenus du rapport C/N selon lesquels les composts étaient bien décomposés.

Tableau 42: Taux des métaux lourds présents dans les composts produits

Métal	Déchets ménagers seules (C1)	Déchets ménagers mélangés par les déchets verts (C2)	Moyenne	Normes (NF U44 – 051)
Zn (mg/kg-1)	153,01	170,51	161,76	600
Ni (mg/kg-1)	Ild	Ild	Ild	60
Pb (mg/kg-1)	15,66	37,31	26,48	180
Cu (mg/kg-1)	119,49	33,1	76,29	300
Cr (mg/kg-1)	Ild	Ild	Ild	120

Ild : Inferieur à la limite de détection

Les concentrations en métaux lourds (Tableau 42) sont proches à celles de Compaore (2010) et inférieures à celles de Boechat (2012), les deux ont analysé les métaux lourds dans le compost des déchets urbains et industriels du Burkina Faso et du Brésil. En effet, Les valeurs trouvées ont été conformes aux normes. Les différences observées d'un auteur à l'autre seraient expliquées par la nature des déchets et la technique de compostage et aux méthodes utilisées. Les teneurs en métaux des composts produits sont inférieures à celles déterminées dans les déchets utilisés pour le compostage (Yé, 2007). Cette diminution serait liée probablement au tri préliminaire avant le processus de

compostage. Ce qui indique que le compostage a, donc, provoqué une réduction des teneurs en métaux lourds du compost.

III. ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

L'analyse microbiologique (Tableau 43) a montré l'existence des bactéries de type Escherichia Coli et des champignons du genre Aspergillus.

Tableau 43: Micro-organismes présents dans les composts produits

	Déchets ménagers seules (C1)	Déchets ménagers mélangés avec des déchets verts (C2)
Champignons (10^5 UFC/g)	549	1071
Coliforme fécaux & streptocoques (10^5 UFC/g)	1043	1010
Escherichia Coli (10^5 UFC/g)	1100	1020

Ces résultats ont montré également que les champignons sont nombreux dans C2 par rapport à C1, ceci est due probablement à la présence des débris des végétaux. Par contre, le nombre des bactéries reste presque le même dans les deux composts.

L'analyse microbiologique de nos échantillons est en accord avec celle de Hachicha et al., (1992) et Compaore (2010) qui ont montré la présence de plusieurs germes pathogènes dans le compost de déchets. En revanche, autres auteurs tels que Guéné (1995) et Charnay (2005) ont montré que le compostage permet une élimination totale des microorganismes pathogènes. Reste à noter que la présence de ces microorganismes dans les composts peut engendrer une pollution des cultures et présenter des risques sanitaires pour la santé humaine.

IV. TEST DE GERMINATION OU TEST DE PHYTOTOXICITE

L'évaluation de la maturité des composts par des tests microbiologiques et physico-chimiques est insuffisante. Ceci nous a poussés d'effectuer des tests de germination sur des extraits du compost solide et soluble. Dans cette étude, nous avons effectué deux tests de germination :

1. Premier test de phytotoxicité

Dans ce test, nous avons mesuré certains nombres de paramètres à savoir le taux de germination, la longueur des racines et des tiges. Les résultats de ces analyses sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau 44: Taux de germination du premier test des deux plantes

Taux de germination (%)				
	Extrait du compost (100%)	Extrait du compost (50%)	Extrait du compost (25%)	Témoins (Eau distillée)
Maïs	30	40	75	80
Tournesol	35	40	75	80

Tableau 45: Longueur des racines des deux plantes cultivées

	Longueur de la racine (cm)			
	Extrait du compost (100%)	Extrait du compost (50%)	Extrait du compost (25%)	Témoins (Eau distillée)
Maïs	5,71	4,58	4,05	7,78
Tournesol	5,84	4,20	4,00	7,52

Tableau 46 : Longueur des tiges des deux plantes cultivées

	Longueur de la tige (cm)			
	Extrait du compost (100%)	Extrait du compost (50%)	Extrait du compost (25%)	Témoins (Eau distillée)
Maïs	2,14	2,31	3,10	1,36
Tournesol	2,07	2,28	3,05	1,20

Les résultats de ce test ont montré que l'utilisation d'une dilution de 100% de l'extrait du compost a donné un taux de germination faible pour les deux cultures (30% pour le maïs et 35% pour le tournesol). Par contre l'utilisation d'une solution à 50% du compost permet d'obtenir 40 % des graines germées pour les deux cultures. En revanche, la culture en utilisant un extrait de 25 % nous a donné un taux de germination assez élevé (75%). Ces résultats indiquent que lorsque la concentration du compost diminue le taux de germination augmente.

En outre, les résultats obtenus ont révélé que la longueur des tiges et des racines varie en fonction de la concentration du compost (Tableaux 45 et 46). En effet, lorsque la concentration du compost diminue la longueur des tiges augmente par contre la longueur des racines diminue pour les deux types de culture.

En témoin, les concentrations de 0% de compost donnent un taux de germination des graines élevé (80%), des racines très longues et fines, par contre les tiges sont très réduites.

2. Deuxième test de phyto-toxicité

Afin de valider les résultats trouvés au laboratoire, nous avons réalisé un autre test mais cette fois-ci, nous avons utilisé le compost solide mélangé avec le sol dans des pots. Les résultats de ce travail sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 47: Taux germination des plantes dans les composts des déchets de la province de Khénifra

	Taux de germination (%)		
	Sol (100 %)	Compost (25%) + Sol (75%)	Compost (100 %)
Maïs	45	100	43
Tournesol	50	100	45

Ces résultats montrent que l'incorporation d'une prise de 25% du compost au sol a permis d'obtenir un taux de germination de 100% pour les deux cultures. La culture sur le sol à 0% de compost a donné un taux de germination de 45% pour le maïs et 50% pour le tournesol. En revanche, la culture sur 100% de compost a donné des taux de germination faibles (43% pour le maïs et 45% pour le tournesol) par rapport au compost mélangé avec le sol. Nous remarquons aussi que les taux de germination trouvés confirment les résultats obtenus dans le premier test.

Les taux de germination significativement plus élevés ont donc été obtenus avec l'apport de 25% de compost pour le maïs et le tournesol. Par conséquent, les composts extraits de déchets de la province de Khénifra ne présentent pas de toxicité. Donc, on peut dire qu'ils étaient mûrs et bien décomposés. Par ailleurs, ces résultats montrent également que l'effet dépressif du compost n'est pas seulement lié à l'immaturation du compost mais aussi aux doses de compost incorporées.

V. CONCLUSION

Les composts des déchets ménagers de la province de Khénifra ne seront produits dans les normes qu'après une décomposition dépassant six mois selon les critères de maturité les plus utilisés. Ils et sont presque complètement minéralisés et ne présentent pas de toxicité. Les composts contiennent des fertilisants qui peuvent jouer un rôle d'un amendement des sols. Les teneurs en éléments traces des composts sont inférieures aux normes internationales. La présence des microorganismes pathogènes dans les composts générés a été détectée et peut provoquer des impacts négatifs sur la santé humaine.

Les techniques, que nous avons testées, peuvent être appliquées avec un succès équivalent à tous les types de déchets en particulier de la province de Khénifra et en général ceux du Maroc.

Enfin, les composts, produits selon les normes, des ordures ménagères peuvent être utilisés, avec une simple restriction, comme fertilisants organiques des sols. Le compostage peut, donc, être une bonne voie pour le traitement des déchets de la région d'étude.

CHAPITRE 3 : COMBINAISON DE LA GEOMATIQUE ET DE LA METHODE « AHP » POUR LA SELECTION D'UN SITE D'UNE DECHARGE CONTROLEE

I. SYNTHÈSE DE JUSTIFICATION DU CHOIX DE SITE DE LA DECHARGE

1. Apport de la télédétection dans l'étude de l'extension urbaine de la ville de Khénifra et leur impact sur le site du CEV.

L'approche de la télédétection constitue une innovation récente qui pénètre dans la plupart des domaines de recherches et essaye de faire une reconnaissance à distance de tous les phénomènes qui exigent une mesure quotidienne et continue en employant de très importantes ressources en matérielles et humaines lors de différentes missions de terrain. En se focalisant sur le volet quantitatif, une étude approfondie a été effectuée pour tester l'apport et l'utilité des techniques de l'imagerie satellitaire pour le suivi et la détection de l'expansion urbaine et son impact sur le site du CEV.

L'objectif de cette étude est de savoir la direction de l'urbanisation pendant la période 1991-2017 dans la ville de Khénifra afin d'aider les décideurs à la prise d'une décision vis-à-vis du site du CEV. Elle consiste à utiliser les données spatiales du capteur Landsat pour le suivi du bâti dans cette zone en utilisant la classification "Support Vector Machin" (SVM).

Le suivi de l'évolution du taux de l'extension urbaine dans les trois périodes (1991, 2000 et 2017) a montré que ce dernier varie généralement entre 12,22 % et 36,6% ce qui correspond à une surface comprise entre 402 ha en 1991 et 1006 ha en 2017 (Figure 57). Cette augmentation est liée automatiquement à la croissance démographique dans cette ville. En effet, la population comptait en 2014, 117 510 habitants, en 2004 était de l'ordre de 72 672 habitants. En revanche, cette population n'avait pas dépassée 60 835 habitants en 1994.

L'évolution du tissu urbain de la ville de Khénifra entre 1991 et 2017 a été mise en évidence grâce aux trois scènes de Landsat utilisées durant cette étude. Chaque intervalle entre les dates d'acquisition est caractérisé par des phénomènes plus ou moins marqués.

- Entre 1991 et 2000, on constate une légère progression de la zone urbaine dans la direction Nord et la direction Sud vers le site de CEV. La continuité du bâti gagne en moyenne 6,22 hectares par année soit une croissance annuelle de 1,35 %.
- Entre 2000 et 2017, la densité populaire de la ville Khénifra a connu une nette augmentation ce qui influence le taux d'urbanisation. En effet, l'analyse des résultats a montré que la surface urbaine s'étend timidement à l'Ouest, au-delà de la montagne de Bamoussa. De ce fait, l'expansion urbaine s'est également manifestée selon un axe Nord-Sud d'une façon élevée. La

continuité du bâti gagne en moyenne 32,23 hectares par année soit une croissance annuelle de 3,21 %. (Figure 57 et Tableau 48).

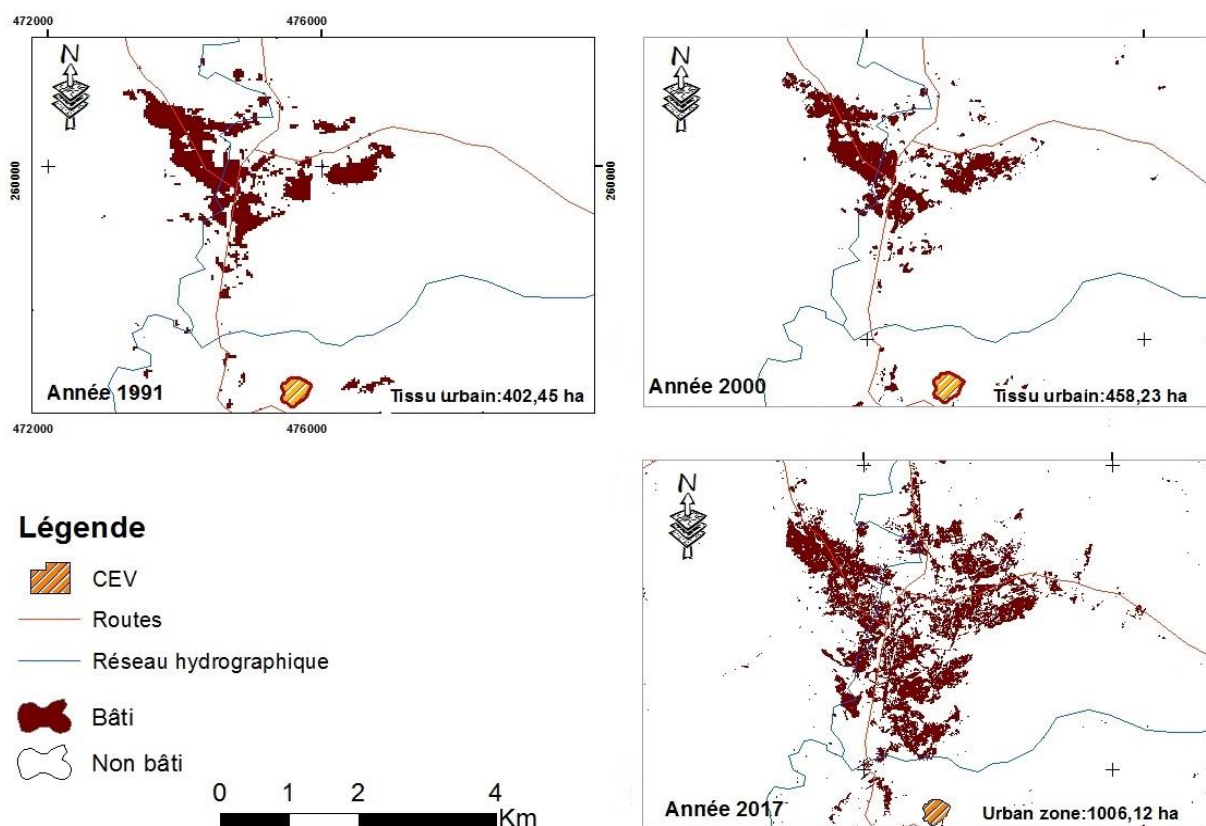


Figure 57: Evolution de l'extension urbaine de la ville de Khénifra entre 1991 et 2017.

Tableau 48: Croissance de la zone urbaine de la ville de Khénifra entre 1991 et 2017 en chiffre

	1991	2000	2017
Superficie de la zone urbaine en (ha)	402,46	458,23	1006,12
Croissance moyenne annuelle (ha)		6,22	32,23
Croissance moyenne annuelle (%)		1,35	3,20

D'après les résultats de cette étude, la progression de la zone urbaine s'étale vers le site de la décharge (CEV) selon un axe Nord-Sud. En effet, ce site est inadéquat pour l'implantation de la décharge contrôlée prévue par la province. Car, il se trouve à la proximité des zones résidentielles, ce qui pourrait provoquer des impacts négatifs sur la santé de la population. Les résultats de la télédétection ont été appuyés par les tournées réalisées au niveau du territoire et les données de l'agence urbaine (Figure 58). Donc, il s'est avéré nécessaire de choisir un autre site convenable loin de cette migration de l'urbanisation. Une telle sélection dépend de plusieurs critères appelés critères d'exclusion ou rayons de sécurité.

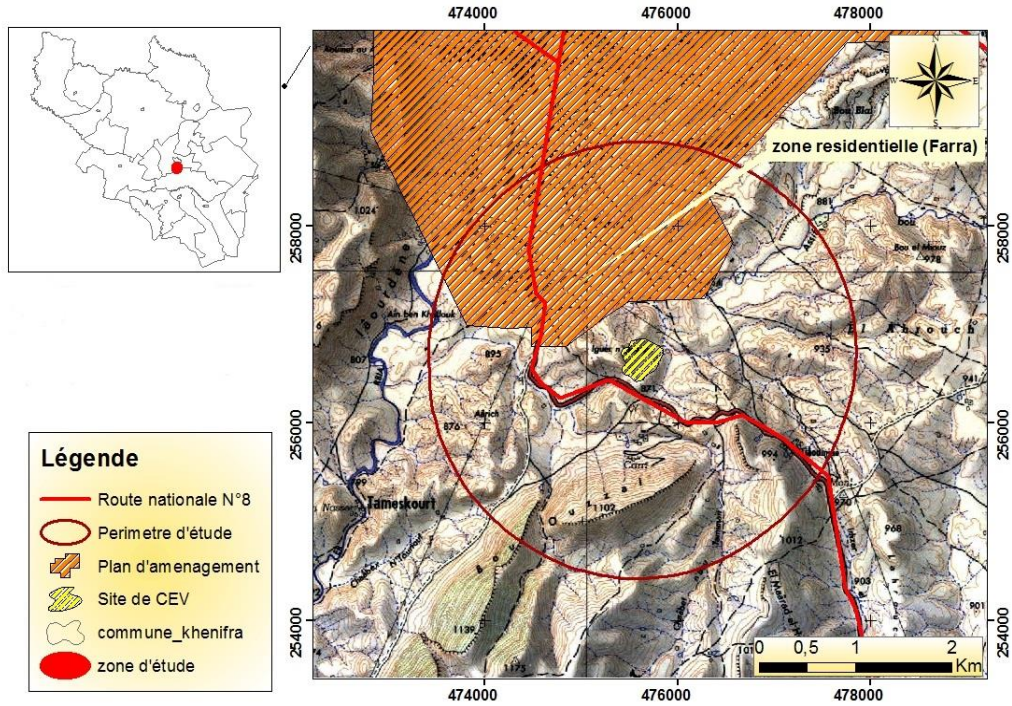


Figure 58: Situation du site du CEV et son périmètre d'étude

2. Contraintes liées aux ressources en eau souterraine

Les eaux souterraines pourraient être affectées par les rejets du site, car la nappe la plus proche est située directement en dessous (7 m de profondeur) du bassin du lixiviat. C'est une nappe alluviale d'après la carte piézométrique qu'on a réalisé en 2016 (Figure 59).

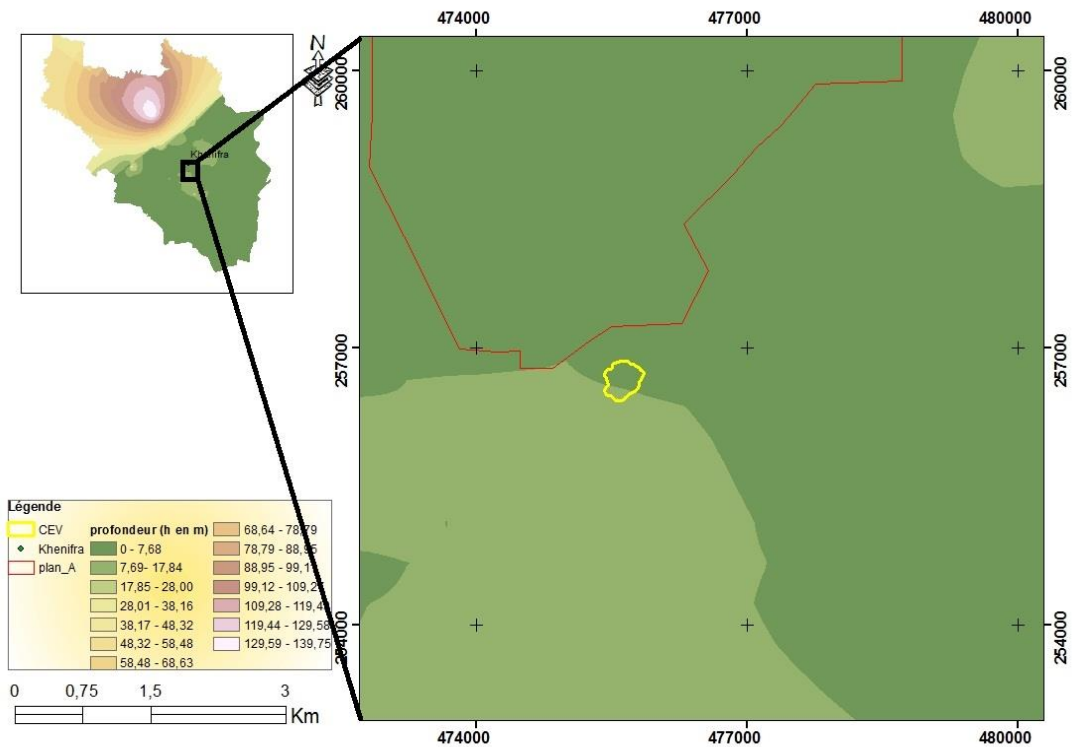


Figure 59: Extrait de la Carte piézométrique du site CEV

3. Autres contraintes

D'autres contraintes rendent ce site hors normes internationales pour l'implantation de la décharge :

- Présence d'une dépression avec capacité limitée de stockages des déchets ;
- Existence de plusieurs points de ruissellements d'eaux sur le site ;
- Le pendage des couches, la nature des formations géologiques de forte infiltration
- Le site est situé dans la zone d'exclusion pour l'élimination des déchets.
- L'existence d'un affluent de Bouzkour à proximité du site.
- Superficie du site proposé relativement limitée.

Malgré les mesures qui ont été prises en considération lors de la réalisation de ce projet dans le site proposé, les études, géomatiques, sociales et environnementales, réalisées au sein de la zone d'étude ont montré que le risque d'avoir des menaces est toujours présent en cas des fuites ou des accidents. Les mesures techniques et les études préalables à l'ouverture d'une décharge provinciale s'avèrent très nécessaire afin de l'installer dans l'endroit le plus convenable avec une superficie suffisante pour une meilleure protection et préservation de l'environnement physique, naturel et humain de la zone d'étude.

II. CARTOGRAPHIE DES CONTRAINTES

Les critères d'exclusion ont été subdivisés en deux grandes familles: géo-environnementales et socio-économiques. Nous avons appliqué un rayon de sécurité et ensuite nous avons classé les critères suivant la logique booléenne 0 ou 1: 0 pour la zone défavorable et 1 pour la zone favorable. La loi sur la gestion et l'élimination des déchets n'impose aucun critère pour le choix optimal de l'emplacement. Tous ces paramètres ont été identifiés en fonction de la revue de la littérature sur la sélection du site d'enfouissement (Mansour et al., 2014 ; Şener et al., 2010). Dans cette étape, les données sont en format vectoriel telles que tampon, superposition, fusion et effacement, et sont utilisées pour créer les zones d'exclusion.

1. Zone de prospection

Pour l'identification de la zone de prospection ou l'aire qui devra recevoir le site futur d'implantation de la décharge contrôlée de la province de Khénifra, la détermination du barycentre est obligatoire, car le site doit être proche, le maximum possible, du centre de gravité des déchets, pour cela on a créé une zone tampon de 20 Km autour du centre de gravité (Oufama, 2010), afin de minimiser les coûts de transport, de faire partie des communes de l'air d'étude et de recueillir les déchets de toutes les communes. Les coordonnées du barycentre (Figure 60) sont obtenues à partir de l'équation suivante (Kemal et al., 2012 et Elhamdouni et al., 2017) :

$$\mathbf{Xb} = \frac{\sum X_i x P_i}{P_t} \quad \mathbf{Yb} = \frac{\sum Y_i x P_i}{P_t} \quad (Eq.7)$$

Y_b et X_b : coordonnées des barycentres

X_i et Y_i : sont les centroïde de la commune i

P_i : Nombre de population de la commune i

P_t : Nombre total de toutes les communes de la province.

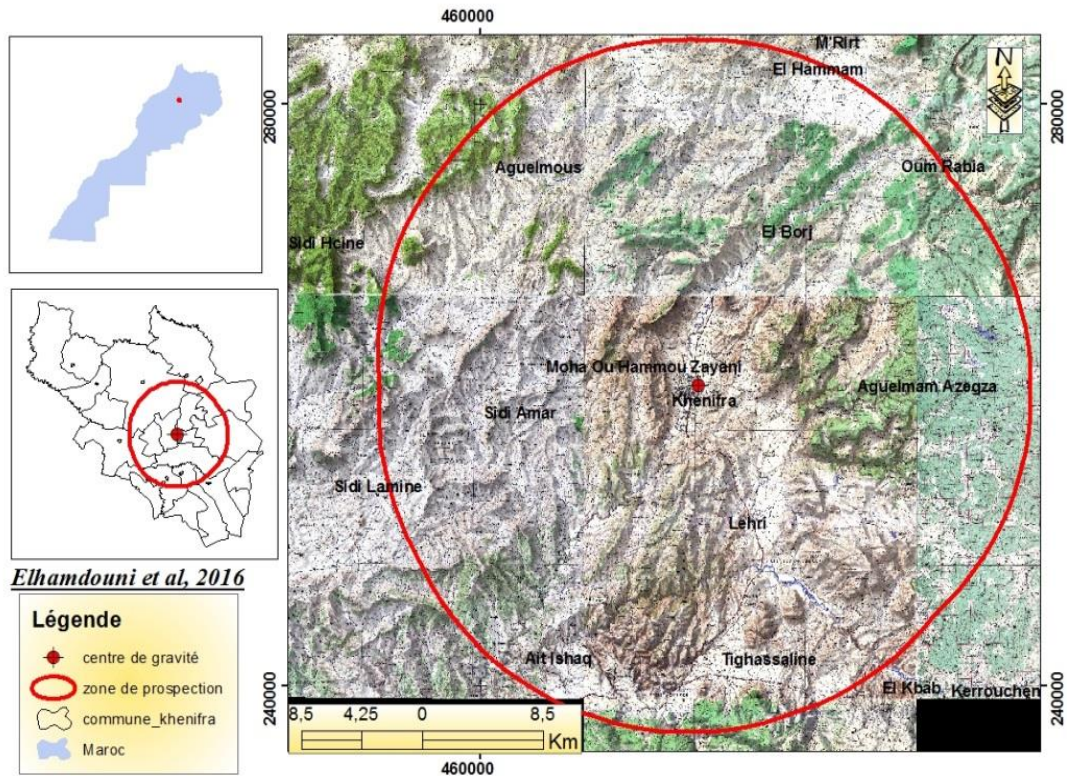


Figure 60: Zone de prospection

2. Contraintes socio-économiques

Pour protéger les zones résidentielles et sacrées (mosquée, écoles, cimetière et Marabouts) et les routes contre les nuisances excessives résultant de l'exploitation de la décharge (odeur, bruit des machines dans les déversements et dérivés des camions transportant des déchets, dispersion des déchets par le vent) il faut respecter un rayon de sécurité (Mansour et al., 2014 ; Şener et al., 2010 ; GIZ, 2014). Cependant, une autre considération a été accordée aux lignes électriques (haute tension), aux mines et aux carrières dans la zone d'étude (Figure 61).

- Habitations: villes (2000 m) et village (1000m)
- Douars et agglomérations (RS=500m)
- Réseau routier (RS=300m)
- Zones sacrée et culte générale: Écoles, Mosquées, Marabout et Cimetière (RS=500m).
- Lignes électrique à haute tension (RS=200m)
- Mines et carrières (RS=500m).

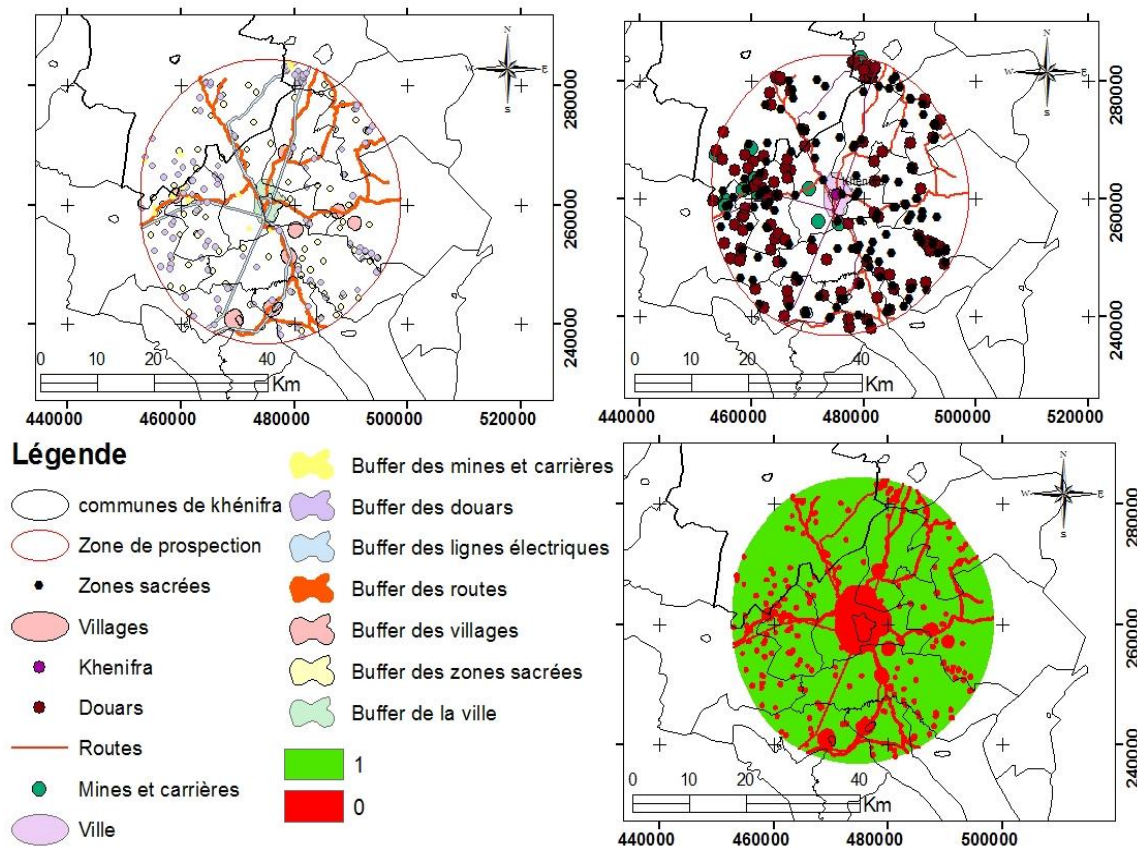


Figure 61: Cartographie des zones favorables pour la contrainte socio-économique.

3. Contraintes relatives à l'Occupation du sol

L'aspect de l'utilisation des sols constitue une composante indispensable pour la présélection de la décharge contrôlée, afin d'atténuer et gérer de manière constante et contrôlée les risques de pollutions engendrées par les déchets qui y seront déposés dans l'avenir et pour ne pas contaminer le sol qui est une source lentement renouvelable. A cet effet, il faut s'éloigner des surfaces à vocations agricoles d'un rayon de sécurité de 300 m (Mansour, 2015 ; GIZ, 2014). Et sachant que la zone d'études est une réserve forestière et naturelle très importante au niveau national (Moyen atlas), des zones tampons doivent être créées comme suit (Figure 62) :

- surfaces à vocations agricoles (RS=1000m)
- Milieu forestier (RS=300m)
- Parc naturel (RS= 1000m).

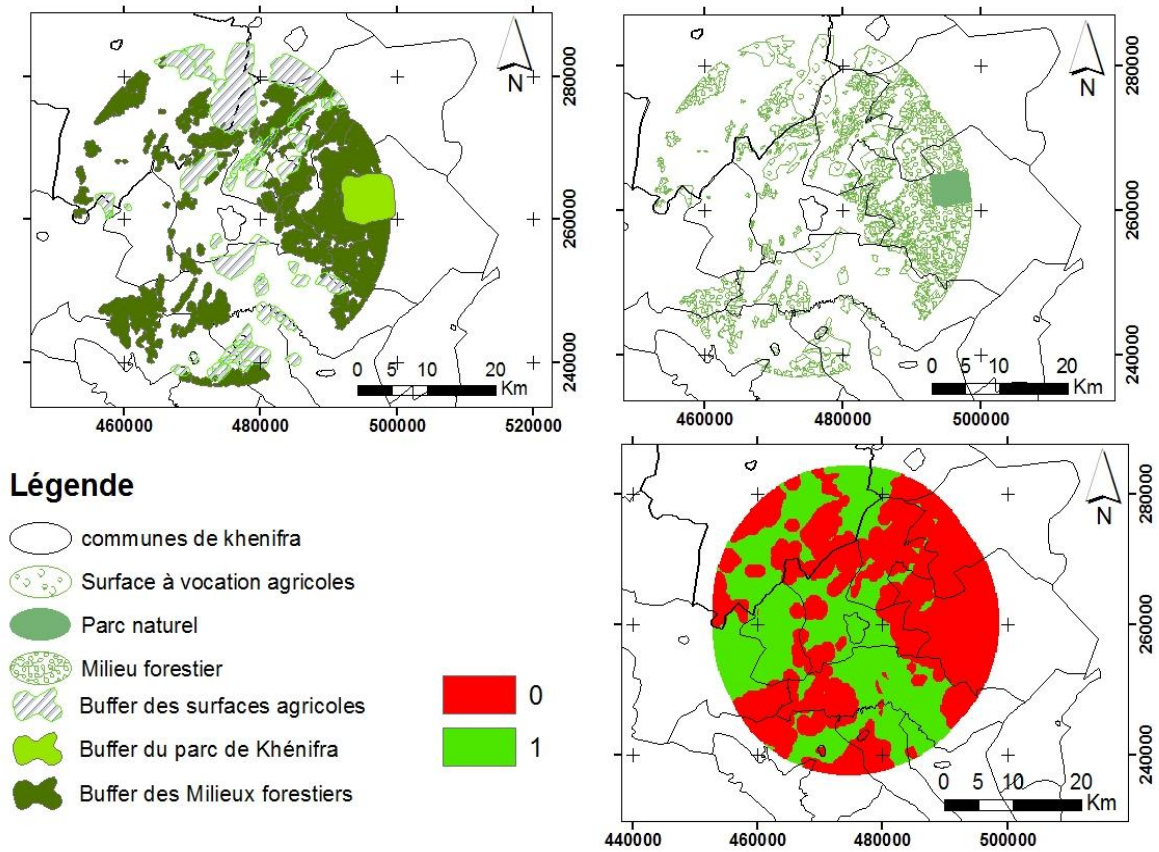


Figure 62: Cartographie des zones favorables pour les critères d'occupation du sol.

4. Contraintes Géo-Environnementales

4.1. Contraintes géologiques

Le site de décharge doit être conçu de telle façon que son emplacement ne soit pas exposé aux risques de glissement des terrains, d'érosion ou à des risques de crues, par conséquent les zones à pente supérieure à 5% sont à exclure (elhamdouni et al 2017) (Figure 63).

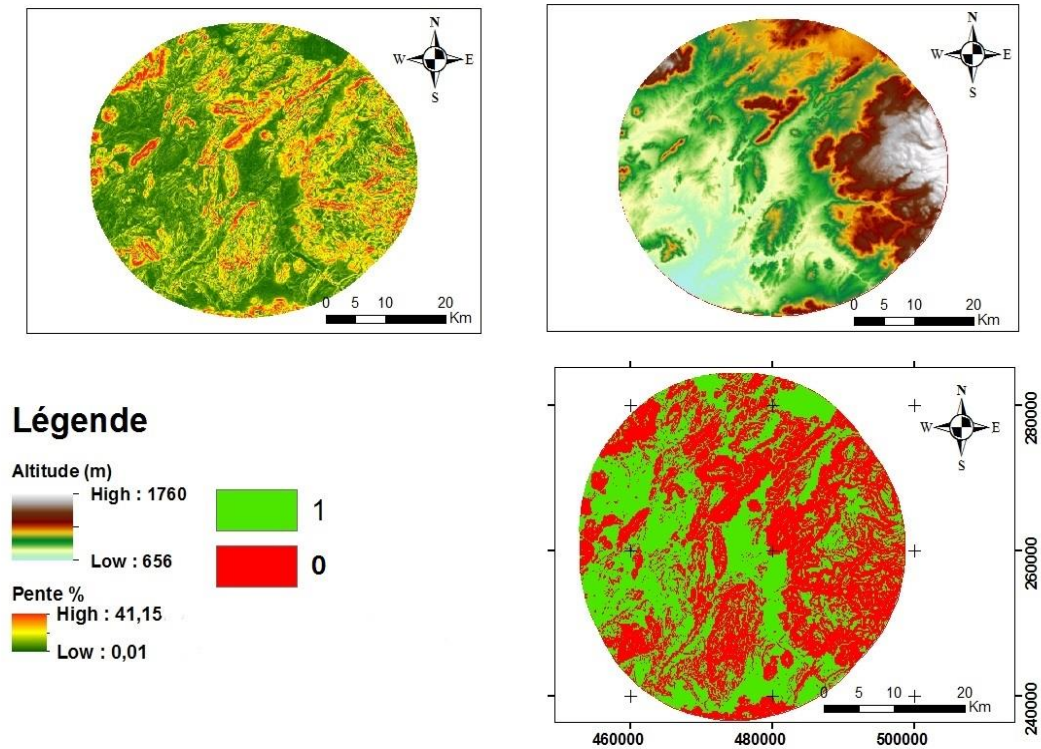


Figure 63: Carte d'exclusion des pentes

Le site doit être aussi installé sur un terrain qui n'est pas fracturé pour éviter l'infiltration du lixiviat vers la nappe, on a ainsi créé une zone tampon de dépassant pas 500 m (Mansour, 2015) autour des failles existantes en se basant sur la carte géologique de la région (Figure 64).

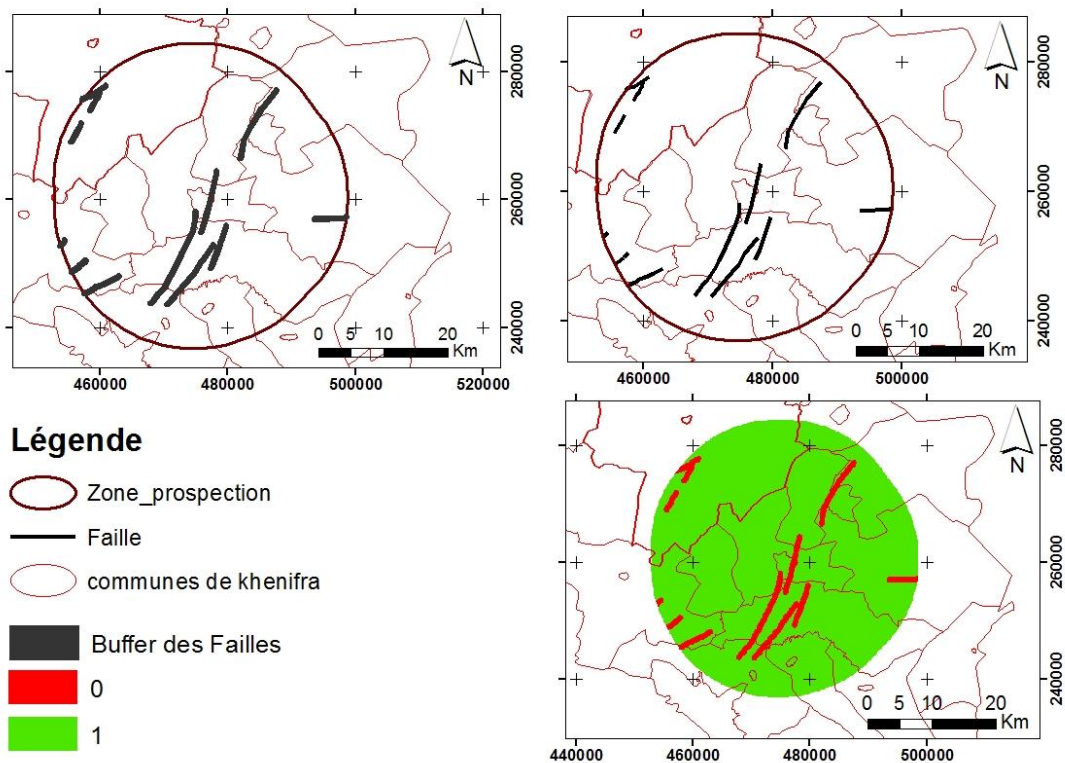


Figure 64: Carte d'exclusion des failles

4.2. Contrainte relative au thème Eau

Pour protéger les surfaces aquatiques dans la région telles que les rivières, les sources et la constitution du réseau hydrographique contre le lixiviat généré par les déchets, nous devrions prendre en compte les zones tampons autour des surfaces aquatiques (figure) en fonction de la protection des agences de l'environnement (Mansour et al., 2014 ; Elhamdouni et al., 2017). L'objectif principal est d'aider les décideurs à choisir et à mettre en œuvre dès que possible les mesures nécessaires pour remédier aux anomalies détectées. La conception du programme de surveillance dépendra, entre autres, de la nature du pipeline, du niveau et du débit de l'eau et de la perméabilité du sol. Ces installations doivent être éloignées comme suit (Figure 65):

- Réseau hydrographique (RS =500m) ;
- Sources d'eaux et puits privés (RS=500m)
- Equipement de l'ONEP (RS=2Km)
- Lacs et Dayas (RS=500m).

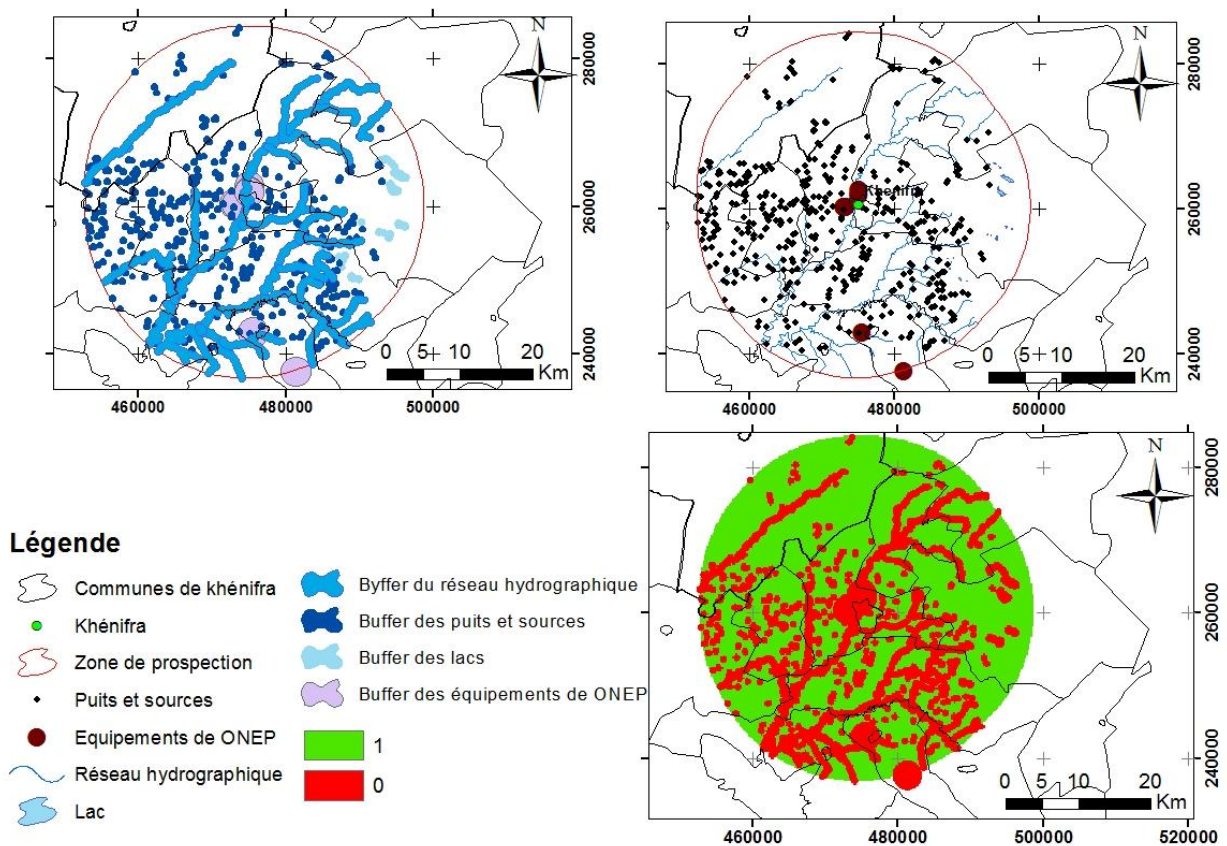


Figure 65: Cartographie des zones favorables pour le thème Eau.

5. Agrégation des critères d'exclusion

La superposition et l'intersection des cartes thématiques relatives aux différents critères utilisés donnent ce qu'on appelle les surfaces libres. Il s'agit d'une nouvelle carte qui donne les surfaces

jugées provisoirement aptes à abriter une décharge des déchets après exclusion des paramètres à conflit.

Après l'application des critères d'exclusions, 12 % de la zone de prospection est favorable pour l'implantation du site de la décharge publique (Figure 66, Tableau 49) les valeurs 1 représentent les espaces aptes pour l'implantation de la déchargé tandis que les valeurs 0 sont inaptés. La formule mathématique pour le choix du site, à l'aide d'exclusion est :

$$SI = \sum kj = 1 = Bj \quad (Eq.8)$$

Avec, *SI*: valeur de l'indice de critère de la superposition (0 ou 1), *Bj* : valeur de l'indice d'aptitude pour chaque critère (0 ou 1) et *k* : nombre de critères.

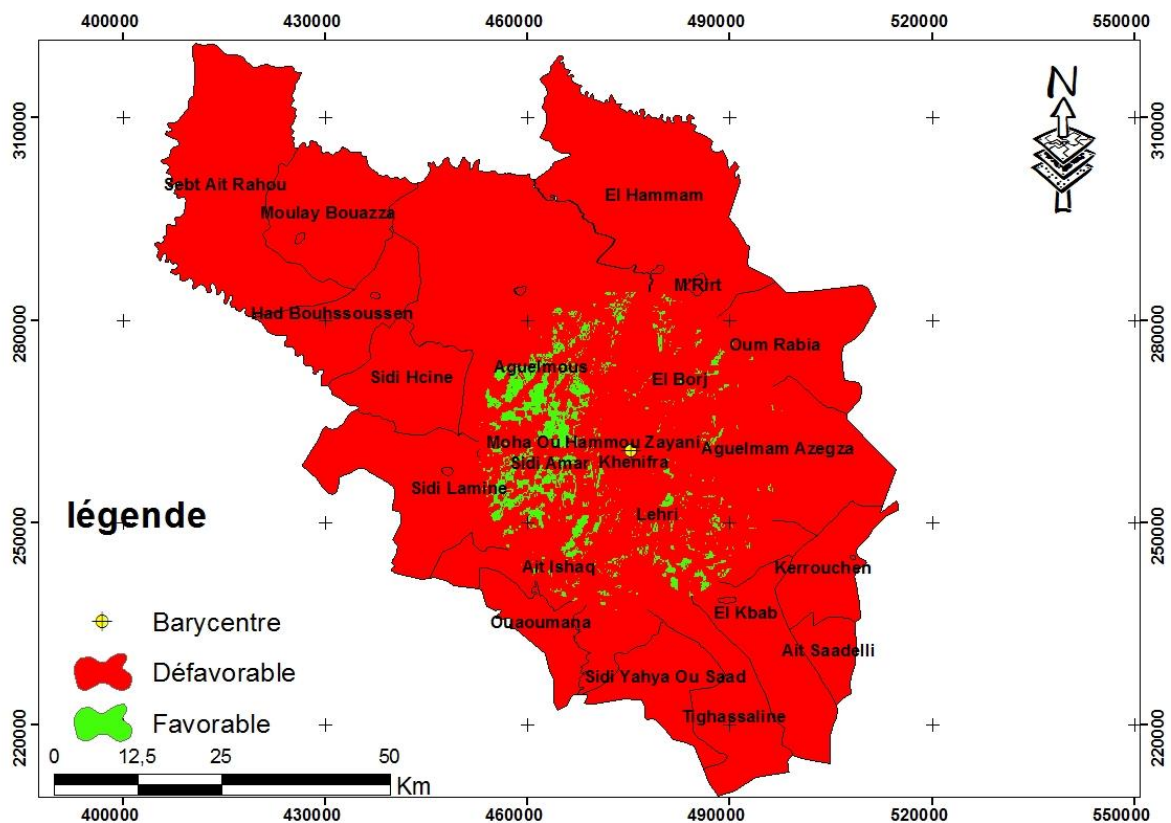


Figure 66: Carte totale des contraintes

Tableau 49: Classe de la contrainte totale

Contrainte totale	Classe	Nombre de Pixels	Superficie (%)
Défavorable	0	436551	88,09
Favorable	1	5890	11,91

III. CRITERES D'EVALUATION OU D'APPRECIATION

Les critères d'évaluation avaient pour objectif d'améliorer ou de réduire la pertinence des surfaces libres résultant de l'étape précédente.

1. Pondération des critères d'appréciation

Après la standardisation et le calcul de différents poids des sous critères relatifs aux trois critères, nous avons passé dans l'étape de traitement à l'agrégation des sous critères moyennant la somme pondérée afin de construire le critère en question. La méthode développée par Saaty (1977) a été utilisée pour cet effet. Il s'agit de la méthode des comparaisons par paire par le Processus d'Analyse Hiérarchique ou Analytical Hierarchy Process (AHP). Les poids sont déterminés à partir d'une série de comparaisons par paires de facteur quant à leur importance dans la détermination de l'aptitude pour produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à « 1 ». Cette étape est très délicate et elle nécessite l'intervention des décideurs ainsi que des spécialistes dans le domaine de choix de site de la décharge à savoirs le géologue, le sociologue, l'écologiste, l'économie, etc. pour l'affectation d'un coefficient à chaque facteur. Donc, pour chaque paire de facteurs possibles on introduit des évaluations dans une matrice couplée. Les poids sont alors déterminés à partir du vecteur propre principal de la matrice d'évaluation. Pour notre étude nous avons proposé les valeurs, cette proposition est basée sur la littérature puisque les différents acteurs intervenants dans le processus décision n'ont pas pu nous renseigner sur l'importance d'un facteur par rapport à l'autre. Le récapitulé des poids des sous critères est présenté dans le tableau en dessous :

Tableau 50: Poids des sous critères

Critère	Sous-critère	Poids	RC
Occupation du sol	Parc naturel	0,75	0,1
	Forêt	0,17	
	Surface agricole	0,08	
Socio-économique	Ville	0,52	0,03
	Villages	0,21	
	Zones sacrées	0,21	
	Routes	0,06	
Hydrologie (Eau)	Réseau hydrographique	0,21	0,01
	Sources et puits	0,24	
	Lacs et dayas	0,55	
	Pente	0,25	
Géologie/Topographie	Faillie	0,75	0,006

2. Agrégation totale

Dans cette approche nous avons utilisé la technique la plus courante et la plus connue est la combinaison linéaire pondérée (Weight linear combination, WLC), qui intègre totalement tous les critères (les critères et les facteurs) considérés en un seul (Eastman, 2001; Moeinaddini et al., 2010). Elle consiste à multiplier chaque facteur par son coefficient de pondération respectif et ensuite d'additionner ces résultats pour produire un indice d'aptitude exprimé dans une fourchette allant de 0 à 1.

$$S = \sum W_i X_i \quad (\text{Eq.9})$$

Où S est l'indice d'aptitude.

x_i est la valeur du facteur i .

w_i est le poids du facteur i .

La carte d'aptitude pour le site de la décharge contrôlée est le résultat de l'agrégation complète en utilisant les contraintes et la carte des facteurs pondérés. Ce qui est créé sur la base de deux scénarios (Tableau 51 et Tableau 52), qui sont conçus sur la variation de l'importance relative de deux facteurs d'appréciation (facteurs socio-économiques et hydrologie).

Tableau 51: Scénario 1 d'appréciation

Critères d'appréciation	Hydrologie	Socio-économiques	Utilisation du sol	Géologie	Poids
Hydrologie	1	1	1	1	0,25
Socio-économique	1	1	1	1	0,25
Utilisation du sol	1	1	1	1	0,25
Géologie	1	1	1	1	0,25

Tableau 52: Scénario 2 d'appréciation

Critères d'appréciation	Hydrologie	Socio-économiques	Utilisation du sol	Géologie	Poids
Hydrologie	1	1	2	2	0,33
Socio-économique	1	1	2	2	0,33
Utilisation du sol	1/2	1/2	1	1	0,17
Géologie	1/2	1/2	1	1	0,17

La comparaison quantitative entre les deux scénarios montre une différence remarquable dans le nombre de pixels d'une zone inadaptée et appropriée. Le nombre des pixels appropriés diminue dans le 2^{ème} scénario par rapport au 1^{er} scénario (Tableau 53).

Tableau 53 : Comparaison quantitative entre les deux scénarios

Classe	Superficie en % du	Superficie en % du
	Scénario 1	Scénario 2
Exclu	88,09	88,09
Inapproprié	1,25	3,69
Moins approprié	3,58	5,26
Approprié	5,09	2,09
Plus approprié	1,99	0,87

En se basant sur le premier scénario, nous avons obtenus 10 surfaces libres qui sont considérées les plus appropriées pour l'implantation du projet de la décharge contrôlée (Figure 67).

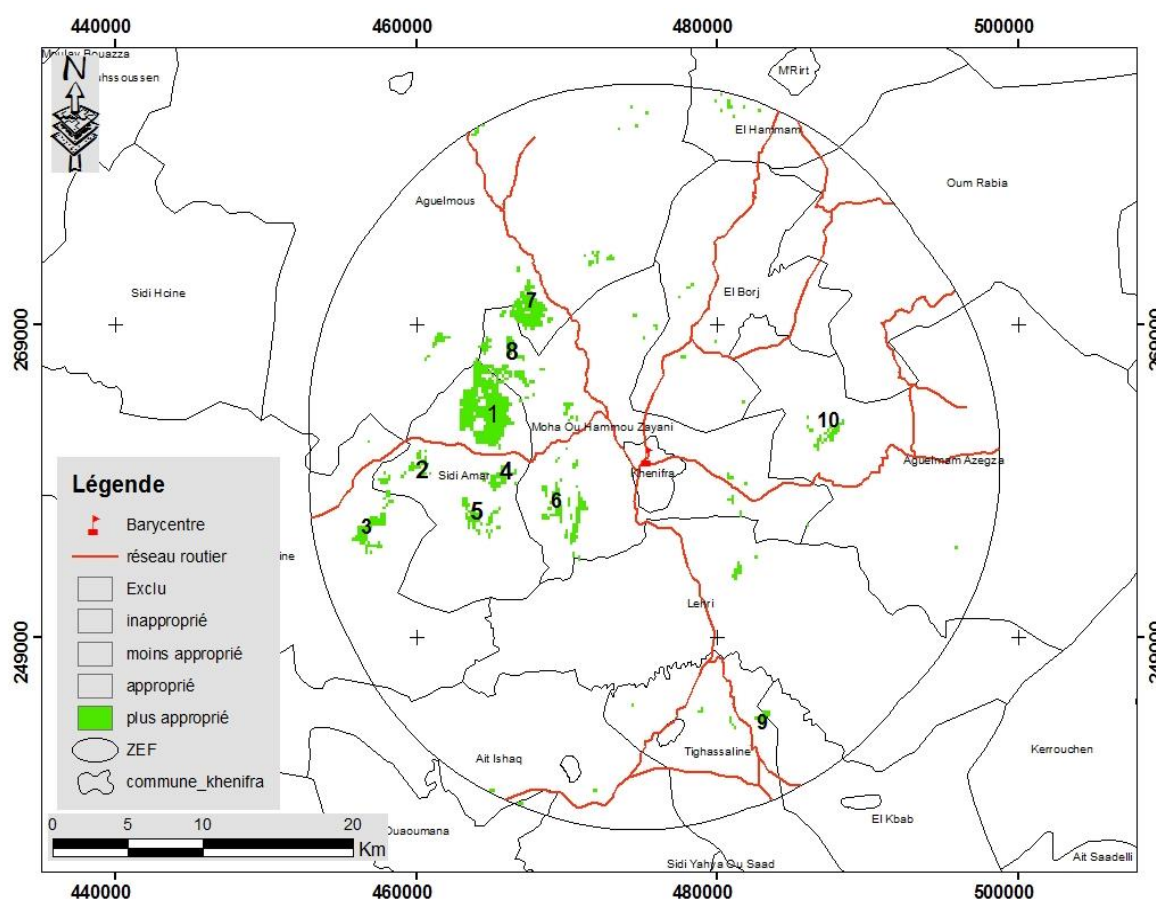


Figure 67 : Situation des surfaces libres

Sur la base des aspects socio-économiques et hydrologiques choisis dans la présente étude, ces deux facteurs ont été favorisés par rapport aux facteurs géologiques et d'occupation du sol. Les maillages semblables contigus ont été regroupés dans l'espace pour conserver à la fin, les sites ayant une superficie suffisante et une géométrie adéquate pour la mise en œuvre de la décharge. Les trois sites

candidats ont été sélectionnés (Figure 68 et Tableau 54), ils sont considérés comme les plus favorables à l'installation de la décharge contrôlée dans la région de Khénifra.

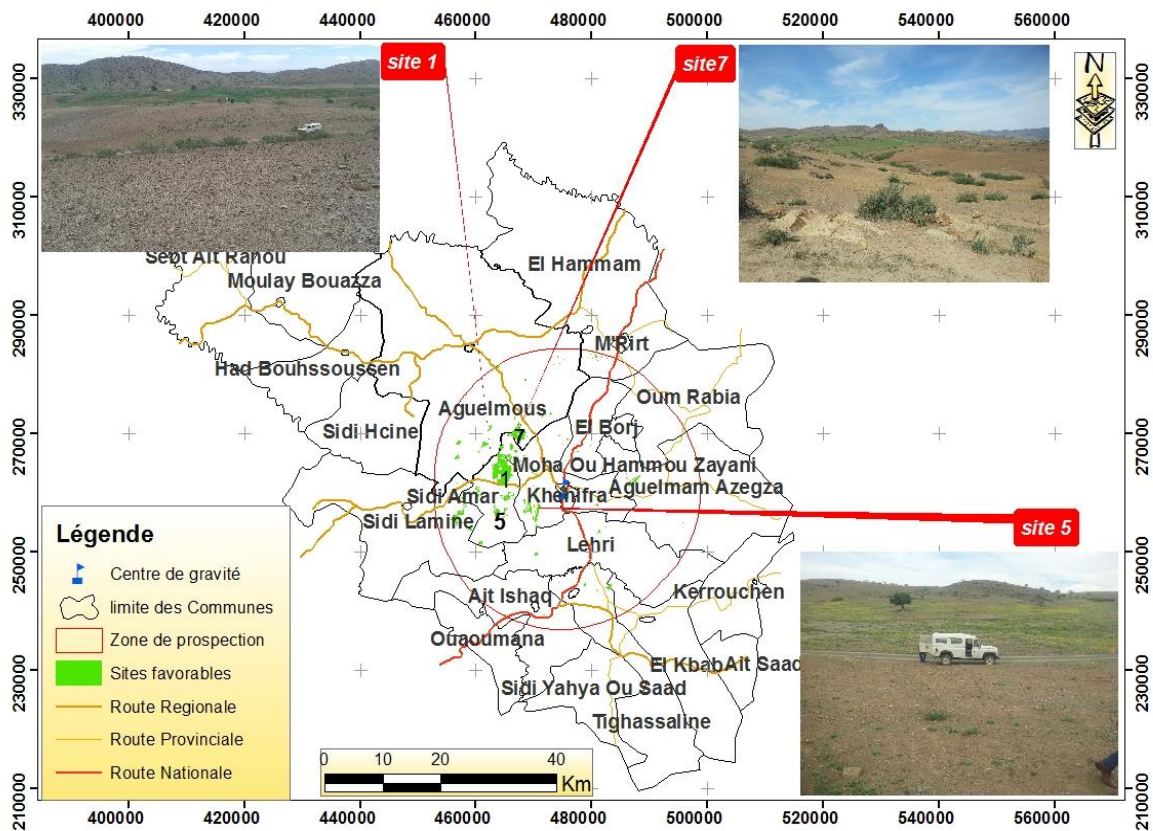


Figure 68 : Situation des surfaces libres les plus favorables selon le deuxième scénario

Tableau 54: Tableau 54: Situations et superficies des sites retenus

N° Site	X	Y	Superficie (ha)	Communes	Distance par rapport au barycentre (Km)
1	465039	262160	55	Sidi Amer	12 Km
5	465316	256920	35	Sidi Amer	13 km
7	468153	270278	30	Aguelmous	10 Km

De point de vue géologique, il est préventif que la sélection du site pour la mise en décharge devrait attirer l'attention sur les sols sous-jacents et les sols de fondation afin d'éviter la pollution des eaux souterraines. Pour cette raison, la géologie de la nouvelle décharge devrait être suffisamment épaisse et caractérisée par une imperméabilité. Les trois sites (1, 5 et 7) ont été sélectionnés en raison de leur emplacement dans des formations géologiques représentées par des schistes avec des lits de quartzite et de grès. Ces formations couvrent le massif central marocain et datent de l'ère paléozoïque (Figure 69).

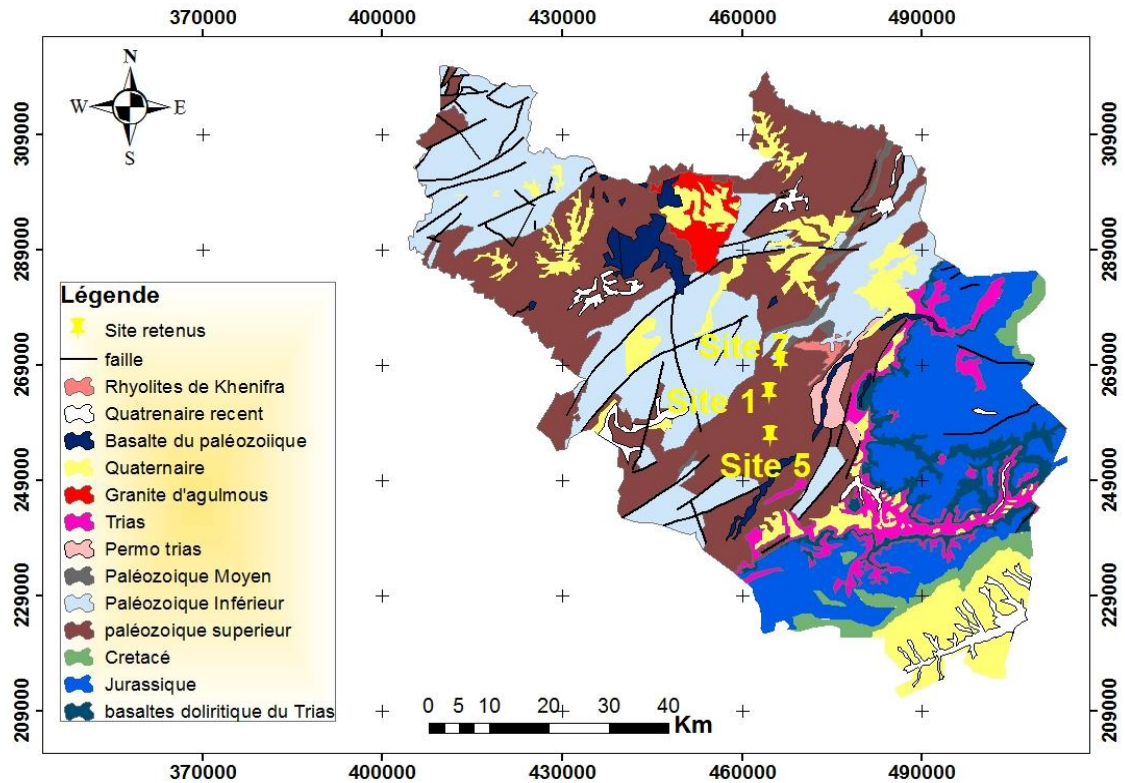


Figure 69: Localisation des sites sélectionnés sur la carte géologique de la région

IV. CONCLUSION

La sélection d'un site optimal pour la décharge contrôlée de la province de Khénifra est une procédure complexe. Elle a été effectuée par le couplage de la méthode Analyse multicritères (Fuzzy AHP) et la standardisation par une fonction continue. Cette analyse multicritères est basée sur des traitements cartographiques utilisant des outils géomatiques, en particulier des SIG. Quinze critères d'exclusion ont été appliqués pour obtenir une carte de contraintes qui permet d'exclure les zones impropres au choix du site. Ce traitement nous a permis d'obtenir les surfaces libres qui représentent plus de 12% de la superficie totale d'exploration. Les facteurs d'évaluation ont été appliqués pour évaluer les zones libres résultant de la première étape, en utilisant la distance euclidienne pour normaliser les facteurs. L'analyse AHP a été utilisée pour la pondération et la combinaison linéaire pondérée et agrégée. Les visites sur le terrain ont été menées pour vérifier les sites sélectionnés. En outre, le volume des déchets solides de la région a été calculé et projeté pour dimensionner la superficie du site sélectionné. En conséquence, trois sites ont été choisis après avoir obtenus les meilleurs indices d'aptitude selon les deux scénarios.

CHAPITRE 4 : CONTRIBUTION DE L'ANALYSE MULTICRITERE (AHP) A LA GESTION DES DECHETS SOLIDES.

I. INTRODUCTION

Sur la base des conclusions des parties précédentes, il apparaît illusoire d'envisager à court terme la mise en place d'un système de gestion des déchets. Tout système de gestion durable et intégrée des déchets solides dépend des stratégies d'acteurs autant que des techniques. A cet effet, cinq modèles de gestion alternatifs sont comparés et classés en fonction de leur performance et de leur efficacité aideront certainement les décideurs à prendre une décision pour le meilleur scénario de gestion qui tient compte des particularités de la région d'étude. Ce chapitre discutera les résultats de la contribution de l'analyse multicritère (AHP) dans l'aide à la prise de décision vis-à-vis de la gestion des déchets ménagers.

II. ETABLISSEMENT DU TABLEAU DE COMPARAISON COMPLETE.

Dans cette étape, nous avons obtenus les poids (priorité complète) sous forme de matrices de jugements des différents éléments comparés en calculant leurs ratios de cohérences.

1. Comparaison complète des critères

Les résultats de la comparaison complète des critères pour le choix d'un bon système de gestion des déchets sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 55: Matrice de jugement des critères : Priorité complète

	1	2	3	4	Priorité
Critère	Social	Environnemental	Financier	Technique	complète
Social	1	1/3	1/3	2	0,151
Environnemental	3	1	1	3	0,371
Financier	3	1	1	3	0,371
Technique	1/2	1/3	1/3	1	0,107
	$\lambda_{max} = 4,061$	IC = 0, 020		RC = 2,30%	

2. Comparaison complète des sous critères

2.1. Sous critères Sociaux

La comparaison complète des sous critères sociaux est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau 56: Matrice de jugement des sous critères sociaux: priorité complète

Sociale	S1	S2	S3	S4	Priorité complète
S1	1	1	2	3	0,351
S2	1	1	2	3	0,351
S3	½	1/2	1	2	0,189
S4	1/3	1/3	1/2	1	0,109
$\lambda_{\max} = 4,010$		IC = 0, 003		RC = 0,4%	

2.2. Sous critères environnementaux

La matrice de jugement et la priorité complète des sous critères environnementaux sont données dans le tableau suivant :

Tableau 57: Matrice de jugement des sous critères environnementaux : priorité complète

Environnemental	E1	E2	E3	E4	Priorité complète
E1	1	2	2	3	0,423
E2	1/2	1	1	2	0,227
E3	1/2	1	1	2	0,227
E4	1/3	½	½	1	0,123
$\lambda_{\max} = 4,012$		IC = 0, 004		RC = 0,5%	

2.3. Sous critères financiers

La priorité complète des sous critères financiers est représentée dans le tableau 58 :

Tableau 58: Matrice de jugement des sous critères financiers : Priorité complète

Financier	F1	F2	F3	F4	Priorité complète
F1	1	4	4	5	0,580
F2	¼	1	1	2	0,164
F3	¼	1	1	2	0,164
F4	1/5	1/2	½	1	0,093
$\lambda_{\max} = 4,028$		IC = 0, 009		RC = 1%	

2.4. Sous critères techniques

La priorité complète des sous critères techniques est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau 59: Matrice de jugement des sous critères techniques : Priorité complète

Technique	T1	T2	T3	T4	Priorité complète
T1	1	1/2	1	2	0,239
T2	2	1	2	2	0,394
T3	1	1/2	1	1	0,197
T4	1/2	1/2	1	1	0,169
$\lambda_{\max} = 4,061$		IC = 0, 020		RC = 2%	

3. Comparaison complète des alternatives proposées

Les résultats de la comparaison complète des systèmes proposés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 60: Matrice des jugements des alternatives « priorité complète »

Scénarios	Système 1	Système 2	Système 3	Système 4	Système 5	Priorité complète
Système 1	1	1/3	1/5	1/4	1/3	0,061
Système 2	3	1,00	1/3	1/3	2	0,160
Système 3	5	2,00	1	2	3	0,382
Système 4	4	2,00	½	1	3	0,276
Système 5	3	½	1/3	1/3	1	0,121
$\lambda_{\max} = 5,003$		IC = 0,001			RC = 0,1%	

III. AGREGATION PRIMAIRE

Dans cette étape nous avons calculé la performance de la valeur relative de chaque scénario sous la considération des critères situés au niveau supérieur. La valeur numérique de la performance de quatre critères (S-E-F-T) et ses sous-critères est le résultat du produit de critère et de sous-critères (Tableau 62). Cette agrégation sera utilisée au futur traitement de la performance de la valeur relative des alternatives.

Tableau 61: Poids des critères et sous critères

Tableau 62: Performance de la valeur relative

Critères	Social	Environne mental	Financ ier	Techniq ue	Critères	Social	Environne mental	Financ ier	Technique
	0,151	0,371	0,371	0,107		0,151	0,371	0,371	0,107
S1	0,351	0	0	0	S1	0,053	0	0	0
S2	0,351	0	0	0	S2	0,053	0	0	0
S3	0,189	0	0	0	S3	0,029	0	0	0
S4	0,109	0	0	0	S4	0,016	0	0	0
E1	0	0,423	0	0	E1	0	0,157	0	0
E2	0	0,227	0	0	E2	0	0,084	0	0
E3	0	0,227	0	0	E3	0	0,084	0	0
E4	0	0,123	0	0	E4	0	0,046	0	0
F1	0	0	0,58	0	F1	0	0	0,215	0
F2	0	0	0,164	0	F2	0	0	0,061	0
F3	0	0	0,164	0	F3	0	0	0,061	0
F4	0	0	0,092	0	F4	0	0	0,034	0
T1	0	0	0	0,239	T1	0	0	0	0,026
T2	0	0	0	0,395	T2	0	0	0	0,042
T3	0	0	0	0,197	T3	0	0	0	0,021
T4	0	0	0	0,169	T4	0	0	0	0,018

IV. CALCUL DE L'AGREGATION FINALE

L'agrégation finale du modèle de gestion des déchets dans la province de Khénifra, c'est le calcul de la performance de la valeur relative du modèle sous la considération des sous-critères. Le tableau montre la technique d'intégration des poids des scénarios relative à ce calcul. Les calculs d'agrégation des critères et des sous-critères étaient établis précédemment (Tableau 62), ainsi les résultats étaient attribués aux sous-critères. Les nouveaux poids des sous critères substituent la place des poids des critères (S-E-F-T) et les poids des modèles alternatifs (ALT1-ALT2-ALT3-ALT4-ALT5) remplacent les sous-critères. Par la suite, on introduit les poids des alternatives (ALT1 à ALT5) dans chaque ligne correspondante. La détermination d'une valeur dans la cellule est obtenue par le produit de poids des sous-critères en colonne par rapport aux différents poids des scénarios qui se trouvent en ligne (tableau 63). On constate que certaines cellules encaissent la valeur « zéro » (Tableau 64) cela signifie que le choix du meilleur système de gestion (ou alternatives) est irréalisable.

Tableau 63: Intégration des poids des alternatives en ligne par ligne

Scénario	SC	S1	S2	S3	S4	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4	T1	T2	T3	T4
	Poids	0,053	0,053	0,029	0,016	0,157	0,084	0,084	0,046	0,215	0,061	0,061	0,034	0,026	0,042	0,021	0,018
ALT 1	0,061	0,003	0,003	0,002	0,001	0,010	0,005	0,005	0,003	0,013	0,004	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001
ALT 2	0,160	0,008	0,008	0,005	0,003	0,025	0,013	0,013	0,007	0,034	0,010	0,010	0,005	0,004	0,007	0,003	0,003
ALT 3	0,382	0,020	0,020	0,011	0,006	0,060	0,032	0,032	0,018	0,082	0,023	0,023	0,013	0,010	0,016	0,008	0,007
ALT 4	0,276	0,015	0,015	0,008	0,004	0,043	0,023	0,023	0,013	0,059	0,017	0,017	0,009	0,007	0,012	0,006	0,005
ALT 5	0,121	0,006	0,006	0,004	0,002	0,019	0,010	0,010	0,006	0,026	0,007	0,007	0,004	0,003	0,005	0,003	0,002

Tableau 64 : Présentation du Résultat du traitement

Scénario	SC	S1	S2	S3	S4	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4	T1	T2	T3	T4
	Poids	0,053	0,053	0,029	0,016	0,157	0,084	0,084	0,046	0,215	0,061	0,061	0,034	0,026	0,042	0,021	0,018
ALT 1	0,061	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
ALT 2	0,160	0	0	0	0	0,03	0,01	0,01	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0
ALT 3	0,382	0,02	0,02	0,01	0	0,06	0,03	0,03	0,02	0,08	0,02	0,02	0,01	0	0,01	0	0
ALT 4	0,276	0,01	0,01	0	0	0,04	0,02	0,02	0,01	0,06	0,02	0,01	0	0	0,01	0	0
ALT 5	0,121	0	0	0	0	0,02	0,01	0,01	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0

V. DECISION FINALE

Les résultats obtenus nous ont montré qu'ils ont sept valeurs réparties en trois groupes :

- Groupe 1 (couleur blanche) : des valeurs sont égales à « Zéro ».
- Groupe 2 (couleur verte) : des valeurs sont égales à « 0,01 ».
- Groupe 3 (couleur bleue) : des valeurs variables : 0,02 - 0,03 – 0,04, - 0,06 et 0,08.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de traitements et la classification des alternatives proposées :

Tableau 65 : Résultat du classement complet des modèles de gestion appropriés des déchets

Critère	Social				Environnemental				Financier				Technique				
	Sous critère	S1	S2	S3	S4	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4	T1	T2	T3	T4
Scénarios	ALT 1	-	-	-		-	-	-		+	-	-	-		-		
	ALT 2	-	-	-		+	+	+	-	+	-	-	-		-		
	ALT 3	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+		+		
	ALT 4	+	+	-		+	+	+	-	+	+	+	-		+		
	ALT 5	-	-	-		+	+	+	-	+	-	-	-		-		

VI. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

D'après les résultats obtenus, on constate que les deux alternatives ALT3 et ALT4 sont les meilleurs dans les critères sociaux. En revanche, les deux scénarios ALT3 et ALT4 sont considérés les plus adéquats aussi dans les critères environnementaux, suivies par les alternatives ALT2 et ALT5. Les mêmes résultats ont été obtenus dans les critères financiers, cela signifie qu'ils sont les meilleures alternatives dans ces critères. En outre, dans les critères techniques, les deux alternatives ALT3 et ALT4 ont des valeurs égales, dans ce cas ils sont raisonnablement acceptables.

L'analyse des résultats exprimée par le vecteur des priorités complètes des alternatives présentées auparavant indique, d'une part, que l'alternative ALT3 se révèle être le meilleur scénario de gestion des déchets dans la province de Khénifra. Il est suivi de l'alternative ALT4 et finalement l'alternative ALT2 et ALT5. D'autre part les sous critères (S1, T1, T3 et T4) n'ont aucune influence sur le choix de modèle dans cette étude, ce qui signifie qu'ils ne sont pas importants. Dans cette étude, le résultat de l'analyse suggère d'accorder, sans ambiguïté, le scénario (déchets séparés à la source, recyclage combiné avec le compostage) de l'alternative ALT3, puisque celui-ci recueille de l'ensemble des jugements du décideur, l'appréciation la plus élevée.

Les déchets solides ménagers dans ce système seront mis par la population dans deux bacs : l'un pour les matériaux recyclables (papier, verre, plastiques et métaux) et l'autre pour le reste des déchets organique biodégradables. Cette fraction organique sera transférée pour subir un traitement biologique

en aérobie (compostage). Pendant l'opération du compostage, les déchets seront activés pour subir la dégradation de la matière organique par des bactéries aérobies afin de donner le produit final appelé compost.

La méthode d'analyse multicritère et la procédure du traitement des critères d'évaluation, proposées dans cette étude, fournissent aux décideurs des idées de recommandations pour l'avenir de la gestion intégrée des déchets solides dans la province de Khénifra en particulier et dans tout le pays d'une façon générale.

CONCLUSION GENERALE
ET
PERSPECTIVES

CONCLUSION GERERALE

La présente thèse de recherche prend la gestion des déchets solides ménagers comme objectif, sur la base des données caractéristiques fiables de la zone d'étude. A cet effet, une analyse de la problématique dans toutes ces cotés critiques a été effectuée.

En effet, la synthèse bibliographique montre qu'il existe une littérature de plus en plus fournie sur la connaissance des déchets à l'échelle nationale et internationale. Les résultats de cette analyse nous ont permis de comprendre les notions de base en relation avec la gestion des déchets, un accès à la compréhension du contexte marocain dans ce domaine, les textes et les lois appliquées en vigueur, les modes de gestion adoptés, le niveau de progrès et les différents obstacles et contraintes que rencontrent la modernisation et le développement du secteur.

Nous avons commencé ce travail de recherche qui s'intéresse à la province de Kéhnifra, par la collecte des données et l'analyse de son système de gestion des déchets à travers des missions de terrain, des enquêtes et des suivis qui ont été réalisés durant la période de recherche. Ceci nous a permis de déterminer les sources clés d'une gestion durable et intégrée de ce mode.

L'enquête auprès des citoyens de cette province, révèle que la filière de gestion des ordures ménagères se résume à la pré-collecte et que la totalité des ménages enquêtés ont des problèmes pour se débarrasser de leurs déchets. C'est ainsi qu'on a détecté l'existence de plusieurs défiances et contraintes, au niveau des opérations quotidiennes de la collecte et de la mise en décharge. Cette enquête a montré que le niveau d'éducation environnementale de la population concernée, particulièrement dans le milieu rural, est faible. Ce qui nécessite d'organiser des campagnes et des ateliers de sensibilisation et d'impliquer les associations dans cette opération. L'étude a suggéré que toute amélioration de la gestion des déchets qui peut influencer positivement la santé et la vie publique, ne peut pas réussir sans la participation de la population intéressée, elle nécessite la collaboration entre les communes, les sociétés délégataires et les citoyens.

Les études de caractérisation des déchets ménagers ont été réalisées au niveau du CEV durant deux périodes (sèche et humide) en fonction du mode de vie. Elles nous ont permis d'extraire de précieuses informations sur l'aspect physique et chimique des déchets ménagers dans la région de Khénifra. Il apparaît que la quantité et la composition des déchets ménagers générés varient selon la saison, le niveau et le mode de vie des habitants. La proportion des déchets fermentescibles suggère le compostage comme la technique la plus prometteuse par rapport à d'autres méthodes d'élimination des déchets (comme l'incinération). Néanmoins, une caractérisation chimique des déchets est cruciale pour une meilleure décision. La fraction récupérable par recyclage est intéressante et pourrait constituer le deuxième segment de la gestion des déchets ménagers. En effet, vu leurs contenus élevés en matière organique, les déchets de cette province peuvent être valorisés via trois voies possibles : Le recyclage, la valorisation énergétique sous forme des Combustibles Solides de Récupération (CSR) et le

compostage. Une combinaison des trois modes sera idéale pour une exploitation efficace et durable du gisement des déchets de la région de Khénifra. Mais vu, les conditions climatiques ainsi que le les sols de la région d'étude sont pauvres en matière organique qui nécessitent une fertilisation importante, les traitements biologiques restent avantageux. De plus, du fait que notre problématique touche l'aspect socio-économique, nous avons pu orienter la valorisation des déchets vers le principe des 3R (Recycler, Réutiliser et Réduire). À cette fin, un système de tri sélectif en amont est justifié.

D'autre part, l'étude de caractérisation réalisée nous a aidés à quantifier le ratio moyen journalier des déchets ménagers produits par la province de Khénifra. Ce ratio est important dans le milieu urbain (0,76 kg/j/hab) par rapport au milieu rural (0,57 kg/j/hab) avec une variation saisonnière significative.

Une filière de traitement des déchets solides est proposée à l'issue de cette étude. En fonction des conditions du milieu, on a opté pour le compostage comme processus final et qui va être une solution envisageable pour valoriser les quantités des déchets biodégradables dans le domaine agricole.

L'analyse et le traitement des composts extraits des déchets ménagers de la zone d'étude, ont révélé qu'ils contiennent des fertilisants qui peuvent leur permettre de jouer un rôle d'un amendement des sols. Les teneurs en éléments traces des composts produits sont inférieures aux normes internationales. La présence des microorganismes pathogènes dans les composts générés a été détectée et peut provoquer des impacts négatifs sur la santé humaine. Entre outre, les tests de germination réalisée sur deux types de culture (Maïs et Tournesol) ont jugé que les composts extraits de déchets sont bien décomposés et ne présentent aucune toxicité. Donc, les composts, extraits des ordures ménagères de cette province, peuvent être utilisés comme fertilisants organiques. Bien sûr, avant une telle utilisation, un simple prétraitement du compost (surtout pour se débarrasser des microorganismes pathogènes) et un test de germination s'avèrent nécessaires.

L'évaluation préalable de l'impact environnemental a révélé que le site proposé abritant, le CEV de Khénifra, présente plusieurs contraintes d'implantation environnementales et techniques. En tenant compte les exigences et les normes infranationales et malgré les mesures qui ont été prises en considération, les études d'impacts sur l'environnement réalisées ont montré que le risque d'avoir des menaces est toujours présent. Les mesures techniques et les études préalables à l'ouverture d'une décharge provinciale s'avèrent très nécessaire afin de l'installer dans l'endroit le plus convenable avec une superficie suffisante pour une meilleure préservation de l'environnement et de la santé humaine.

A cet effet, la combinaison de la géomatique et les méthodes d'analyse multicritère (AHP) a été adoptée en appliquant les critères d'exclusion pour obtenir une carte de contraintes qui permet d'exclure les zones impropres au choix du site. Ce traitement nous a permis d'obtenir les surfaces libres qui représentent plus de 12% de la superficie totale d'exploration. Des facteurs d'évaluation ont été appliqués pour évaluer les zones libres résultant de la première étape. L'analyse multicritère AHP a été utilisée pour la pondération et la combinaison linéaire pondérée et agrégée. Les visites sur terrain ont

été menées pour vérifier les sites sélectionnés. C'est ainsi finalement, trois sites ont été choisis après avoir obtenus les meilleurs indices d'aptitude selon les deux scénarios proposés.

Dans le dernier axe de ce travail de thèse, nous avons testé les nouvelles méthodes de la prise de décision telle que la méthode AHP basées sur des calculs matriciels pour proposer le système de gestion le plus adéquat à notre région. L'analyse des résultats exprimée par le vecteur des priorités complètes des alternatives présentées auparavant indiquent, que l'alternative ALT3 se révèle être le meilleur scénario de gestion des déchets dans la province de Khénifra. Le système (déchets triés à la source, recyclage combiné avec le compostage) de l'alternative ALT3 tend vers l'usage du principe des 3R, il apporte une meilleure maîtrise de la gestion intégrée des déchets solides tout en respectant l'environnement et en tenant compte les conditions du milieu.

En termes de cette étude, la contribution de la géomatique (SIG et Télédétection), des méthodes d'analyses multicritères (Fuzzy AHP) et de la valorisation a montré un mécanisme très satisfaisant pour explorer les problèmes complexes et fournir les commentaires immédiats aux décideurs en relation avec la gestion des déchets solides dans la province de Khénifra en particulier. Cette approche scientifique reste une étude première qui fait appel aux outils géomatiques et géostatistiques pour optimiser la gestion des déchets solides, donc reste à faire l'appliquer à d'autres communes du Maroc.

En perspective :

- En terme de perspectives, les résultats obtenus à travers ces approches de recherche scientifique peuvent constituer une plateforme et un support essentiel pour les décideurs qui s'intéressent à la gestion des déchets ménagers dans la zone d'étude afin de préserver les ressources naturelles contre toute sorte de pollution et de choisir la solution optimale pour une gestion durable et intégrée des déchets.
- On peut appliquer le modèle multicritère qu'on a élaboré à d'autres problématiques : la détermination des sites de glissements de terrain, l'étude de la vulnérabilité à la pollution des aquifères, la quantification de l'érosion, ...etc.
- Dans notre étude, on a essayé de réaliser une étude de caractérisation en partie avale au niveau de la décharge. Cependant, une autre étude de caractérisation est nécessaire en amont c'est à dire auprès des ménages et ceci dans l'objectif de diminuer les pertes causées par l'intervention du secteur informel.
- Dans cette étude, nous sommes concentrés sur le volet solide des déchets. Cependant, une étude quantitative et qualitative de sa partie liquide générée (lixiviats percolés) afin d'en choisir le traitement adéquat et le moins coûteux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABHOER (Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Er-Rbia) 2012. Données climatologiques de la station de Taghat. Rapport, Béni Melal – Maroc.
- Abu-Qudais M., Abu-Qdais H.A., 2000. Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization; *Energy Conversion & Management* 41 (2000), 983 – 991.
- Achankeng E., 2003. Globalization, Urbanization and Municipal Solid Waste Management in Africa, African Studies Association of Australasia and the Pacific, Conference Proceedings - African on a Global Stage; 22 pages.
- ADEME (MODECOM, 2007). Method of Characterization of Household waste. ADEME Editions. 1993.
- ADEME, 1999. Composition des ordures ménagères en France (données et références), 60 pages.
- ADEME, 2000. Déchets municipaux 2ème édition. ADEME éditions, Paris, 11 pages.
- ADEME, 2000-a. Atlas des déchets en France 2ème édition (données et références), ADEME éditions, Paris, 138 pages.
- ADEME, 2004. La gestion des déchets dans les pays en développement, 3 pages.
- ADEME, 2005-a. Gestion des déchets ménagers ; Etude de préfiguration de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères ; Rapport intermédiaire : les objectifs, Version définitive.
- AFNOR, 1996. Déchets : Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés ; Eds AFNOR, 24 pages.
- AFNOR, 2001. Caractérisation des déchets : Dosage du carbone organique total (COT) dans les déchets, boues et sédiments ; NF EN 13137, X 30-404.
- Aina M. P., 2006. Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED: contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites, Thèse de doctorat Université de Limoges, 236 pages.
- Ajemma G., 2010. Contribution à l'amélioration de la méthodologie adoptée dans le volet hydrogéologique pour le choix du site et les EIE des décharges contrôlées. IAV-Hassan II, Rabat - Maroc.
- 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.
- Aloueimine S., Matejka G., Zurbrugg C., 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.
- Arbel A., Vargas L.G., 1990. The Analytic Hierarchy Process with interval judgements. Multiple Criteria Decision Making Proceedings of the Ninth international Conference: Theory and Applications in Business, Industry and Government. Springer-Verlag, Fairfax.
- Archer E., Klein A., Whiting K., 2005. Mechanicalbiological treatment: A guide for decision maker's process, Policies & Markets – Juniper Consultancy Services Ltd., Sheppards Mill, Uley, UK.
- 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.
- Banque mondiale 2008. Municipal Solid Waste Treatment Technologies and Carbon Finance, Thailand, Bangkok.
- Baojuan Z., Soe W. M., Prasad S. T, Rimjhim M. A., 2015. A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 103–112.
- Ben Amar S., 2006. The stakes of household waste characterization for the choice of appropriate treatments in developing countries, Characterization results in Greater Tunis, Developing a suitable method, PhD in Geosciences, National Polytechnic Institute of Lorraine, 326 p.
- Benabou S., Aitkhouya J., 2007. Modélisation et automatisation du processus du choix du site des décharges publiques. Rabat: Ecole Mohammédiya des Ingénieurs.
- Bernache-Pérez G., Sanchez-Colon S., Garmendia A.M., Sanchez-Salazar M.E., 2001. Solid waste characterization study in Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico; *Waste Management Research*, 19: 413 - 424.
- Bernal M.P., Paredes C., Sanchez-Monedero M.A., Cegarra J., 1998. Maturity and stability parameters of compost prepared with a wide range of organic waste. *Bioresour. Technol.*, 63, 91-99.

- Boechat C.L., Santos Pereira da Silva P.S., 2012. Chemical characterization to evaluate the, agricultural potential use of organic wastes generated by industrial and urban activity. *African J. Agric. Res.*, 7(27), 3939-3944.
- Brunner P. H., Ernst Walter R., 1986. *Alternative Methods for the Analysis of Municipal Solid Waste, Waste Management & research* (1986) 4, 147-160.
- Buenrostro O., et Bocco G., 2003. Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, *Resources, Conservation and Recycling*, 39, 251 – 263.
- Chakhar S., 2006. *Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique*, Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine, 300 p.
- Chandana K. V., Samuel T.S., Sumith P., 2006. Municipal solid wastemanagement in the Southern Province of Sri Lanka : Problems, issues and challenges, *Waste Management*, 26 (2006), 920–930.
- Chang D., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* , 95, 649-655.
- Charnay F., 2005. *Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d’une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost*. Thèse de Doctorat N° 56. Université de Limoges, 277 pages.
- Cointreau-Levine S., 1997. *Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management*. *International Occupational and Environmental Medicine*. St. Louis (USA), 25 pages.
- Compaore E., nanema s. L., sedogo m. P., 2010. Évaluation de la qualite de composts de dechets urbains solides de la ville de bobo-dioulasso, burkina faso pour une utilisation efficace en agriculture. *Journal of applied biosciences* 33: 2076 – 2083.
- Cooper C.D., Kim B., MacDonald J., 1999. Estimating the Lower Heating Values of Hasardous an Solid Waste ; *Journal of the Air & Waste Management Association*; 49:471-476.
- Crowe M., Nolan K., Collins C., Carty G. et Donlon B., 2002. *Biodegradable Municipal Waste Management in Europe, Part 1, Strategies and Instruments*, European Environment Agency, Copenhagen, 19 pages.
- Diaz LF., Savage GM., Golueke CG., 2002. *Handbook of Solid Waste Management* 2nd edition, in Tchobanoglous, G. and Keith, R., Ed., McGraw-Hill, New York.Pp. 30.
- Dietmann D., 2008. *Déchets ménagers, le jardin des impostures*, édition d’harmattan, 155p.
- Diop O., 1988. *Contribution à l’Etude de la Gestion des Déchets Solides de Dakar : Analyse systémique et Aide à la Décision*, thèse de doctorat N° 757, Département de Génie Rural et Géométrie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 292 pages.
- Direction d’équipement Khenifra, 2008. *Données sur les ressources en eau dans la province de Khenifra version arabe*. Rapport, Direction d’équipement Khenifra – Maroc.
- Direction Régionale des Eau et Forets 2008. *Projet de création du parc national du moyen atlas central Khenifra*. Rapport, DREF, Khénifra – Maroc.
- Dong C., Jin B., Li D., 2003. Predicting the heating value of MSW with a feed forward, neural network, *Waste Management* 23 (2003) 103 – 106.
- El maguiri A., Fawaz N., Souabi S., Idrissi L., Taleb A. and R. Vincent, 2014. The Physical Characterization of Household Waste in the City of Mohammedia- Morocco-and the Evaluation of the Financial Impact of its Current Management, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 3 (12), 100-106.
- El Morjani Z., 2002. *Conception d’un système d’information à référence spatiale pour la gestion environnementale ; application à la sélection de sites potentiels de stockage de déchets ménagers et industriels en région semi-aride (Souss, Maroc)*. Thèse de doctorat, Université de genève, Terre et environnement, Genève.
- Elhamdouni D., Arioua A., Aba B. & I. Karaoui, 2018. Sustainable Management of Household Garbage- Status of Citizens behavior and participation. A Case study of Khenifra region (Morocco),” *European Scientific Journal*, 14 (20), 61-78.
- Elhamdouni D., Arioua A., Aba B., A. Elhmaid, 2017. Geomatics tools and AHP method use for a suitable communal landfill site: Case study of Khenifra region (Morocco), *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8 (10), 3612–3624.
- Elkadi A., Maatouk M., Raissouni M. & T. Chafiki, 2016. Characterization of household and assimilated waste in the city of Tangier, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 18 (2), 512-528.
- Estevez P., 2003. *Management of Municipal Solid Waste in Santiago, Chile :Assessing Waste-to-Energy Possibilities*, Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of School of Engineering and Applied Science, Earth Engineering Center, Columbia University; 32 pages
- Foody, G.M., Mathur, A., 2004. Toward intelligent training of supervised image clas-sifications: directing training data acquisition for SVM classification. *Remote Sens. Environ.* 93, 107–117.

- 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 colonnes de déchets, thèse de doctorat N° 8-2004, Université de Limoges.
- François V., Feuillade G., Skhiri N., Lagier T. and Matejka G., 2006. Indicating the parameters of the state of degradation of municipal solid waste", *Journal of Hazardous Materials B* 137 pp. 1008–1015.
- Gachet C., 2005. Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au Centre de Stockage de Déchets Ultimes du SYDOM du Jura sous l'effet de la recirculation des lixiviats, thèse, Institut National des Recherches Appliquées de Lyon.
- Gagné N., 2004. Technologie du bioréacteur, Analyse du document déposé par le FCQGED, Intersan inc. ; Projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de Sainte- Sophie, 61 pages.
- Garcia A.J., Esteban M.B., Marquez M.C., Ramos P., 2005. Biodegradable municipal solid waste: Characterization and potential use as animal feedstuffs; *Waste Management* 25 780–787.
- Gbedo V., 2010, Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou : Approche pour une maîtrise des aspects technique et socio-économique, Thèse de Doctorat Université d'Abomey-Calavi, 237 pages.
- Ginting R., 2000. Intégration du système d'aide à la décision et du système d'intelligence économique dans l'ère concurrentielle. L'Université de droit et des sciences d'Aix-Marseille.
- GIZ., 2014. Rapport sur la gestion des déchets solides au MAROC.
- GIZ., 2014. Directives pour la réalisation des études d'impacts sur les projets des décharges contrôlées et les projets des STEP, p 100.
- GTZ., 2002. Guide de présélection de site des décharges contrôlées des déchets ménagers cas de Larache et Chefchaouen. Rabat.
- Guene O., 1995, Compostage artisanal intégré à la gestion des ordures ménagères, données de terrain et outils de diffusion, CREPA, Ouagadougou (Burkina Faso), 68 p.
- Guitouni A., 1998. L'ingénierie du choix d'une procédure d'agrégation multicritère. Thèse de doctorat (non publié), Université Laval, Québec.
- Guitouni A., Martel J.M., Vincke P., 1999. Un cadre de référence pour le choix d'une procédure d'agrégation multicritère. Document de travail 99-13, Université Laval, FSA.
- Hachicha R., Hassen A., Jedidi N., Kallali H., 1992. Optimal conditions for MSW composting. *Biocycle, J. Waste Recyc.* 33 (6): 76-77.
- Hafid N., 2004. Compostage et mise en décharge des déchets urbains : bilan de l'expérience d'une région semi-aride ; The First International Symposium on the Management of Liquid and Solid Residues (MALISORE), 26 – 27, April 2004, Mohammedia – Morocco, 372 pages.
- Hafid N., El Hadek M., Lguirati A. et Bouamrane A., 2002. Evaluation d'une filière simplifiée de compostage des ordures ménagères ; *DECHETS, Revue Francophone d'Ecologie Industrielle -N° 25- 1er trimestre 2002.*
- Hefa C., Yanguo Z., Aihong M. and Qinghai L., 2007. Municipal Solid Waste Fueled Power Generation in China: A Case Study of Waste-to-Energy in Changchun City *Environ. Sci. Technol* 41, pp.7509-7515.
- Hoorweg 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.
- Hossain MD.S., 2002. Mechanics of compressibility and strength of solid waste in bioreactor landfills. Thesis, Faculty of North Carolina State university at Raleigh, Department of Civil Engineering, 199 pages.
- Hsu, C.-W., Lin, C.-J., 2002. A comparison of methods for multi-class Support Vector Machines. *IEEE Transaction on Neural Networks* 13, 415–425.
- Iglesias-Jimenez A., Alvarez C. E., 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biol. Fertil. Soils*, 16, 313-318.
- Jiang H., Eastman J. R., 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173-184.
- Kaibouchi S., 2004. Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : Contribution à l'étude des mécanismes de stabilisation par carbonatation et influence de la collecte selective ; thèse.
- Kathiravale S., Muhud Yunus M.N., Sopian K., Samsuddin A.H., Rahman R.A., 2003. Modeling the heating value of Municipal Solid Waste, *Fuel* 82 (2003) 1119 –1125.
- Kemal Korucu M., Erdagi B., 2012. A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municip.al solid wastes. *Waste Management*, 32, 2315–2323.
- Khalil A., Domeizel M., Prudent P., 2008. Monitoring of green waste composting process based on redox potential, *Bioresource Technology* 99, 6037–6045.

- Koledzi E, 2011. Valuation of the urban waste in the districts of Lomé (Togo): methodological approach for a sustainable production of compost. Diss. Limoges.
- Koledzi E. K., Kpabou Y., Baba G., Tchangbedji G. Kili K. A., Feuillade G., Matejka G., 2011. Composition of municipal solid waste and perspective of decentralized composting in the districts of Lomé, Togo, *A Glance at the World / Waste Management* 31, 607–609.
- Kontos T. D., Komilis D. P., Halvadakis C. P., 2005. Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste management*, 25(8), 818-832.
- Laaribi A., 2000. SIG et analyse multicritère. Paris: Hermes Science Publication.
- Lagier T., 2000. Etude des macromolécules de lixiviat : caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de doctorat, Université de Poitiers.
- Li M., Xiang J., Hu S., Sun L-S., Su S., Li P-S., Sun X., 2004. Characterization of solid residues from municipal solid waste incinerator, *Fuel* 83, 1397 – 1405.
- Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A., Pinto, A. C. D., 2004. Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere* 54 (7): 1005-1010.
- Malczewski J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Mansour D., 2015. Combinaison des S.I.G et des méthodes d'analyses multicritères dans la présélection des sites de stockage des déchets : cas des villes de Taoujdate et d'Agourai et de la province d'El Hajeb (Maroc). Thèse pour l'obtention d'un grade Docteur. Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Meknes, Maroc, 335p.
- Mansour D., El Hmaidi A., Essahlaoui A., El Ouali A., Bouabid R., El Abassi M., 2014. Using GIS for selection of Potential Waste Disposal Sites in Meknes city. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(6), 01-10.
- Markarian M. et Ménard K., 2003. La bioréaction appliquée à la gestion des déchets aux Québec : aspects techniques et environnementaux. *Front québécois pour une gestion écologique des déchets*, 40 pages.
- Mavropoulos A., 2008. Waste Treatment Technologies, United Association of Waste Management of Crete.
- Mbuligwe S.E., Kassenga G.R., 2004. Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar Es Salaam city, Tanzania, *Resources, Conservation and Recycling* 42,183 – 203.
- Mechadi M., 2017. Caractérisation des déchets solides de la ville de Béni Mellal (Maroc), Thèse pour l'obtention d'un grade Docteur, Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, **Maroc**, 156p.
- Mechadi M., Mbarki M., Chamsi Z., 2016. Characterization of the recyclable fraction of solid waste of the Beni Mellal-Morocco-Villa Zone Territorial Commune. *European Scientific Journal*, 12 (23), 253-269.
- Mekan A., 2013. Sustainable management of municipal solid waste in Morocco: Application of PROMETHEE method for choosing the optimal management scheme. *African Journal of Environmental and Waste Management*, 1 (1), pp. 001-01.3.
- Mettam GR, Adams LB, 1999. How to prepare an electronic version of your article. In: Jones BS, Smith RZ, editors. *Introduction to the electronic age*, New York: E-Publishing Inc, 281–304.
- Mezouari F., 2011. Design and management of waste stocking facilities in Algeria and limiting environmental impacts, Ph.D. thesis, Polytechnic School of Architecture and Urban Planning and the University of Limoges, 261p.
- Mintzberg H., Raisinghani D., Theoret A., 1976. The Structure of Unstructured Decision Processes. *Administrative Quarterly*, 21, p. 246-275.
- Modecom, 1993. *Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères/ 2ème édition*, ADEME éditions, Paris, 64 pages.
- Mohan S., Gandhimathi R., 2009. Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent, *Journal of Hazardous Materials* 169 pp. 351–359.
- Mohee R. (2002). Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; *Resources, conservation and Recycling* 36 (2002) 33 – 43.
- Mountrakis G., Im J., Ogole C., 2011. Support vector machines in remote sensing: a review. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens*, 66, 247–259.
- Najih A., 2015. Caractérisation et valorisation des déchets ménagers en vue d'une gestion durable cas de la commune de Khouribga (Maroc). Thèse pour l'obtention d'un grade Docteur, Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, Maroc, 172p.
- Najih A., Habbari K., 2014. Gestion des déchets ménagers dans la ville de Khouribga (Maroc) : étude du comportement du citoyen. *J. Science Lib Editions Mersenne*, 6, 140607
- Ngnikam E., Tanawa E., 2000. *Les villes d'Afrique face à leurs déchets*. Université de technologie de Belfort-Montbéliard, (UTBM), Metz (France), 287p.

- ONEE-branche Eau Khenifra, 2012. Projet d'assainissement de la ville de Khenifra, station d'épuration, réseau, stations de pompage de transferts des eaux usées. Rapport, Division d'assainissement, ONEE, Khenifra – Maroc.
- ONEE-branche Eau, Khenifra, 2013. Programme d'alimentation globale en eau rurale (PAGER). Rapport, division de production, Khenifra –Maroc.
- ONEE-branche Electricité, 2016. Programme d'Electrification Rurale Global (PERG). Rapport, ONEE-branche Electricité, Maroc.
- Oufama I., 2010. Analyse critique de l'approche utilisée pour le choix des sites des décharges contrôlées des déchets ménagers et assimilés avec étude de cas de Settat. Rabat: rapport IAV Université Hassan II, Maroc.
- Ouigmane A., Boudouch O., Hasib A., M. Berkani, 2017. The size effect in the distribution of combustible components in the municipal solid waste produced in the summertime. Case of the city of Beni Mellal-Morocco, *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8 (8), 2729-2737.
- Province de Khenifra, 2010. Monographies Communales des ressources en eau. Assainissement liquide de la ville de M'irt, aguelmos, Ait Ishaq, Elkhab et sidi Lamine. Rapport, Province de Khenifra –Maroc.
- Province de Khenifra, 2015. Monographie de la province de Khénifra. Rapport, p 47.
- RGPH, 2014. Note sur les premiers résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014. Rapport, province Khénifra – Maroc.
- Rodier J., 1978. L'analyse de l'Eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eau de Mer. 6ème édition. DUNOD, Paris, p. 709-968.
- Roy B., 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *RIRO*, 8, p. 57-75.
- Roy B., Vincke P., 1981. Multicriteria Analysis: Survey and New Directions, *European Journal of Operational Research*, 33, 54-64.
- Saaty T. L., Vargas L. G., 1987. Uncertainty and Rank Order in the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 32, 107-117.
- Saaty T. L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty T. L., 1980. Risk—its priority and probability: the analytic hierarchy process. *Eur J Oper Res*, 7(2), 159–172
- Saaty T. L., 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw.
- Sakulrat J., Yuen S.T.S., Joseph J.B., 2003. Municipal solid waste management in Thailand: the current situation and possible short-term changes. in Ninth International waste management and Landfill Symposium. 6-10 October 2003, Cagliari, Italy.
- Salo A., Hämäläinen R. P., 1990. Processing interval judgements in the Analytic Hierarchy Process. Multiple Criteria Decision Making Proceedings of the Ninth International Conference: Theory and Applications in Business, Industry and Government. Springer-Verlag, Fairfax.
- Saoudi B., Chrifi H., 2007. Option de gestion des déchets solides municipaux adaptés aux contextes des pays du sud. Rabat: rapport IAV Hassan II et ENDA Maghreb.
- Sener S., Sener E., Nas B., Karagüzel R., 2010. Combining AHPP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30, 2037–2046. 2037–2046.
- Şener S., Şener E., Nas B., 2011. Selection of Landfill Site using GIS and Multicriteria Decision Analysis for Beyşehir Lake Catchment area (Konya, Turkey). *Journal of Engineering Science and Design*, 1(3), 134 – 144.
- Şener S., Şener E., Nas B., Karagüzel R., 2010. Combining AHPP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30, 2037–2046. 2037–2046.
- Sidi OuldAlouéimine, 2006. Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Diss. Limoges, 195 pages.
- Simon H. A., 1960. The New Science of Management Decision. New-York : Harper & Row.
- Stamelos I., Tsoukias A., 2003. Software evaluation problem situations. *European Journal of Operational Research*, 145, 273-286.
- Strunk Jr W, White EB, 1979. The elements of style. 3rd ed. New York: Macmillan.
- Tahraoui Douma N., Matejka G., Chambon S., Touil D., 2012. Composition of Municipal Solid Waste (MSW) generated by the city of Chlef (Algeria), *Energy Procedia*, 18, 762- 771.

- Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil Samuel A., 1993. *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Services, 978 pages.
- Temgoua E., Ngnikam E., 2014. Valorisation des ordures ménagères par compostage dans la ville de Dschang, Cameroun, *TROPICULTURA*, 32, 1, 28-36
- Thonart P., Sory D., 2005. Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites D'enfouissement techniques dans les pays du sud. Collection points de repère, OIF, 121 pages.
- Topanou N., 2012. Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin): Caractérisation et essais de valorisation par compostage. Thèse cotutelle pour l'obtention d'un grade Docteur à l'université d'Aix Marseille et l'université d'Abomey-Calavi, 194 pages.
- Topanou N., Domeizel M., Fatombi J., Josse R.G., Aminou T., 2011. Characterization of household solid waste in the town of Abomey - Calavi in Benin, *Journal of Environmental and Protection* 2, pp 669-676.
- Van der Geer J, Hanraads JAJ, Lupton RA, 2000. The art of writing a scientific article. *J Sci Commun*, 163:51–9.
- Vincke P., 1992. Développements théoriques de l'aide multicritère à la décision. Paper session presented at Congrès Italien de Recherche Opérationnelle, Italie.
- Von Blottnitz H., Pehlken A., et Pretz T., 2001. The description of solid wastes by particle mass instead of particle size distributions. *Resources, Conservation and Recycling*, 34, 193-207.
- Wang R., Korboulewsky N., Prudent P., Domeizel M., Rolando C., Bonin G. 2010, Feasibility of using an organic substrate in a wetland system treating sewage sludge: Impact of plant species, *Bioresource Technology* 101, pp. 51–57.
- Wavrer P., Jourdan B., Courbet S., 2009. Sampling and characterization of household waste: recent developments, *Environment and technique*, (FRA).nov. 2009.-pp. 28-32.
- Wei Y-S., Fan Y.B., Wang M-J et Wang J-S., 2000. Composting and compost application in China, *Resources, Conservation and Recycling* 30 (2000) 277 – 300.
- Wicker A., 2000. *Statistiques pour la politique de l'environnement*, chapitre 22, 27-28 novembre, Munich, 12 pages.
- Wilson D., Whiteman A., Tormin A., 2001. *Strategic Planning Guide For Municipal Solid Wastes management; The International Bank for Reconstruction and Development /The World Bank, Version 2.*
- Yang S., Danrui S., Jan A., Gong Y., Jian Z., Jianjun C., 2017. Effect of Land Use Change on Soil Carbon Storage over the Last 40 Years in the Shi Yang River Basin, China. *Land* 2018, 7, 11, 3-9.
- Yé L., 2007. Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agriculture urbaine et périurbaine : cas de Bobo-Dioulasso, mémoire de DEA. Université Polytechnique de Bobo- Dioulasso (Burkina Faso), 48p.
- Yjjou M., Bouabid R., Elhmaïdi A. et Essahlaoui A., 2014. Modélisation de l'érosion hydrique via les SIG et l'équation universelle des pertes du sol au niveau du bassin versant de l'Oum Er-Rbia. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 3, 8, 83-91.
- Youb O., Youb A., Bouabdessalam H., 2014. Municipal waste management in the Algerian High Plateaus, *Energy Procedia*, 50, 662- 669.
- Youcai Z., Lijie S., et Guojian L., 2002. Chemical stabilization of MSW incinerator fly ashes; *Journal of Hazardous Materials* B95 47–63.
- Youcai Z., Stucki S., Ludwig C., Wochele J., 2004. Impact of moisture on volatility of heavy metals in municipal solid waste incinerated in a laboratory scale simulated incinerator; *Waste Management*, Article In Press; 7 pages.
- Zaïri M., Ferchichi M., Ismaïl A., Jenayeh M. et Hammami H., 2004. Rehabilitation of Yahoudia dumping site, Tunisia, *Waste Management*, 24, 1023 – 1034.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE DE CARACTERISATION DE GESTION DES DECHETS (MAI- NOVEMBRE 2016)

Date de réalisation de la caractérisation :

Nom de la Commune:

Nom de l'enquêteur : Driss ELHAMDOUNI (Doctorant)

Population actuelle du centre urbain :

→ Caractérisation de la collecte et de nettoyage

- Type de gestion :
 1. Collecte :
 2. Nettoyement :
- Cadence de collecte et nettoyage :
- Taux de collecte :
- Origine des déchets :
- Tonnage des déchets par jour :
- Personnel de nettoyage:

Fonction	Nombre
Balayeurs	
Ramasseurs	
Chauffeurs	
Cadre de suivi et de surveillance	
Chefs d'équipes	
Cadre administratif	

- Matériel de collecte et de nettoyage:

Véhicule (BT, CB, MB...etc)	Capacité (m ³)	Nombre
Benne tasseuse (BT)		
Camion à benne (CB)		
Benne satellite (BS)		
Multi benne (MB)		
1 Balayeur mécanique		
Charrette		
Pick up		

- Coût actuel de la collecte des déchets*

→ Contraintes de gestion des déchets ménagers

→ Synthèse

ANNEXE 2: QUESTIONNAIRE (JUILLET-AOUT 2017)



Docteurant : Driss ELHAMDOUNI

Questionnaire d'une enquête de thèse doctorale

--Enquête sur la gestion des déchets solides ménagers dans la province de Khénifra--

1. Profession	2. Age	3. Ville ou commune

4. Vous êtes :

- Père de la famille
- Mère de la famille
- Autres :

5. Niveau d'étude :

- Non scolarisé
- Primaire
- Secondaire
- Supérieur

6. Type d'habitat

- Appartement
- Maison
- Villa

7. Votre famille est composé de :

.....Adultes.....Enfants

8. qui s'occupe la gestion des déchets dans le foyer ?

- La Mère
- Le Père
- Autre

9. Quand vous sortez votre poubelle ?

- Le Matin
- Le Soir
- Sans précision

10. Combien de fois vous videz votre poubelle ?

- 1fois/j
- 2fois/j
- plus de 2 fois/j

11. Vos déchets vous les mettez dans :

- Bacs des déchets
- La Rue

12. Le bac, s'il existe, le plus proche à votre maison, il est à :

- 20 m
- 100 m
- 200 m
- plus de 200 m

13. Trouvez-vous des problèmes dans le débarrasage des déchets ?

- Oui
- Non

14. les problèmes liés aux déchets

- Bac insuffisant
- Bac inexistant
- Horaire de ramassage
- Gestes incorrects des habitants
- Autres.....

15. Appréciation de la gestion actuelle des déchets

- Mauvaise
- Médiocre
- Passable
- Bonne

16. Savez-vous où vont vos déchets ?

- Oui
- Non
- ça ne m'intéresse pas

17. Trier, pour vous c'est quoi ?

- Séparer les déchets recyclables et non recyclables
- Séparer les déchets humides et secs
- Je ne sais pas.

18. Seriez-vous prêts à faire le tri chez vous ?

- Oui
- Non

19. seriez-vous prêt à payer une taxe pour moderniser la gestion des déchets

- Oui
- Non

20. Suggestions pour une meilleure gestion de la localité :

Nous vous remercions.

ANNEXE 3: QUELQUES PHOTOS CAPTUREES PENDANT LA PERIODE DE RECHERCHE

I. ENQUETE AUPRES DES MENAGES

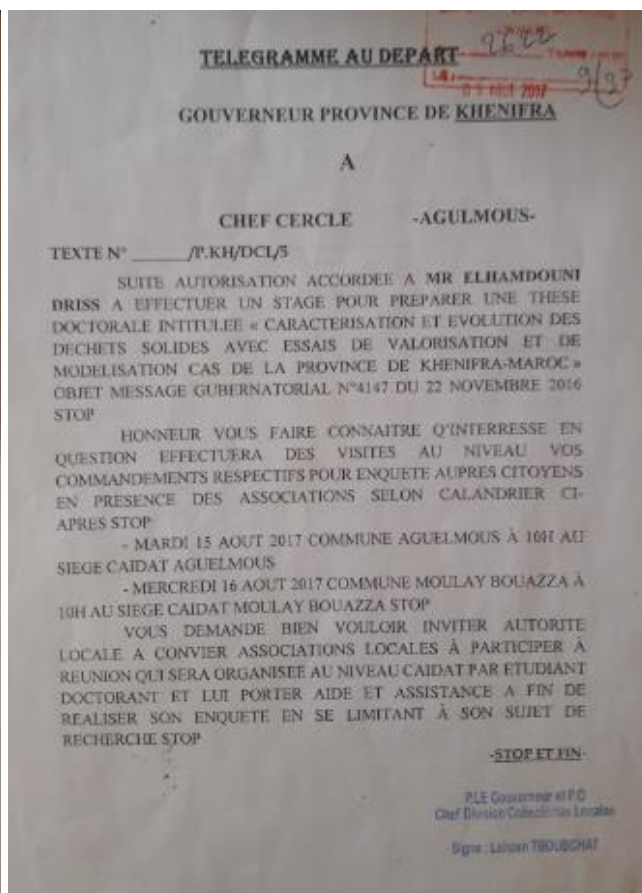
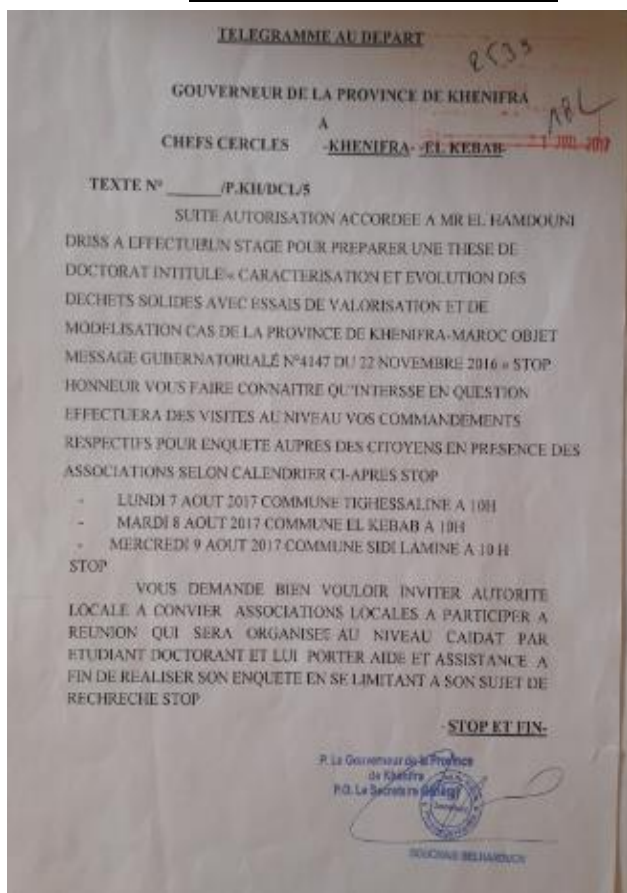


Photo 1 et 2 : Messages pour effectuer des enquêtes auprès les citoyens

II. CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS (MARS- AOUT 2018)



Photo 1: Tamis utilisé dans l'opération de tri



Photo 2 : Mélange et quartage des déchets



Photo 3 : Tamisage des déchets



Photo 4 : Pesage des catégories des déchets



Photo 5: Zone de vidage du camion



Photo 6: Catégorie des déchets

III. ELABORATION DES ESSAIS DU COMPOSTAGE (OCTOBRE 2018-AVRIL 2019)



Photo 1: Fosse du compostage



Photo 2 : Enterrement des déchets organiques



Photo 3: Echantillonnage du compost



Photo 4 : Echantillons du compost extrait des déchets



Photo 5: Récupération de la fraction fine (≤ 2 mm) du compost



Photo 6 : Produit final du compost

IV. EVALUATION DE LA QUALITE DU COMPOST EXTRAIT DES DECHETS



Photo 1 et photo 2 : Préparation des échantillons pour les analyses microbiologiques



Photo 3 et 4: Les résultats de l'analyse microbiologique des composts (champignons et bactérie E. coli)



Photo 5 : Réalisation des tests de germination (phytotoxicité)

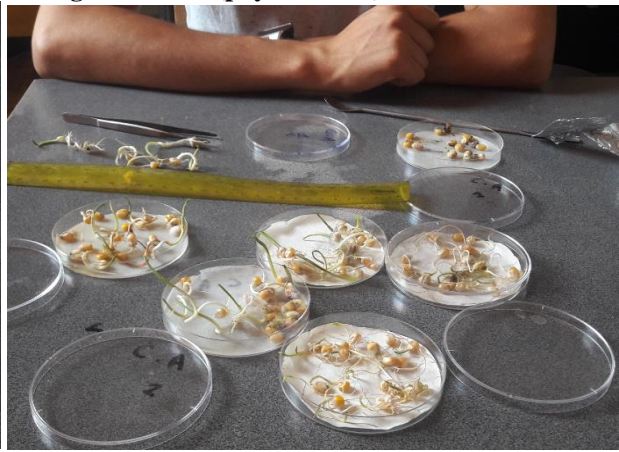
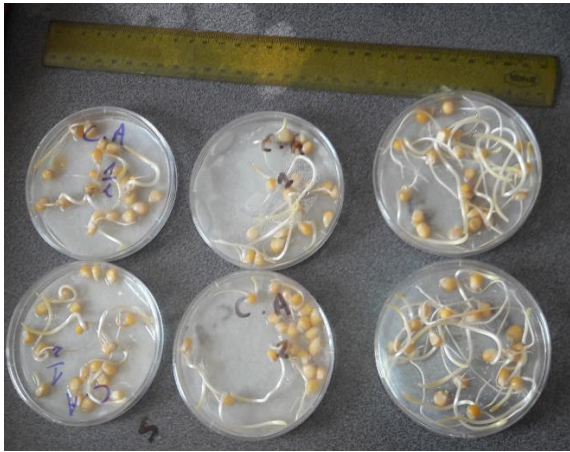


Photo 6 et 7 : Résultats des tests de germination dans les boîtes de Pétrit



Photo 8 et 9 : Mesure de la longueur des racines et des tiges des graines du Maïs