

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	6
A. LES DECHETS SOLIDES AU MAROC: COMPOSITION ET EVOLUTION.....	6
I. LES DECHETS SOLIDES AU MAROC.....	6
II. CADRE JURIDIQUE LIE AU SECTEUR DES DECHETS.....	7
III. GESTION DES DECHETS SOLIDES AU MAROC.....	8
1. <i>Collecte et transfert</i>	8
2. <i>Elimination, Traitement et valorisation des déchets</i>	9
IV. COMPOSITION DES DECHETS MENAGERS AU MAROC.....	10
V. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES DECHETS SOLIDES AU MAROC.....	12
VI. MODE DE GESTION DU SECTEUR DES DECHETS MENAGERS AU MAROC.....	13
VII. GESTION DELEGUEE DES SERVICES DE PROPRES ETES PAR LE SECTEUR PRIVE.....	14
VIII. SECTEUR INFORMEL.....	15
IX. PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DES DECHETS.....	16
X. ACTEURS RESPONSABLES DE LA GESTION DES DECHETS.....	16
B. LES LIXIVIATS.....	18
I. DEFINITION.....	18
II. MECANISMES DE LA GENESE DES LIXIVIATS	18
1. <i>Type des lixiviats</i>	20
2. <i>Facteurs affectant la composition des lixiviats</i>	21
3. <i>Composition et évolution de la qualité des lixiviats</i>	21
III. CARACTERISTIQUES DES LIXIVIATS AU MAROC.....	23
IV. IMPACT DES LIXIVIATS SUR L'HOMME ET SUR L'ENVIRONNEMENT	24
V. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS	25
1. <i>Traitement biologique</i>	26
2. <i>L'osmose inverse</i>	26
3. <i>Traitement par UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)</i>	27
C. CONCLUSION.....	27
CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS DE KASBA TADLA	29
A. INTRODUCTION.....	29
B. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	29
I. LOCALISATION DE LA VILLE DE KASBA TADLA.....	29
1. <i>Démographie</i>	30
2. <i>Géologie</i>	31
3. <i>Situation géographique</i>	31
4. <i>Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines</i>	31
5. <i>Température moyenne à l'ombre quotidienne de Kasba Tadla</i>	32
6. <i>Humidité moyenne au quotidien en (%)</i>	33
7. <i>Les précipitations en (mm)</i>	34
8. <i>Le vent en (m/s)</i>	34
C. CARACTERISATION DES DECHETS MENAGERS DE LA VILLE DE KASBA TADLA	35
I. EVOLUTION DU TONNAGE DES DECHETS MENAGERS A LA VILLE DE KASBA TADLA.....	36
II. DETERMINATION DE L'HUMIDITE DES DECHETS MENAGERS DE LA ZONE D'ETUDE.....	37

<i>Méthodologie</i>	37
<i>Présentation des résultats</i>	37
III. CARACTERISATION DES DM DE LA VILLE DE KASBA TADLA	38
1. <i>Echantillonnage, lieux et temps de prélèvement</i>	38
1.1. Modes d'échantillonnage	38
1.2. Poids de l'échantillon des déchets à trier	38
1.3. Tri et composition des déchets urbains	40
2. <i>Résultats du tri</i>	42
3. <i>Degré d'engagement des citoyens à l'opération du tri à la source</i>	43
3.1. Résultat de l'enquête préliminaire de tri à la source en 2014	43
3.2. Comparaison des résultats de l'enquête après sensibilisation des citoyens en 2015	47
D. RECUPERATION INFORMELLE	51
I. MODES DE RECUPERATION	51
1. ENQUETE SUR LA MATIERE RECUPERABLE A LA DECHARGE SAUVAGE DE LA VILLE DE KASBA TADLA	51
E. MODE DE GESTION DU SECTEUR DES DM A LA VILLE DE KASBA TADLA ET TAUX DE SATISFACTION CLIENT	52
I. PRESENTATION SYNTHETIQUE DE LA SOCIETE DE GESTION DES DM	53
II. DEFINITION DES PRESTATIONS CONTRACTUELLES A L'EXPLOITATION DE KASBA TADLA	54
1. <i>Plan d'amélioration et d'optimisation de la collecte des DM et du nettoyage</i>	54
2. PROCEDURES DE SUIVI ET DE GESTION DE L'EXPLOITATION	55
III. BILAN DES MOYENS HUMAINS	55
IV. SERVICE DE COLLECTE	56
1. <i>Moyens matériels utilisés dans la collecte à Kasba Tadla</i>	57
2. <i>Définition des objectifs de la collecte</i>	57
3. <i>Taux de collecte des déchets ménagers à Kasba Tadla</i>	58
V. SERVICE DE NETTOIEMENT ET BALAYAGE	58
1. <i>Balayage mécanique</i>	59
2. <i>Balayage manuel</i>	59
3. <i>Campagnes de sensibilisations</i>	59
4. <i>Interventions spéciales de la société au sein de l'exploitation de KASBA TADLA</i>	60
VI. TAUX DE SATISFACTION CLIENT	60
1. <i>Taux de satisfaction des habitants de Kasba Tadla</i>	62
2. <i>La réception de l'entretien de gestion des déchets ménagers par l'encadrement communal de Kasba Tadla</i>	65
F. CONCLUSION	66
CHAPITRE III : ESSAIS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR UASB	68
A. INTRODUCTION	68
I. CARACTERISTIQUES DES LIXIVIATS DE TRANSPORT DES DM DU TRANSPORT DE LA VILLE DE KASBA TADLA	68
1. <i>Procédure d'échantillonnage des lixiviats</i>	68
II. L'ANALYSE DES LIXIVIATS ET MESURE DES PARAMETRES DE POLLUTION	69
1. <i>La conductivité électrique</i>	69
2. <i>Mesure des matières en suspension (MES)</i>	70
3. <i>Mesure de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)</i>	71
4. <i>Extraction de la matière grasse contenue dans les lixiviats</i>	72
III. SUIVI DE LA PRODUCTION DES LIXIVIATS DES DM DE LA VILLE DE KASBA TADLA	73
B. TECHNIQUE DE TRAITEMENT PAR UASB	74
I. MISE AU POINT DU PROTOCOL EXPERIMENTAL	74
II. TRAITEMENT DES LIXIVIATS DE TRANSPORT DES DM PAR UASB EN MODE STATIQUE (BATCH)	75
1. <i>Suivi de la qualité des lixiviats des DM au cours du traitement par UASB durant la période hivernale</i>	75
2. <i>Traitement des lixiviats des DM par UASB pendant la période estivale</i>	78

III.	TRAITEMENT DES LIXIVIATS DES DM PAR UASB EN MODE DYNAMIQUE AVEC DIFFERENTS TSH	79
1.	<i>Traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 48h</i>	80
2.	<i>Traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 24h</i>	80
3.	<i>Traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 12h</i>	82
IV.	SUIVI DE LA PRODUCTION DE GAZ PENDANT LE TRAITEMENT PAR UASB	83
C.	CONCLUSION.....	86
CHAPITRE IV : ESSAIS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR EVAPORATION FORCEE		87
A.	INTRODUCTION.....	87
B.	TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR EVAPORATION FORCEE	88
I.	DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL UTILISE.	88
II.	EFFET DE SURELEVATION SUR L'EVAPORATION DES LIXIVIATS DANS DES BACS TRADITIONNELS	90
III.	EFFET DE LA COUVERTURE VITREE HORIZONTALE SUR L'EVAPORATION DES LIXIVIATS	95
IV.	EFFET DE LA COUVERTURE VITREE INCLINEE AVEC AGITATION ET VENTILATION SUR L'EVAPORATION DES LIXIVIATS	99
V.	EVAPORATION DES LIXIVIATS DANS UN DISPOSITIF EXPERIMENTAL ALIMENTE PAR DE L'ENERGIE SOLAIRE	103
C.	CONCLUSION.....	104
CONCLUSION GENERALE		106
PERSPECTIVES		110
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		111
ANNEXES.....		124
PLANCHES		136

Liste des tableaux

TABEAU 1: COMPARAISON DES DECHETS AU MAROC PAR RAPPORT A LA TUNISIE, LA FRANCE, ET LES ÉTATS-UNIS	10
TABEAU 2: EVOLUTION DE LA COMPOSITION DES DECHETS MENAGERS AU MAROC	11
TABEAU 3: COMPOSITION DES DECHETS MENAGERS DANS CERTAINS CENTRES URBAINS (%).....	11
TABEAU 4: EVOLUTION FUTURE DE LA PRODUCTION DES DECHETS MENAGERS AU MAROC.....	12
TABEAU 5: VARIATION DES PARAMETRES ON FONCTION DE L'AGE DE LIXIVIAT	22
TABEAU 6: CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DU LIXIVIAT DE LA DECHARGE D'AKREUCH	23
TABEAU 7: EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE KASBA TADLA A PARTIR DE 2009 AU 2015	31
TABEAU 8: CORDONNEE GEOGRAPHIQUES DE LA VILLE DE KASBA TADLA	31
TABEAU 9: EVOLUTION DES DECHETS MENAGERS DURANT LA PERIODE ENTRE 2009 ET 2015 DE LA VILLE DE KASBA TADLA	37
TABEAU 10: DETERMINATION DE L'HUMIDITE DES DECHETS MENAGERS DE LA VILLE DE KASBA TADLA	37
TABEAU 11: COMPOSITION DES DECHETS MENAGERS DE LA VILLE DE KASBA TADLA ENTRE 2011 ET 2013	42
TABEAU 12: PRIX DES DIFFERENTS ELEMENTS RECUPERABLES	52
TABEAU 13: LES VALEURS DE PH DES LIXIVIATS DES DM DE KT	69
TABEAU 14 : SUIVI DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES LIXIVIATS DES DM DE KT	69
TABEAU 15: LES VALEURS DE LA MES DES LIXIVIATS DE KT	71
TABEAU 16: VALEURS DE LA DCO DES LIXIVIATS DE KT	72
TABEAU 17: LA TENEUR DE LIXIVIAT EN MATIERE GRASSE	72
TABEAU 18: EVOLUTION DES QUANTITES DES LIXIVIATS PRODUITES MENSUELLEMENT DURANT LES ANNEES 2013/2014	73
TABEAU 19: RESULTAT D'ANALYSE DES LIXIVIAT AVANT TRAITEMENT.....	80
TABEAU 20: RESULTAT D'ANALYSE DES LIXIVIAT APRES TRAITEMENT	80
TABEAU 21: RESULTAT D'ANALYSE DES LIXIVIAT AVANT TRAITEMENT.....	81
TABEAU 22: RESULTAT D'ANALYSE DES LIXIVIAT APRES TRAITEMENT	81
TABEAU 23: RESULTAT D'ANALYSE DES LIXIVIAT AVANT TRAITEMENT.....	82
TABEAU 24: RESULTAT D'ANALYSE DES LIXIVIAT APRES TRAITEMENT	82
TABEAU 25: RESULTAT DU SUIVI DU VOLUME DE LIXIVIAT EVAPORE AU BAC AU SOL (A) ET CELUI SURELEVE (B) EN HIVER EN LITRE (L)	90
TABEAU 26: SUIVI D'EVAPORATION NATURELLE DES LIXIVIATS ET EFFET DE SURELEVATION EN ETE	93
TABEAU 27: RESULTATS D'EVAPORATION DES BACS A VITRE	95
TABEAU 28: EFFET DES PLAQUES DE VITRES ET TAUX D'EVAPORATION DES LIXIVIATS EN ETE	97
TABEAU 29: SUIVI D'EVAPORATION DES LIXIVIATS SOUS PLAQUE DE VERRE INCLINEE AVEC AGITATION ET VENTILATION EN HIVER.....	99
TABEAU 30: RESULTATS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR EVAPORATION DURANT LA PERIODE ESTIVALE	101
TABEAU 31: RESULTATS D'EVAPORATION DES LIXIVIATS APRES SUBSTITUTION DE L'ENERGIE SOLAIRE PAR L'ENERGIE ELECTRIQUE ..	103
TABEAU 32: EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES JOURNALIERES DURANT LA PERIODE ENTRE NOVEMBRE 2013 ET OCTOBRE 2014 (STATION DE KASBA TADLA)	132
TABEAU 33: HUMIDITE MOYENNE JOURNALIERE DE LA VILLE DE KASBA TADLA DURANT LA PERIODE ENTRE NOVEMBRE 2013 ET OCTOBRE 2014	132
TABEAU 34: L'EVOLUTION DES PRECIPITATIONS JOURNALIERE DE LA VILLE DE KASBA TADLA DURANT LA PERIODE DE NOVEMBRE 2013 ET OCTOBRE 2014	133
TABEAU 35: EVOLUTION DE LA FORCE DU VENT MAXIMALE INSTANTANEE QUOTIDIENNE EN (M/S) A LA VILLE DE KASBA TADLA DURANT LA PERIODE ENTRE LE MOIS DE MARS 2014 ET OCTOBRE 2014	134
TABEAU 36: ALLURE DE DIRECTION DU VENT MAXIMALE QUOTIDIENNE -EN ROSE DE 36- A LA VILLE DE KASBA TADLA DURANT LA PERIODE ENTRE LE MOIS DE MARS 2014 ET OCTOBRE 2014.....	135

Liste des figures

FIGURE 1: SCHEMA PRESENTANT LES MECANISMES DE LA GENESE DES LIXIVIATS (<i>FARQUHAR, 1989</i>).....	19
FIGURE 2: LOCALISATION DE LA VILLE DE KASBA TADLA.....	30
FIGURE 3: EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES A L'OMBRE DURANT LA PERIODE ENTRE NOVEMBRE 2013 ET OCTOBRE 2014	32
FIGURE 4: EVOLUTION DE L'HUMIDITE MOYENNE MENSUELLE DE LA VILLE DE KASBA TADLA DURANT LA PERIODE DE NOVEMBRE 2013 ET OCTOBRE 2014.....	33
FIGURE 5: FLUCTUATION DES PRECIPITATIONS TOTALE MENSUELLES MOYENNE DE LA VILLE DE KASBA TADLA EN (MM) DURANT LA PERIODE DE NOVEMBRE 2013 ET OCTOBRE 2014	34
FIGURE 6: EVOLUTION DE LA FORCE DU VENT MAXIMALE INSTANTANEE QUOTIDIENNE EN (M/S) A LA VILLE DE KASBA TADLA DURANT LA PERIODE ENTRE LE MOIS DE MARS 2014 ET OCTOBRE 2014.....	35
FIGURE 7: REPARTITION DE L'AGE DES PERSONNES ENQUETES	44
FIGURE 8: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU NOMBRE DE PERSONNES VIVANT DANS LE FOYER.....	45
FIGURE 9: REPARTITION DES CITOYENS PAR REACTION A LA FACILITE DE L'ACTION DU TRI	45
FIGURE 10: PRINCIPAUX OBSTACLES POUR L'OPERATION DU TRI A LA SOURCE	46
FIGURE 11: REPARTITION DES REPONSES DES CITOYENS VIS-A-VIS DE LA RELATION DES DECHETS ET L'ENVIRONNEMENT.....	47
FIGURE 12: COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DES ENQUETES DE 2014 ET 2015 POUR LA DIFFICULTE QUI PRESENTE LE TRI A LA SOURCE	48
FIGURE 13: COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DES ENQUETES DE 2014 ET 2015 RELATIVES AUX OBSTACLES DU TRI A LA SOURCE.....	49
FIGURE 14: COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DE L'ENQUETE 2014 ET 2015 POUR LA PRISE DE CONSCIENCE DU VOLET ENVIRONNEMENTALE DU TRI A LA SOURCE	50
FIGURE 15: <i>ORGANIGRAMME METHODOLOGIQUE DE LA GESTION D'UNE EXPLOITATION</i>	55
FIGURE 16: TAUX DE SATISFACTION DES CITOYENS VIS-A-VIS DE LA COLLECTE DES DECHETS.....	63
FIGURE 17: POURCENTAGE DE SATISFACTION DES ETABLISSEMENTS, ASSOCIATIONS ET ORGANISMES PAR LES SERVICES DE LA SOCIETE DELEGATAIRE	63
FIGURE 18: POURCENTAGE DE SATISFACTION DE L'EFFECTIF COMMUNAL MIS A DISPOSITION DE LA SOCIETE DELEGATAIRE DE LEURS SERVICES.....	64
FIGURE 19: AVIS DU PERSONNEL AFFECTE A LA SOCIETE DELEGATAIRE DANS L'EXPLOITATION DE KASBA TADLA	65
FIGURE 20: POURCENTAGE DE SATISFACTION DE L'ENCADREMENT COMMUNAL DES SERVICES DE LA SOCIETE DELEGATAIRE	66
FIGURE 21: EVOLUTION DE LA QUANTITE DES LIXIVIATS DE TRANSPORT DURANT LES ANNEES 2013/2014	74
FIGURE 22: SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET DU REACTEUR UASB.....	75
FIGURE 23: EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES LIXIVIATS DURANT LA PERIODE HIVERNALE :	76
FIGURE 24: EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES LIXIVIATS UASB PENDANT LA PERIODE ESTIVALE	78
FIGURE 25: EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU GAZ AU COURS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS DE TRANSPORT PAR UASB AVEC UN TSH DE 48H EXPRIME EN LITRE (L).....	83
FIGURE 26: EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU GAZ AU COURS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR UASB AVEC UN TSH DE 24H EXPRIME EN LITRE (L)	84
FIGURE 27: EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU GAZ AU COURS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR UASB AVEC UN TSH DE 12H EXPRIME EN LITRE (L)	85
FIGURE 28 : EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU BIOGAZ POUR DIFFERENTS TSH	85
FIGURE 29: BACS D'EVAPORATION TRADITIONNELLE AVEC VITRE HORIZONTALE	89
FIGURE 30: BACS D'EVAPORATION FORCEE DES LIXIVIATS PAR AGITATION ET VENTILATION SOUS UNE COUVERTURE DE VITRE INCLINEE	89
FIGURE 31: COMPARAISON DES RESULTATS D'EVAPORATION NATURELLE DES LIXIVIATS A L'AIR LIBRE ET AU NIVEAU DU BAC MIS AU SOL EN HIVER.....	91
FIGURE 32: COMPARAISON DES RESULTATS D'EVAPORATION NATURELLE DES LIXIVIATS A L'AIR LIBRE ET AU NIVEAU DU BAC MIS AU SOL EN ETE.....	94
FIGURE 33: EFFET DES PLAQUES DE VITRE A L'ACCELERATION DE L'EVAPORATION EN HIVER.....	96
FIGURE 34: VALIDATION DE L'IMPORTANCE DES PLAQUES DE VITRE POUR ACCELERER L'EVAPORATION EN ETE	98
FIGURE 35: GOUTTELETTES D'EAU SUR LES PLAQUES DE VERRE HORIZONTALE	99
FIGURE 36: COMPARAISON DES RESULTATS DES TROIS TECHNIQUES D'EVAPORATION A L'AIR LIBRE PENDANT L'HIVER	100

FIGURE 37: VITESSE D'EVAPORATION DES LIXIVIATS PAR DIFFERENTES PROTOCOLE DURANT LA PERIODE ESTIVALE.....	102
FIGURE 38: PROTOCOL EXPERIMENTAL DE SUBSTITUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE PAR L'ENERGIE SOLAIRE PENDANT LE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR EVAPORATION.....	103
FIGURE 39: EVOLUTION D'EVAPORATION DES LIXIVIATS AVEC L'UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE POUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME	104

Glossaire et Abréviation

A : Attentes

ADEME : L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie en France

AF : Acides fulviques,

AFNOR : Association Française de Normalisation

AGV : Acide gras volatil

AH: Acides humiques ;

As: Arsenic

ATSDR: Agency for Toxic Substance and Disease Registry

Be : Béryllium

CET : Centre d'enfouissement technique

CH₄ : Méthane

CNC : combustibles non classés

CO₂ : Dioxyde de carbone

COPC : Conformité de l'offre de service par rapport à la demande client

COT : Carbone organique total

CSD : Centre de Stockage des Déchets

DBO : Demande biochimique en oxygène

DC : Décharge contrôlée

DCO : Demande chimique en oxygène

DM : Déchets ménagers

DM : Disponibilité du matériel

DP : Disponibilité du personnel

DTR : Délai de traitement des réclamations

GES : Gaz à Effet de Serre

INC : inflammables non classés

KT : Kasba Tadla

L : Litre

LPEE : Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes

MES : Matière en suspension

Mg/l : Milligramme par litre

MODECOM : Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères

Nd : Non disponible

ONEP : Office national de l'eau potable

ONG : Organisation non gouvernementale

P : Perceptions

PAP : Porte à porte

PD : Pays développés

PED : Pays en voie de développement

PET : Polyéthylène téréphtalate

PI : Pays industrialisés

PNDM : Programme National de gestion des déchets Ménagers et assimilés

PVC : Polychlorure de vinyle

QMER : Quantité Minimale d'Echantillon Représentatif

QP : Qualité de la prestation

RCS : Respect des consignes de sécurité

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat de 2004

RPC : Résolution des problèmes sur chantier

S.O.S. NDD : Save Our Self Nettoyage dépannage désinfection

Se : Sélénium

SI : Secteur informelle

STEP : Station d'épuration

TSH : Temps de séjours hydraulique

UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Remerciements

Ce projet de thèse a été réalisé en collaboration entre l'équipe de télédétection et SIG appliquées aux Géosciences et à l'environnement, et le Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources de la Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal au Maroc, Université Soultan Moulay Sliman.

Je remercie avec beaucoup de reconnaissance et de considération Monsieur Abderrahmene EL GHMARI, mon Directeur de thèse, pour la confiance qu'il m'a témoignée. Il m'accueille au sein de son laboratoire pendant ces années de recherche, et qui, tout au long du travail, m'a conseillée et orientée, pour son aide, pour sa disponibilité et son conseil très précieux.

Je remercie beaucoup Monsieur Aziz OUATMANE pour son aide et son conseil très important.

Mes plus vifs remerciements vont à Mr Abdehadi MAKAN pour la disponibilité, le soutien et l'aide au cours de toute ma période de thèse

Je remercie profondément Mr, Abdelhalim. BENYOUCEF Professeur à la FST de Beni Mellal de l'Universités de Soultan Moulay Slimane de Beni Mellal pour l'intérêt constant qu'il a porté à ce sujet de recherche. Je souhaiterais ici lui témoigner de ma sincère reconnaissance pour ces aides très précieuses. Aussi j'exprime ma reconnaissance à l'association Lettinga.

J'exprime ma reconnaissance à tous les responsables de la société de SOSndd, pour la confiance qu'ils m'ont témoignée en m'accueillant au sein de leur société pendant ces années de recherche, en m'autorisant à continuer mes études doctorales, ainsi qu'aux présidents et aux membres du conseil municipal de la commune urbaine de la ville de Kasba Tadla pour leurs aides et facilités pour accomplir ce travail.

Mes plus vifs remerciements vont à mon équipe de travail au sein de l'exploitation de Kasba Tadla, pour la disponibilité, le soutien et l'aide au cours de toute ma période de thèse

Je suis très honoré par les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail de thèse. Je les remercie très chaleureusement.

Merci à mes amis et collègues doctorants du laboratoire sans exceptions. Merci à Madame Souad BAATI, Madame Nadia HOUARI et Monsieur Younes LAHBOUB.

Je tiens tout particulièrement à remercier mon mari Salah AROUCH et notre petite fille Amira pour la patience et le soutien moral qu'ils m'ont témoigné durant toute la période de ma thèse.

Enfin, ce travail est dédié en premier lieu à mon cher père et ma chère maman et tous mes frères Fouad, Hicham et Ibrahim et sœurs, Mariam et Khadija, et tous les membres de ma famille sans exception.

Fiche technique

Ce travail fait l'objet de plusieurs articles et communications orales et affichés

Articles publiés :

1. Solid household waste characterization and fresh leachate treatment : Case of Kasba Tadla city, Morocco
2. Essai de traitement des lixiviats par UASB : cas de la ville de Kasba Tadla
3. Problématique des lixiviats des déchets ménagers et traitement par UASB : cas de la ville de Kasba Tadla
4. Optimized evaporation technique for leachate treatment : Small scalen Implementation
5. Etude expérimentale du traitement par évaporation forcée des lixiviats des déchets ménagers. Cas de la ville de Kasba Tadla

Communications orales et affichés

1. Valorisation des déchets ménagers par Tri à la source pour une gestion durable
2. Problématique des déchets ménagers à la ville de Kasba Tadla et taux de satisfaction client
3. Gestion des déchets solides à la ville de Kasba Tadla : problématique et approche de développement
4. Le rôle de la communication environnementale au Maroc dans la gestion des déchets ménagers
5. Gestion et valorisation des déchets solides : cas de la ville de Kasba Tadla
6. Environmental communication a new strategic tool for sustainable development
7. Test processing by UASB leachate
8. Valorisation des lixiviats par traitement anaérobiques : réacteur UASB et production du biogaz
9. Test processing by UASB leachate
10. Problématique des lixiviats et traitement par uasb (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) : Cas de la ville de Kasba Tadla

11. Essai de traitement des lixiviats par UASB
12. Traitement des lixiviats par UASB : cas de la ville de Kasba Tadla
13. Traitement des lixiviats par UASB et production du biogaz
14. Production du biogaz par la valorisation des lixiviats des déchets solides
15. Gestion des déchets solides et traitement des lixiviats par réacteur anaérobie : UASB
16. Technique de traitement de lixiviats par évaporation forcée : cas de la ville de Kasba Tadla
17. Valorisation des Déchets Solides et Traitement des Lixiviats par Evaporation Forcée :
Cas de la ville de Kasba Tadla

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, en raison de l'accroissement démographique, de l'expansion industrielle et du développement de l'agriculture, l'environnement a subi une très forte dégradation due essentiellement aux rejets domestiques et industriels, à l'utilisation des engrais et des pesticides et aux produits chimiques qui y sont déversés. En effet, les déchets ménagers peuvent être considérés comme l'un des plus importants rejets au Maroc. Ils engendrent, en plus de la fraction solide, de grandes quantités des rejets liquides. Ces rejets liquides appelés 'lixiviat' ont une forte charge organique et contiennent des quantités importantes de composés chimiques complexes qui sont difficiles à dégrader.

La gestion des déchets ménagers à travers la collecte de tous les déchets générés, la récupération de la fraction recyclable et la valorisation agronomique de la fraction organique devra aider à améliorer la propreté urbaine tout en apportant une valeur économique ajoutée à la mise en place d'une gestion durable de ces déchets. En général, la collecte et l'élimination des déchets dans les pays en développement (PED) sont devenues des problèmes que tous les acteurs locaux institutionnels n'arrivent pas à résoudre d'une manière définitive. Les tentatives de solutions proposées ou des solutions en cours d'exécution ne se limitent qu'à l'enfouissement ou au remblaiement des déchets dans des bas-fonds aux périphéries des villes, ce qui a pour conséquence un développement important des décharges sauvages. Même si les derniers accords sur le changement climatique ont montré que les PED contribuent peu au réchauffement climatique, ces pays peuvent contribuer à réduire l'évolution globale du réchauffement, ne serait-ce que par la réduction du biogaz produit par les déchets stockés, par le compostage de la fraction biodégradable.

Au Maroc, les déchets collectés sont éliminés dans des décharges sauvages ou par enfouissement ; mais en règle générale, l'élimination finale des déchets n'est pas satisfaisante sur le plan hygiénique et environnemental. En effet, sur 150 décharges ayant fait l'objet d'une étude de la Direction Général de l'Hydraulique, seulement 20% sont situées sur des sols non vulnérables (*SECE, 2003*). De manière, le traitement des déchets ménagers (DM) au Maroc reste très peu développé. Face à cette problématique, les municipalités et les élus locaux disposent de peu d'informations et d'expériences sur les modes existants d'élimination des

déchets ménagers, ce à quoi s'ajoutent des difficultés à réunir des moyens financiers pour un investissement dans des infrastructures modernes très coûteuses.

Les principaux défis auxquels les autorités marocaines devraient faire face pour résoudre les problèmes environnemental, social et économique de la gestion des DM peuvent être classés comme suit :

- Amélioration du cadre juridique, réglementaire et institutionnel des DM pour une gouvernance efficace ;
- Efficacité des coûts des services de gestion de DM à court, moyen et surtout à long terme ;
- Introduction des directives sociales et environnementales à l'égard de la planification, la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes et des services de DM.

Afin de réformer le secteur de la gestion des DM, le gouvernement marocain a récemment pris deux initiatives importantes en vue de cet objectif. La première initiative est la promulgation de la première loi sur les déchets solide 28-00 tandis que la seconde est le développement d'un programme national de 15 ans des déchets solides (PNDM) (*Dahir n°1 – 06 – 153,2006*).

Les techniques de traitement des DM sont très diverses mais tenant compte de la composition des déchets ménagers au Maroc, qui se caractérise par une fraction qui dépassent 70% de la matière organique, la technique la plus adaptable reste celle du compostage (*Tabet Aoul., 2001, Hwang et al, 2012*). En effet, le compostage est une technique qui permet de valoriser la fraction fermentescible des déchets ménagers et le retour au sol d'une matière organique stabilisée. Cette technique biologique constitue une voie de valorisation matière qui limite le recours au stockage et à l'incinération. Les procédés de compostage, dans leur diversité, ont comme finalité la production d'un compost de qualité même à partir de déchets ménagers hétérogènes.

La gestion des déchets ménagers, ne peut se faire sans la prise en charge des lixiviats produits au niveau du transport ou dans la décharge. Les lixiviats des déchets ménagers et assimilés sont généralement des effluents très chargés en matière organique plus au moins biodégradable, en sels et en divers polluants organiques et inorganiques (*Souabi et al, 2011*). La production des lixiviats varie selon la composition et les caractéristiques des déchets ménagers en particulier leur teneur en matière organique et en humidité. La composition physicochimique et biologique de ces effluents est par contre étroitement liée à la nature des déchets ménagers et à la présence d'autres fractions polluées (*Kaschl et al, 2002, Trebouet et*

al, 1998, Nur Shaylinda, 2012, Renou *et al*, 2008, Del Borghi *et al*, 2003). Plusieurs techniques sont aujourd'hui considérées comme potentiellement efficaces pour la dépollution et le traitement des lixiviats et sont appliquée à une échelle industrielle (*Foresti*, 2001) *et* (*Christophe*., 2014). Les plus utilisées sont basées sur des traitements biologiques anaérobies, physicochimiques, l'osmose inverse et les techniques membranaires et plus particulièrement la nano-filtration couplée ou non au traitement biologique (*Yamasaki et al*, 1996, *Khattabi et al*, 2002 *et Ta'nia. Et al*, 2013).

Au Maroc, les solutions techniques de dépollution des lixiviats ayant été expérimentées par certaines communes sont limitées à la recirculation des lixiviats sur les casiers d'enfouissement, et la dépollution par voie biologique dans des bassins aérés et l'osmose inverse. Toutes ces techniques se sont avérées inefficaces. Les rendements épuratoires du traitement biologiques sont en effet trop bas et la recirculation a entraîné des résultats plutôt négatifs avec la production de lixiviats de plus en plus concentrés en sels et en DCO dure (*Del Borghi et al*, 2003, *Christophe*., 2014 *et Di palma et al*, 2002).

La présente thèse a pour objectif d'étudier la possibilité de traitement des lixiviats. En effet deux techniques de traitement ont été étudiés. La technique de l'UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) et l'évaporation forcée. Le choix de l'UASB est motivé par les conditions climatiques de la ville objet de cette étude où la saison chaude dure plus de 8 mois avec des températures qui dépassent 10 °C. Ces conditions sont considérées comme très favorables au traitement biologie anaérobie par UASB. (*Zeeman and Lettinga*, 1999, *Lettinga et al*, 1980 *et Seghezze*, 2004). Ce choix est également justifié à la fois par la rusticité de l'UASB et par son coût relativement bas, ce qui pourrait en faire une alternative pour de nombreuses petites et moyennes communes marocaines. En plus de la technique de l'UASB, nous avons testé la technique de traitement des lixiviats par évaporation forcée. Nous avons défini dans un premier temps des conditions opératoires appropriées pour différents modes d'évaporations et leurs rendements.

Le présent travail constitue l'une des premières études qui s'intéresse à la gestion et la valorisation des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla ainsi que le traitement de lixiviat par UASB et par évaporation forcée. Il comprend quatre chapitres :

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Le premier chapitre, constitue une revue bibliographique de la problématique des déchets ménagers au Maroc et aux PED. On mettra l'accent sur les modes de gestion, la caractérisation et la valorisation de ces rejets. Ensuite, un aperçu sur les avantages et les inconvénients des techniques de traitement des déchets est discuté pour mettre en exergue les techniques de traitement les plus adéquates pour chaque catégorie de déchets. Finalement, la genèse des lixiviats, leur composition physico-chimique et leurs techniques de traitements ainsi que leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine, sont discutés.

Chapitre II : Diagnostic de la gestion des déchets ménagers de Kasba Tadla

Ce chapitre est reparté en deux parties. La première partie s'intéresse à la caractérisation des déchets générés dans la ville de KASBA TADLA. En effet, une base de données sur le gisement et la composition physico-chimique des déchets. Des études complémentaires sur la faisabilité du tri à la source ont été effectuées.

La deuxième partie a été consacrée au diagnostic de la gestion des DM en suivant les prestations réalisées par la société délégataire des services de propreté, la collecte des déchets ménagers et assimilés et le transport vers la décharge sauvage de la ville. Et une enquête a été réalisée dans ce sens pour savoir le taux de satisfaction des clients, des citoyens et les administrations pour le diagnostic des déchets ménagers à l'exploitation de KASBA TADLA.

Chapitre III : Essais de traitement des lixiviats par UASB

Ce chapitre est consacré aux essais expérimentaux pour le traitement des lixiviats par UASB. En effet, dans un premier temps, les protocoles expérimentaux ont été mis en place et les pilotes des essais ont été construits et testés in-situ. Ainsi, nous avons aménagé une station sur place pour UASB. Les essais expérimentaux ont été effectués sur un temps compté des variations climatiques saison été et saison hiver et en fonction des différentes charges polluantes et (TSH).

Chapitre VI : Essais de traitement des lixiviats par évaporation forcée

Des essais expérimentaux pour le traitement des lixiviats par évaporation forcée ont été réalisés au cours de ce chapitre. En effet, les protocoles expérimentaux ont été mis en place et les pilotes des essais ont été construits et testés in-situ sous forme des bacs

d'évaporation pour les différentes techniques de traitement. Les essais expérimentaux ont été effectués sous des conditions climatiques variables en saison été et saison hiver et en fonction des paramètres affectant le pouvoir épuratoire.

Enfin, une synthèse globale a été élaborée d'après les résultats obtenus afin de tirer les conclusions nécessaires et de renseigner sur une éventuelle gravité de pollution ou nature du danger qui pourrait menacer l'environnement et la santé humain par ces rejets, et donc la nécessité de traitement avec des techniques adéquate et moins couteuses est qui enregistrent une très grande efficacité du traitement avant de les jetés dans le milieu naturel.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Synthèse bibliographique

A. Les déchets solides au Maroc: composition et évolution

I. Les déchets solides au Maroc

Au Maroc, la production des déchets ménagers en 2013 a atteint une valeur de 6,852 millions de tonnes (*D.E. 1999 et RMHC, 2016*). Cette forte croissance est liée essentiellement à l'accélération du processus d'urbanisation, à l'amélioration du niveau de vie, à la modification des modes de vie des habitants, et à l'extension des activités touristiques et industrielles.

Sur le plan spatial, la production des déchets est fortement concentrée dans les régions de Rabat-Salé- Kenitra et Casablanca-Settat. Ceci est dû essentiellement à leur forte concentration démographique (21% de la population urbaine nationale), et à la localisation des principales activités industrielles (plus de 50% de la production industrielle) (*RMHC, 2016*). En ce qui concerne les déclarations sur les déchets ménagers marocains, près de 70% des déchets municipaux sont produits dans le milieu urbain, soit l'équivalent de 4,5 millions tonnes/an. Cette quantité correspond à une moyenne par habitant de l'ordre de 0,75 kg/ jour contre 0,3 kg/jour dans le milieu rural (*RMHC, 2016 et Cointreau, 2006*).

Pour une meilleure gestion, les déchets doivent être inventoriés et classés, en fonction de leur nature et de leur provenance. On peut classer les déchets solides du Maroc en trois grandes catégories, déchets ménagers, déchets médicaux, déchets industriels (*PGPE, 2008*).

Selon la loi marocain (*Loi 28-00*), un déchet est défini comme " Tout résidu 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 et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement (*Article 1 de la loi du 15 juillet 1975 (n° 75-633)*).

En matière de gestion, le mot déchet peut être défini de différentes manières selon le type de considération. Dans la littérature, quatre définitions sont proposées : une économique, une juridique, une matérielle et une environnementale (*Sané., 2002*). Parmi celles-ci, André et

al. (1997) retiennent les deux premières définitions qui mettent en exergue la valeur économique du déchet et l'enjeu juridique qui cadre sa gestion future (Aloueimine, 2006).

Les déchets médicaux au Maroc, comprennent tous les déchets produits lors d'activités de soins ou de diagnostic. Ils sont repartis en deux catégories. Les déchets assimilés au DM et les déchets dangereux. Ces déchets ménagers peuvent suivre la même filière de recyclage, de ramassage et de traitement que les déchets urbains de la communauté, ils représentent environ 75%, d'autres représentent 10 à 25 % sont appelés déchets médicaux dangereux ou déchets spéciaux. Ces déchets représentent des risques pour la santé. Ils peuvent être divisés en plusieurs catégories suivant les risques qu'ils représentent. Ils sont collectés et traités de manière adéquate pour éviter tous impacts (CICR, 2011).

II. Cadre juridique lié au secteur des déchets

La question des déchets ménagers fait l'objet, depuis les années 1990, d'une attention croissante qui s'est traduite par l'adoption de lois et de directives par le parlement marocain pour une amélioration et organisation du secteur des DM. En particulier, cette réglementation a hiérarchisé les mesures nécessaires pour assurer la valorisation et l'élimination des déchets ménagers. La législation nationale et européenne sur les déchets s'articule autour de l'objectif de réduction des déchets à la source, des principes de proximité, de transparence et de planification, de la promotion du compostage, du recyclage, de l'encadrement et de l'enfouissement où seuls les déchets ultimes devraient être enfouis (CE, 2014).

La loi 28-00 relative à la gestion des déchets solides a pour objet de prévenir et de protéger la santé de l'homme, la faune, la flore, les eaux, l'air, le sol, les écosystèmes, les sites et paysages et l'environnement en général contre les effets nocifs des déchets (Dahir n° 1-06-153 du 30 Chaoual, 2006).

La loi 11-03 relative à la protection et la mise en valeur de l'environnement a pour objet d'édicter les règles de base et les principes généraux de la politique nationale dans le domaine de la protection et de la mise en valeur de l'environnement (Loi n° 11-03, 2003).

La loi 12-03 relative aux études d'impacts sur l'environnement permettant d'évaluer les effets directs ou indirects pouvant atteindre l'environnement à court, moyen et long terme suite à la réalisation de projets économiques et de développement et à la mise en place des infrastructures de base et de déterminer des mesures pour supprimer, atténuer ou compenser les impacts négatifs et d'améliorer les effets positifs du projet sur l'environnement (Loi n° 12-03, 2003).

III. Gestion des déchets solides au Maroc

1. Collecte et transfert

Au Maroc, la collecte des déchets est rarement performante, à l'exception de certains quartiers privilégiés. Le taux de collecte varie généralement de 70% à 100%, mais il est beaucoup plus faible dans les quartiers populaires (*Zahrani, 2006*). Dans ces cas, il n'est pas rare d'observer les habitants déposant leurs ordures dans les drains et les caniveaux ou dans les terrains vagues, provoquant ainsi l'obstruction des canalisations ou la création des dépôts sauvages et des points noirs. En raison de l'hétérogénéité des espaces urbains, les systèmes de collecte varient du porte-à-porte ou par conteneurisation. Les engins de collecte utilisés par les communes pour le ramassage des ordures ménagères sont très variés : camions, bennes tasseuses, benne satellites, benne type Paris et tracs (*DGCL, 1991*). Le système de ramassage par des bennes tasseuses n'est possible que dans les quartiers où ces véhicules peuvent accéder sans problèmes, pour le reste, la collecte se fait par porte à porte. D'une façon générale, le balayage, qui est le plus souvent manuel avec sceau et balai, n'est pas clairement distingué des activités de collecte proprement dite : les ouvriers chargés du ramassage des ordures passent une partie de leur temps à nettoyer les déchets autour des conteneurs, tandis que les employés chargés du balayage sont chargés de nettoyage des principaux boulevards transvasent occasionnellement les ordures dans des poubelles.

La collecte et le transfert constituent la partie la plus visible du système de gestion des déchets solides pour la population en milieu urbain. Ils absorbent une part considérable des budgets municipaux. Dans les pays industrialisés, les frais de collecte représentent 60 à 70% du total des dépenses, alors que ces frais dépassent les 70% dans les PED. Au Maroc les frais varient entre 70 et 90% de l'ensemble des frais de gestion des déchets solides (*DGCL, 1991*). Ainsi, il apparaît clairement que les services de collecte et d'élimination, même dans leur état partiel, coûtent chère aux communes. Même si le taux d'allocation des ressources à la collecte est très important, les services de collecte sont en général inefficaces en raison principalement de l'état vétuste du matériel et des déficiences de l'entretien. Le taux d'immobilisation des véhicules peut atteindre ou même dépasser 50%, la gestion déléguée de ce secteur permet d'aller vers un taux de collecte de 100% dans certain villes marocaines (*Patpem-PRGDS, 2005*).

2. Elimination, Traitement et valorisation des déchets

L'élimination des déchets au Maroc se fait dans des décharges sauvages (souvent des anciennes carrières ou lits d'oueds) ou par enfouissement dans des décharges contrôlées (*CUSSTR, 2005*). On note la présence de plusieurs décharges sauvages où les déchets sont déversés et laissés à l'air libre (Photo 1, Planches) (*AMEDE, 2006*).

Les décharges sauvages représentent un danger pour la santé des populations, pour les ressources en eau et l'environnement en général. Parmi les risques sanitaires et les nuisances qui peuvent en découler il y a :

- Risques d'incendies ;
- Prolifération des rongeurs et des insectes ;
- Émanations de gaz toxiques et de gaz à effet de serre nuisible pour le climat ;
- Odeurs nauséabondes ;
- Contamination du milieu récepteur (eaux de surfaces, eaux marines, eaux souterraines) ;
- Dégradation du paysage (pollution visuelle) ;
- Etc.

Conscient de cette problématique, le gouvernement a élaboré le programme National de gestion des déchets Ménagers et assimilés (PNDM). Ce programme vise, entre autres, la réalisation des décharges contrôlées et la réhabilitation de celles existantes (Photo 2, Planches). Le coût global de ce programme est estimé à 37 milliards de DH et concerne tous les centres urbains, y compris ceux ayant délégués leurs services de propreté à des opérateurs privés (*RMSEM, 2012*). Les objectifs du PNDM dans les 15 prochaines années sont :

- Assurer la collecte et nettoyage des déchets ménagers dans les centres urbains et atteindre un taux de collecte satisfaisant de 90% en 2015 et 100% en 2020 ;
- Réaliser des décharges contrôlées des déchets ménagers et assimilés au profit de tous les centres urbains (100 %). Cela permettra d'éviter la contamination des nappes phréatiques par le lixiviat et la récupération des biogaz.
- Réhabiliter toutes les décharges existantes, après fermeture (100 %) ;
- Professionnaliser ce secteur dans les agglomérations présentant un intérêt économique pour les opérateurs privés et un coût supportable pour les Communes ;

- Organiser et développer la filière de « tri-recyclage-valorisation » pour atteindre le taux de 20 % en 2015 de récupération des déchets générés, avec des actions pilotes de tri à la source (*RMSEM, 2012*).

Actuellement, plusieurs villes ont réalisé des décharges contrôlées de déchets ménagers et assimilés. La gestion de ces décharges est, souvent, déléguée par les communes à des sociétés privées spécialisées dans ce domaine.

IV.Composition des déchets ménagers au Maroc

Les déchets ménagers au Maroc se caractérisent par des concentrations importantes en matières organiques, des pourcentages élevés en humidité et des concentrations faibles de matières minérales par rapport au pays développés comme la France et les Etats Unis (Tableau 1). Les modes de gestion de ces déchets ont connu des performances au cours des expériences de la gestion déléguée de ce secteur, et aussi les techniques de traitements de ces rejets sont très diverses et adaptable à la nature des déchets (*Rassam et al, 2012*).

Tableau 1: Comparaison des déchets au Maroc par rapport à la Tunisie, la France, et les États-Unis

Composition	Paramètres (%)			
	Maroc	Tunisie	France	U,S,A
Fraction organique fermentescible	60-80	68	30	15-20
Humidité	60-75		35	30
Papier	7-10	11	30	20
Bois	7		-	2
Plastique et Caoutchouc	4-7	7	15	10
Textile	3	3	2	2
Cuir et peau	0,3	-	-	1
Métal	1.0	4	6	10
Verre et Céramique	1,5	2	12	10
Cendres	10,5	-	-	-

Source : (*Rassam, et al, 2012*)

Les déchets ménagers sont un mélange hétérogène de matériaux ayant des propriétés physiques et chimiques très différentes. Cette composition est largement déterminée par la nature des déchets et leur emballage ainsi que les pratiques de consommation, qui varient en fonction du niveau de vie et des habitudes culturelles (*Rassam et al. 2012, Hwang et al. 2012*

; Beylot & Villeneuve, 2013; Ezequiel et al., 2013 et Ajir, 2002). L'analyse de l'évolution de la composition de ces déchets au Maroc (Tableau 2) montre une légère diminution des matières organiques au bénéfice d'autres produits, aucune variation significative n'a été mise en évidence.

Tableau 2: Evolution de la composition des Déchets Ménagers au Maroc

Principales composantes des déchets	1960	1990	1999
Matières organiques	75%	65 à 70%	50 à 70 %
Papier-carton	15%	18 à 20%	5 à 10%
Plastique	0,3%	2 à 3%	6 à 8%
Métal	0,4%	1 à 3 %	1 à 4%
Verre-débris de céramique	0,6%	1%	1 à 2%
Divers	8,8%	5 à 7%	16%
Densité		0,4%	0,4 à 0,5%
Humidité		65 à 70%	70%

Source : (DCI, 1992, DE, 1999)

Les données concernant les composantes des déchets sont relativement récentes et ne permettent donc pas d'étudier l'évolution de leur composition. Le tableau 3 donne la composition des déchets ménagers dans certains centres urbains. Les matières organiques représentent la principale composante suivie du papier-carton et du plastique.

Tableau 3: Composition des déchets ménagers dans certains Centres Urbains (%)

Constituants	Rabat	Salé	Agadir
Matière organique	72	75	77
Papier-carton	9 à 14	10	6
Plastique	6 à 7	10	10
Métal	2	1	1,5
Verre-débris de céramiques	2	1,5	1,5
Divers	4 à 6	7,5	4

Sources : 1 : (MI, 1998), 2 : (LPEE, 1999), 3 : (ONEP, 1999)

Les indicateurs donnés à l'échelle nationale permettent d'avoir une idée sur le gisement des déchets ainsi que sur la production journalière moyenne par habitant. Ces indicateurs permettent de situer le Maroc par rapport à des pays similaires. Le tableau suivant

montre que le ratio de production des déchets au Maroc est semblable à celui d'autres pays du monde arabes et inférieur à celui des pays occidentaux.

Le ratio de production au Maroc varie en fonction de la taille de l'agglomération (*Karkouri., 2009*).

Tableau 4: Evolution future de la production des déchets ménagers au Maroc

Déchets ménagers (T/an)				
Année	Population (x1000)	Urbain	Rural	Total
2005	30 484	5 220 000	2 380 000	7 600 000
2010	32 628	6 120 000	2 690 000	8 810 000
2020	36 914	8 400 000	3 450 000	11 850 000

Source : (DE, 2010)

Cette disparité dépend de nombreux paramètres entre l'année 2005 et l'année 2020, dont les plus importants sont :

- Le mode de vie des populations ;
- Le degré d'urbanisation ;
- Les spécificités de la région (touristique, agricole, industrielle, etc.)

Avec une moyenne nationale de production de déchets de 0,75 kg/hab./j et une population de 32 millions d'habitants selon les estimations de la population marocaine en 2014, la production en déchets ménager au Maroc serait actuellement plus de 6.8 millions de tonnes par an (*RGDSM, 2014*).

V. Techniques de traitement des déchets solides au Maroc

Afin de faire face à la problématique des décharges sauvages au Maroc, la mise en décharge contrôlée demeure manifestement une bonne alternative. Depuis le début des années 2000, plusieurs décharges contrôlées ont été construites au Maroc (Fès, Akrach, Oujda, Essaouira...) dont une à Agadir mise en service en 2010 (*AMEDE, 2012*). Toutefois, cette option est loin d'être écologiquement durable et particulièrement en présence des déchets très humides et très riches en matière organique et qui génèrent de grands volumes des lixiviats et des émissions quantitativement importantes de méthane (*Christensen et al., 1989*). Les incendies qui peuvent survenir dans les décharges sauvages représentent aussi un grand impact environnemental (*Fraquar et al., 1973*). Certes, les impacts de ces émissions liquides et gazeux peuvent être significativement anéantis (isolation hydrogéologique partielle ou totale, planification du placement et de la couverture des déchets, réseaux de récupération des

biogaz et des lixiviats etc.) (*Graindorge et al., 1990*), mais, les coûts des aménagements et d'exploitation requis sont très élevés (*Peters et al., 1999*).

Du fait de la proportion importante de matière organique dans les déchets, le compostage est considéré comme l'une des options les plus adaptées au Maroc. Le processus de compostage ne permet pas seulement de réduire la masse de déchets par le phénomène de biodégradation, mais aussi il permet de fournir un compost indemne d'agents pathogènes (*Mustin, 1987*). Ce compost est un excellent produit d'amendement organique des sols. Ajoutons également que le compostage se justifie pleinement au Maroc où les sols sont caractérisés par de faibles teneurs en matière organique et soumis aux divers processus de dégradation qui favorisent le fléau de désertification (*De-Bertoldi et al., 1983*). Dans son rapport « Action internationale 2004 », l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie en France (ADEME) souligne que le choix du compostage est particulièrement adapté aux pays en développement car une grande part des déchets est d'origine organique et que le besoin des sols en matière organique s'avère désormais critique (*Giloux et al., 1995 et Caron, 2004*). Les modes de traitement des déchets ménagers au Maroc ont connu une évolution très remarquable suite à la délégation de ce secteur à des spécialistes qui ont introduits des nouvelles compétences et technologies.

VI. Mode de gestion du secteur des déchets ménagers au Maroc

La charte communale de 1976 qui a été révisée en 2003, incombe aux responsables communaux de choisir, régir et gérer les équipements de collecte, de transport et de traitement des déchets solides provenant des activités se produisant sur leur territoire, ainsi que de définir les lieux propices à l'installation des équipements de gestion des déchets dans le respect de la qualité de vie de la population. Cependant, les investissements nécessaires à une telle gestion compliquent les décisions des responsables communaux.

La gestion des services communaux s'organise selon deux niveaux de structures différents (*SPGD, 2012*). En effet, il faut distinguer :

- La structure d'organisation qui est la structure chargée de distribuer et de contrôler le service ;
- La structure de fonctionnement qui est chargée de l'exécution de service. Cette structure peut être confondue avec la structure d'organisation.

Au Maroc dans le domaine de la gestion des déchets ménagers, ces deux structures ont souvent été confondues.

Une fois la structure d'organisation définie, la commune doit définir une structure de fonctionnement qui pourra être publique ou une structure, à participation publique ou privée. De façon à bien remplir son rôle, la commune doit préalablement définir les objectifs visés par l'exercice de mise en commun des services ou de sous-traitance. Les communes demeurent maîtresses d'œuvre de l'ensemble des aspects de la gestion des déchets. Cependant différents modes d'organisation sont envisageables pour les différents aspects de la gestion des déchets.

La gestion des déchets ménagers (DM) par les services communaux, rencontre plusieurs contraintes qui sont liées principalement aux facteurs suivants (*SPGD, 2012*) :

- Gestion diluée dans les autres services communaux
- Equipement vétuste, mal entretenu
- Infrastructures insuffisantes
- Personnel mal motivé, mal qualifié

En conséquence, le mode de gestion directe communal n'a pas toujours donné de bons résultats. Pour trouver une solution à cette défaillance, plusieurs communes urbaines se sont engagées dans la délégation de gestion de leurs services aux entreprises privées notamment les services de nettoyage et de collecte des (DM).

VII. Gestion déléguée des services de propretés par le secteur privé

Depuis 2004, la gestion des (DM) a été déléguée à des sociétés privées pour moderniser la qualité du service, intégrer de nouvelles technologies et par conséquent améliorer la propreté de la ville ainsi que garantir sa durabilité. L'opération de la gestion déléguée des déchets à Casablanca à titre d'exemple a duré pour une période de 10ans, du 1^{er} mars 2004 au 1^{er} mars 2014, et qui a été éventuellement être renouvelée pour une période de deux années.

Les services délégués aux sociétés sont :

- La collecte et l'évacuation des déchets ménagers et assimilés, et des encombrants à la décharge publique ;
- Le nettoyage de la voirie publique, ainsi que l'évacuation à la décharge publique des résidus collectés ;
- Le lavage de certaines artères et places publiques.

Néanmoins, l'analyse de l'état des lieux montre, en dépit de la nécessité et de l'importance de l'expérience de la gestion déléguée, elle seule n'est pas suffisante pour résoudre les problématiques liées à ce secteur. En absence évidemment des solutions d'ordre éducationnelle (*Ghalloudi et al., 2008*).

VIII. Secteur informel

Le secteur informel de la récupération des déchets est un acteur très important dans le secteur de déchets solides municipaux au Maroc. Ce secteur informel reste le premier générateur d'emploi en matière de recyclage en plus de la valeur passive qu'il apporte en améliorant la qualité de l'environnement. Les bénéfices peuvent regrouper les revenus des ménages, la réduction des volumes des déchets transferts aux centres d'enfouissement ou aux décharges, l'amélioration des paysages. Les inconvénients sont plutôt les pertes en matière de fiscalité, et des cotisations aux régimes de la sécurité sociale (*Carré, 2012 et Debout, 2012*).

Dans les pays en développement, les activités de recyclage sont exercées par le secteur informel, elles ont toujours existé et peuvent permettre la subsistance de parties très importantes de population. Ce type de recyclage s'effectue en général par des chiffonniers (scavengers, botaderos, ... selon les pays) et concerne essentiellement les métaux, les papiers-cartons et les textiles. Par rapport à l'activité globale d'un pays et à la capacité de traitement des matières premières, la part de ce recyclage informel peut être très importante et revêtir un intérêt économique très important.

Le chiffonnage s'opère en 3 niveaux différents (*Pearce & Turner, 1994*) :

- Dans les rues avant la collecte : les matériaux sont alors récupérés chez les petits artisans ou industriels, dans les conteneurs ou dans les déchets entassés dans la rue ;
- A bord des camions de collecte : où les chiffonniers - et souvent les ripeurs eux-mêmes- récupèrent les matériaux à partir des déchets collectés. ;
- Sur le site des décharges (même celles contrôlées) : où les matériaux sont récupérés à partir des déchets mis en décharge.

Le chiffonnage s'accompagne souvent de risques considérables pour la santé et la sécurité des chiffonniers qui vivent souvent dans les décharges ou dans les bidonvilles avoisinants et travaillent dans des conditions d'hygiène déplorables. De même, ce type de récupération peut avoir un impact négatif sur l'efficacité de la collecte (éparpillement des déchets autour des conteneurs et ralentissement de la collecte par camions) et entrave l'exploitation des décharges (*Tabet, 2001*). Très fréquemment, des accidents mortels sont déplorés. Par ailleurs, les quantités collectées sont marginales par rapport aux gisements

potentiels recyclables. Au Maroc, à la ville de Marrakech ces quantités sont estimées à 50 tonnes/mois pour un gisement de déchets recyclables d'environ 2400 tonnes/mois, soit à peine 2% (*DGCL-DEA, 1995*). Il est estimé que les chiffonniers représentent plus de 2% de la population d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. Ils sont environ 16 000 personnes au Caire à vivre par le biais du recyclage en collectant les déchets générés par la ville (*PRGDS-METAP -Egypte, 2004*).

IX.Problématique de la gestion des déchets

Le problème de la gestion des déchets ne s'est posé avec acuité que récemment, suite à l'accroissement de la production industrielle et au développement des centres urbains. L'élimination des déchets nécessite dès lors une approche technologique et méthodologique. Cette vision s'est traduite par le développement de technologies de plus en plus performantes de traitement qui prennent en compte la croissance des populations, les concentrations des déchets, les préoccupations environnementales et le développement durable. Aussi l'objectif ultime de la gestion des déchets étant de réduire le volume des matériaux destinés à la décharge finale pour minimiser les risques de pollution qu'ils peuvent causer pour la santé et l'environnement (potentiel polluant, émission du biogaz, lixiviat, pathogènes, etc.) (*MBT, 2003*), les stratégies de gestion doivent passer par l'application de principes simples qui permettent d'atteindre les objectifs spécifiques correspondants. Il s'agit surtout de la mise en œuvre de filières de réutilisation, de recyclage et de compostage des déchets (*Wicker, 2000*).

Dans les PED, la croissance rapide de la population dans les villes et les multitudes de coutumes entraînant différentes habitudes de vie sociale ont eu pour conséquence une augmentation des taux de production de déchets auxquels les acteurs locaux, collectivités locales et régionales n'étaient pas préparés à faire face. Jusqu'aux années 90, il n'existait presque pas de stratégies nationales en matière d'assainissement pour ces villes, car les priorités étaient données à d'autres secteurs de développements tels que la lutte contre la désertification, la recherche de l'autosuffisance alimentaire, la santé publique etc. Jusqu'alors ces acteurs sont surtout restés préoccupés par la collecte et l'évacuation des ordures sans essayer d'approcher les déchets en tant que ressource qui peut avoir une valeur économique.

X. Acteurs responsables de la gestion des déchets

La gestion des déchets n'est pas seulement une affaire de l'Etat. De nombreux acteurs privés comme publics interviennent dans la gestion des déchets urbains à différents niveaux.

Bien souvent, la responsabilité en matière de gestion quotidienne incombe aux communes. Cinq types d'acteurs se répartissent la lourde tâche de la gestion des déchets des villes (Charnay, 2005, Poornima et Manjula, 2001 et Aina et al, 2007) :

- **Le secteur public** représenté par les autorités locales (commune, préfecture, mairie, ...);
- **Le secteur privé** formé de petites et de grandes entreprises qui relient les activités des ONG et des autorités ;
- **Le secteur informel** composé soit par des particuliers rassemblés en association de quartier, soit par des petites entreprises non officielles, s'occupant soit de la pré-collecte en porte à porte (P.A.P) soit des matières recyclables. Ce secteur est une caractéristique de la gestion des déchets urbains dans les villes des P.E.D. Il est représenté par une population à très bas revenu, qui pour survivre, récupère les matériaux directement dans les poubelles du producteur, ou sur les points de transit ou les sites de traitement.
- **La population**, premier producteur, bénéficie souvent d'un service de pré - collecte. Sa contribution financière est soit directe par le recouvrement des redevances auprès des ONG ou associations ou informels, soit indirecte par le biais des impôts et taxes locales.
- **Les O.N.G et les associations**, représentent le secteur le plus important. Très nombreuses dans les P.E.D, elles doivent leur essor aux défaillances des communes, des mairies ou autres autorités compétentes dans le domaine de l'environnement. Leurs actions sont fondées sur les liens sociaux entretenus avec la population. Avec de faibles moyens financiers, techniques et une organisation structurelle assez précaire, elles offrent un service apprécié par une population mobilisée dans tous les programmes d'amélioration du cadre de vie. Dans certains pays les autorités n'arrivent plus à jouer leur rôle d'organisateur. C'est le cas par exemple de Bangalore en Inde où la population a décidé elle-même de mettre en place une collecte en porte à porte (P.A.P) pour diminuer les nuisances dues à la surcharge des points de transit (Aboulam, 2005 ; Charnay, 2005 ; Aloueimine et al., 2006 b).

Plusieurs paramètres doivent être prendre en considération pour atteindre une meilleurs gestion et valorisation des déchets ménagers et aussi lors du choix du procédé de traitement adéquat. Cette gestion doit être intègre les sous-produits des DM à savoir les lixiviats. En effet, ces dernières sont parmi les éléments majeurs qu'il faut intégrer lors de

notre étude préalable suite à leur composition très complexe (*El-Fadel et al., 2002 ; Ehrig, 1989 ; Christensen et al., 2001*).

B. Les lixiviats

I. Définition

Le lixiviat (jus de déchets) est défini comme tout liquide filtrant par percolation des déchets mis en décharge et s'écoulant d'une décharge ou contenu dans celle-ci (*DE (99/ 31/ CE, 1999)*). Dans le cas de déchets, le lixiviat se charge de polluants organiques, minéraux et métalliques, par extraction des composés solubles par l'eau contenue dans ces déchets et ce liquide risquent ainsi de provoquer la pollution de la nappe phréatique (*Gholamifard., 2009*). La qualité chimique et microbiologique de ce liquide évolue au cours de la dégradation des déchets et reflète les phases de dégradation majoritaire. Les lixiviats ne peuvent être rejetés dans le milieu naturel sans un traitement visant à réduire la concentration des polluants à des valeurs seuils imposées par la réglementation.

II. Mécanismes de la genèse des lixiviats

Les eaux météoriques s'écoulent à travers la masse des déchets, avec une vitesse et un débit qui dépendent de la porosité, de la perméabilité et de l'épaisseur du massif des déchets. Elles favorisent la biodégradation des matières organiques fermentescibles et produisent des lixiviats en se chargeant de substances organiques ou minérales provenant des déchets ou des produits de la dégradation des déchets. La formation des lixiviats met en jeu une grande diversité de phénomènes qui joueront plus ou moins en fonction de la nature des déchets, du mode d'exploitation du centre de stockage (hauteur des déchets, surface exploitée, compactage) et de l'infiltration des eaux. Ces phénomènes peuvent être répartis en deux catégories (*Charnay, 2005*) :

- Les mécanismes physico-chimiques : évolution du pH, du pouvoir tampon, de la salinité et du potentiel d'oxydoréduction des solutions percolant à travers les déchets ; ces solutions mettent en œuvre des mécanismes chimiques de solubilisation, oxydoréduction, adsorption, neutralisation et transfert de matière
- Les processus biologiques aérobies et anaérobies qui vont dégrader la fraction organique fermentescible des déchets.

Tous ces processus sont gouvernés par la présence d'eau au sein du système. L'eau qui s'infiltre et qui n'est ni perdue par évaporation va permettre d'augmenter progressivement l'humidité du massif de déchets en profondeur (*Farquhar, 1989*).

L'humidité des déchets a plusieurs rôles :

- Elle permet l'hydrolyse de la matière lignocellulosique, principal constituant des déchets organiques, impliquant une consommation de 0,1 g d'eau par gramme de cellulose ;
- Elle est un vecteur de colonisation bactérienne de la surface externe et de la macroporosité des particules solides, et un vecteur de diffusion des enzymes hydrolytiques, des nutriments, des métabolites extracellulaires, de l'oxygène ;
- Elle constitue 80 % du matériel massique d'un micro-organisme (*Belle., 2008*)

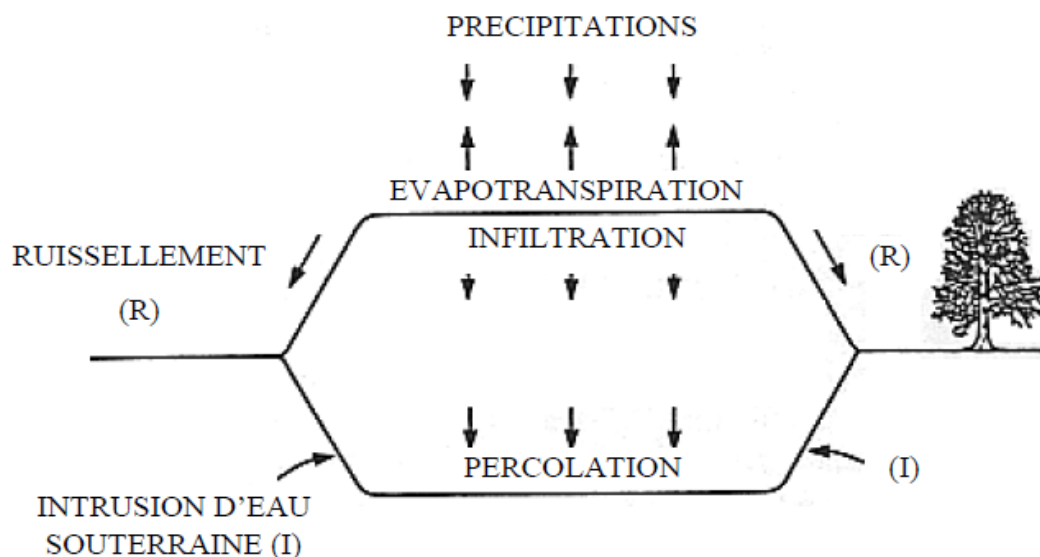


Figure 1: Schéma présentant les mécanismes de la genèse des lixiviats (*Farquhar, 1989*)

Dès que le dépôt du massif des déchets leur humidité excède leur capacité au champ, les lixiviats sont formés par l'excédent d'eau qui percolait à travers la couche des déchets (*Mcardle et al., 1988*). Ce processus de percolation est influencé par plusieurs facteurs classés en deux catégories (*El-Fadel et al., 2002*).

- Les facteurs contribuant directement à l'humidité du massif : précipitations, fonte des neiges, intrusion d'eau souterraine, teneur en eau initiale, irrigation, recirculation de lixiviats, dépôt de déchets liquides et décomposition des déchets,
- Les facteurs affectant la distribution des lixiviats ou de l'humidité dans le massif : âge du dépôt, prétraitement, compactage, perméabilité, granulométrie, densité, tassement, couverture, végétation, sécurisation du casier, production de chaleur et de biogaz.

Le massif de déchets renferme une multitude de composants organiques et inorganiques solubles présents dès l'enfouissement ou générés par les processus biologiques de dégradation aérobie et anaérobie ou encore issus des mécanismes physico-chimiques résultant des interactions entre l'eau et les déchets (dissolution, complexation, oxydo-réduction, adsorption...). Au cours du processus de lixiviation, l'eau qui percole au travers du massif solubilise ces composants et devient polluée. Il en résulte la formation de lixiviats.

Dans les modes modernes de la gestion des déchets et l'introduction des bennes tasseuses, une bonne partie des lixiviats est produite par le compactage des déchets lors de leur collecte. Les volumes générés sont assez importants par rapport à la totalité des déchets ce qui implique leur prise en charge et de proposer des solutions adéquates à leur traitement.

1. Type des lixiviats

Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats ont été distingués (*Renou et al., 2008 ; Neena et al., 2007*) :

Les lixiviats jeunes

Ces lixiviats se caractérisent par une charge organique élevée biodégradable. Ces lixiviats peuvent être chargés en métaux jusqu'à 2 g/l du fait de leur pH relativement bas (< 6,5). Ils correspondent aux premières phases non méthanogènes de l'évolution d'une décharge (*Renou et al., 2008*).

Les lixiviats intermédiaires

Au fur et à mesure que la décharge vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les acides gras volatils se raréfient (20 à 30% de la charge du lixiviat) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'émergence de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité du lixiviat (*Schlumpf et al., 2001*). De ce fait, le pH est voisin de

la neutralité et la charge en métaux devient négligeable. Ces lixiviats correspondent globalement à la phase méthanogène stable (*Neena et al., 2007 ; Bohdziewicz & Kwarciak, 2008*).

Les lixiviats stabilisés

Ils sont caractérisés par une faible charge organique, composée essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaire (la DCO dépasse 3000 mg l^{-1}) qui sont réfractaires à la biodégradation ($\text{DBO}_5/\text{DCO} < 0,1$). Ces lixiviats stabilisés correspondent à la phase de maturation de la décharge (*Kulikowska et Klimiuk, 2008*) et (*Chang., 1989*).

2. Facteurs affectant la composition des lixiviats

La composition des lixiviats est très variable d'un site à l'autre en raison de la multiplicité des paramètres entrant en jeu (*Pohland et al., 1983 ; Statom et al., 2004 ; Heyer ; Stegmann, 2005 et Renou et al., 2008b*) ; et qui sont :

- L'âge des déchets et leur stade de dégradation,
- La nature des déchets (teneur en eau, structure : granulométrie-densité-porosité, température, acidité)
- Le mode d'exploitation (prétraitement, compactage procédure d'enfouissement, sécurisation du casier, couverture finale),
- Le climat (précipitations, température),
- La configuration du site (géologie, topographie),
- Les combinaisons de processus physiques, chimiques et microbiologiques opérant au sein du massif au cours de la dégradation,

3. Composition et évolution de la qualité des lixiviats

Il est généralement reconnu que les lixiviats issus de déchets non dangereux contiennent plusieurs polluants majeurs classés en quatre groupes (*Christensen et al., 2001 ; Pronost et Matejka., 2000*) qui sont les suivant :

- Matières organiques dissoutes (DCO , COT , $\text{CH}_4 \dots$),
- Macro-composants inorganiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-),
- Eléments traces métalliques (Cd , Cr , Cu , Pb , Ni , Zn),

➤ Composés organiques xénobiotiques (pesticides).

D'autres éléments traces d'importance secondaire peuvent être présents en très faibles quantités dans les lixiviats, entre autres : B, As, Se, Be, Li, Hg, Co... (*Kanga.et al, 2002*).

Les lixiviats de décharge présentent de grandes variations de composition d'un site à l'autre. Leur composition est également évolutive avec le temps et les composants sont présents à des teneurs variables selon la phase de dégradation régnant dans le massif. Après l'enfouissement, les lixiviats produits sont essentiellement le résultat de l'expulsion de l'eau initialement présente dans les déchets lors du compactage et des circulations d'engins sur le massif et sont très peu chargés en éléments polluants. Lors de la fermentation acide (phase II), les lixiviats présentent un pH acide et des concentrations croissantes pour de nombreux paramètres (DBO, AGV...). Au fur et à mesure de la stabilisation des déchets, le pH augmente vers la neutralité et les principaux paramètres décroissent pour se stabiliser en fin de dégradation à de faibles concentrations. Bien que la composition des lixiviats varie fortement pendant les différentes phases successives de dégradation, trois types de lixiviats peuvent être identifiés en fonction de leur âge (Tableau 5). Avec l'augmentation de l'âge, la biodégradabilité de la matière organique représentée par le rapport DBO/DCO diminue à mesure que la consommation des acides carboxyliques et les concentrations en azote ammoniacal (NH₄-N) augmentent suite à la décomposition des protéines (*Kjeldsen et al., 2002*). Par conséquent, un lixiviat jeune est caractérisé par un pH acide (< 6,5), un fort rapport DBO/DCO (> 0,5) et de faibles teneurs en NH₄-N (< 400 mg.l⁻¹) tandis qu'un lixiviat âgé est caractérisé par un pH légèrement basique (>7,5), une faible biodégradabilité (DBO/DCO < 0,1) et des teneurs en NH₄-N plus élevées (> 400 mg. l⁻¹) (*Alvarez-Vazquez et al., 2004; Renou et al., 2008a et Li et al., 2010*)

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des différents types de lixiviats.

Tableau 5: Variation des paramètres on fonction de l'âge de lixiviat

	Jeune	Intermédiaire	Stabilisé
Age (années)	< 5	5-10	> 10
pH	< 6,5	6,5-7,5	> 7,5
DCO (mg.L-1)	> 10 000	4 000-10 000	< 4 000
DBO/DCO	0,5-1	0,1-0,5	< 0,1
Composés organiques	80% AGV	5-30% AGV+AH+AF	AH+AF

NH₄-N (mg.l⁻¹)	< 400	400	> 400
COT/DCO	< 0,3	0,3-0,5	> 0,5
N Kjeldahl (mg. l⁻¹)	100-200	nd	Nd
Biodégradabilité	Importante	Moyenne	Faible

Source : (Renou et al., 2008a)

Le flux de lixiviat varie suivant la rétention d'eau dans les déchets. Ce dernier dépend elle-même du processus biologique en cours (modifie la structure de la matière organique) et de l'ancienneté des déchets. Ainsi, après dépôt des déchets il y a filtration de l'eau atmosphérique au sein des déchets et principalement en surface. Ce phénomène se poursuit jusqu'à saturation du milieu où le débit de lixiviat doit alors être égal au débit de l'eau infiltrée qui ne peut être déterminé exactement en raison du taux inconnu mais estimable à partir d'évaporation du bilan hydrique (Trabelsi., 2011).

III. Caractéristiques des lixiviats au Maroc

A titre d'exemple, l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques du lixiviat de la décharge d'Akreuch (Région de Rabat-Salé) (Tableau 6), a révélé le danger considérable que présentent lixiviats pour les récupérateurs travaillant sur la décharge ainsi que pour les ressources naturelles. Le lixiviat analysé renferme de fortes teneurs en matières minérales et organiques. Des teneurs considérables de composés azotés, de phosphore total, de phénols, de détergents, ont été également décelées. Quant aux métaux lourds, les résultats obtenus par ces analyses n'ont pas révélé de concentrations alarmantes sauf pour le chrome. Enfin, la composante microbiologique a montré une concentration importante en germes indicateurs de pollution. (REEM, 2012)

Tableau 6: Caractéristiques physico-Chimiques et Bactériologiques du lixiviat de la décharge d'Akreuch

Paramètres étudiés	Fourchette de variation	Teneur moyenne
pH	7,4 - 8,3	7,8
Conductivité µS/cm	11 100 - 36 500	27 900

MES mg/1	800 - 3100	2100
MVS mg/1	600 - 1800	1200
DCO gO₂ /1	4,7 - 61	6
DBO5 gO₂ /1	1,3 -14	2,3
NH₄ mgN/1	800 - 3100	2000
NTK mgN/1	970 - 3300	2300
P. total mgP/1	15 - 16	13
Détergents mgABS/1	4 - 71	25
Phénols mg/1	0,6 - 7	3,3
Pb µg/1	2 -16	-
Cr µg/1	35 - 120	-
Se µg/1	< 1	-
Cd µg/1	< 1-5	-
As µg/1	2 - 3	-
Hg µg/1	< 1	-
Coliformes fécaux /100ml	2,2 10 ³ -5,1 10 ⁶	-
Streptocoques fécaux /100ml	5,4 10 ³ - 9,1 10 ⁷	-

Source : (REEM, 2012)

IV.Impact des lixiviats sur l'homme et sur l'environnement

La majorité de la littérature en matière d'effets des lixiviats sur la santé proviennent d'études réalisées sur des populations vivant à proximité des sites d'enfouissement de déchets. Les travaux de plusieurs organismes ont mis en évidence que la contamination d'eaux souterraines ou de surface par les lixiviats constituaient le risque les plus significatifs (Johnson Barry., 1993 ; BAPE., 2003).

L'exposition humaine aux lixiviats survient essentiellement par voie orale, lors de la consommation d'une eau souterraine ou de surface contaminée. L'exposition peut également être respiratoire, par l'évaporation des contaminants volatils de l'eau contaminée, lors du bain ou surtout de la douche. Même si la nature des contaminants des mélanges de contamination

de l'enfouissement des déchets de type industriel (déchets dangereux), agricole, domestique ou mixte est souvent similaire (*Van Coillie, et al., 1990*), la concentration des produits dangereux sera habituellement moins importante dans le cas des déchets domestiques. C'est à la lumière de cette importante nuance que nous abordons les risques du lixiviat sur la santé.

Ainsi, de nombreux contaminants (notamment les métaux lourds) sont piégés dans les sols sous les décharges sauvages, ce qui présente un risque de nouvelles contaminations de l'environnement à long terme. En raison de leur emplacement, les terres récupérées sont ensuite cultivées (pour les légumes par des habitants) qui peut conduire à la bioaccumulation des métaux qui peuvent constituer un risque pour la santé. La contamination de l'eau peut se produire lorsque des lixiviats d'une décharge, par voies d'écoulement (sur ou sous la surface), atteignent les eaux souterraines ou les eaux de surface.

La Faune dans et autour de la décharge peut être touchée par les consommations de végétaux et/ou animaux contaminés (*DDSWM, 2010*).

Les plantes à proximité des décharges ouvertes peuvent être touchées directement par l'eau de lixiviat. Les décharges tendent à influencer le type et le nombre de plantes dans la région environnante (*Foo.et al., 2009*).

V. Techniques de Traitement des lixiviats

Les lixiviats de la décharge sont des eaux usées à grande pouvoir polluante caractérisées par la présence d'un nombre significatif de polluants (organiques, inorganiques, dangereux). La qualité des lixiviats est variable d'une décharge à l'autre et en fonction du temps comme l'âge du site en particulier (*Kargi.et al., 2003 et Gálvez. Et al., 2009*). Par conséquent, il est très difficile de formuler des recommandations générales pour leur traitement efficace (*Lema et al., 1988*). La sélection et l'application d'un procédé de traitement dépendent des caractéristiques de chaque décharge en cours d'examen (*Sung Sung et al., 1997*). Dans la plupart des cas, une combinaison de méthodes est nécessaire pour l'élimination efficace de la charge polluante des lixiviats (*Silva.et al., 2004*).

Le choix du procédé à mettre en œuvre dépend de l'objectif du traitement. Cet objectif est déterminé par trois critères :

- La nature et les quantités des lixiviats à traiter ;
- Les contraintes de rejets ;
- Le coût de l'installation.

Il existe trois principaux procédés : biologique, thermique et membranaire (*Rubio et al., 2002*).

1. Traitement biologique

Les traitements biologiques se sont révélés très efficaces pour éliminer les matières organiques et azotées des jeunes lixiviats lorsque le DBO/DCO a une valeur élevée ($>0,5$). Avec le temps, la présence importante de composés réfractaires (principalement des acides humiques et fulviques) tend à limiter l'efficacité du processus (*Zahrani, 2006 et Mbuligwe, 2002*). Même si les processus aérobies se sont révélés moyennement efficaces pour l'élimination des polluants organiques et de l'ammoniac, beaucoup d'inconvénients nous mènent à se concentrer sur d'autres technologies.

Parmi ces inconvénients on cite :

- La demande d'une grande période d'aération (*Loukidou et al., 2001*)
- La haute demande énergétique et l'excès de la production de boues (*Hoilijoki et al., 2000*)
- Une inhibition microbienne due à la haute teneur en azote ammoniacal (*Lema et al., 1988*).

2. L'osmose inverse

A ce jour, l'osmose inverse s'impose comme une étape prépondérante et indispensable face au durcissement des réglementations en termes de rejet des eaux polluées. A l'échelle industrielle, l'osmose inverse est souvent utilisée seule, avec comme simple prétraitement une filtration sur filtre à sable, ou comme étape de finition suite à un traitement biologique conventionnel ou à un bioréacteur à membrane. L'osmose inverse peut être combinée à une étape de prétraitement comme la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nanofiltration (*Linde et al., 1995 et Ushikoshi et al., 2002*). Des prétraitements par coagulation-floculation et par précipitation chimique à la chaux ont été également testés dans le but de réduire, au préalable, la teneur en composés organiques réfractaires. Depuis 1980, l'application de l'osmose inverse pour le traitement direct des lixiviats a fait l'objet de nombreuses applications industrielles aux États-Unis, en Europe et en Asie (*Choo et al., 1996*), (*Peters et al., 1999*). Les récentes évolutions technologiques ont conduit à la multiplicité des matériaux, des modules et des modes de fonctionnement. Le choix d'une membrane et de son mode de mise en œuvre

dépend du type d'effluent à traiter. Toutefois, des problèmes de colmatage surviennent fréquemment lors du traitement des lixiviats, en comparaison à la production d'eau potable à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtres (*Renou S. et Poulain S, 2009*).

3. Traitement par UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Des nouvelles techniques de traitement ont fait leur apparition dans ce domaine. La technique de traitement par UASB est une technique qui a été utilisée pour le traitement anaérobie des lixiviats dans de nombreux pays (Brazil, Mexique, Colombia, Cuba, Uruguay...) (*Foresti, 2001*), à une température ambiante proche de 20°C et plus, mais d'après. Zeeman et. Lettinga (1999). Ce système peut fonctionner même dans des conditions où la température est comprise entre 5 et 20°C ce qui va garantir le fonctionnement du système sur toute l'année. Cette technique a été étudiée par de nombreux auteurs ces dernières années (*Liu et al., 2012*) et (*Sun et al., 2010*) ; elle a été développée vers les années 1970 pour le traitement des eaux usées de l'industrie d'agro-alimentaire au Pays-Bas (*Lettinga et al., 1980*). Ensuite ce système a été devenu plus performant pendant les années quatre-vingt et plus efficaces pour d'autres utilisations telles que le traitement des eaux usées domestiques.

L'utilisation de la configuration UASB a été bien acceptée pour le traitement des lixiviats en Europe. A l'heure actuelle, avec plus d'une décennie d'expérience dans le domaine de traitement par UASB, certains paramètres semblent avoir atteint des valeurs qui sont acceptées par la communauté scientifique, alors que d'autres critères sont encore mal connus (*Wiegant, 2001*).

A ce sujet plusieurs auteurs (*Foresti., 2001 ; Zeeman and Lettinga, 1999 ; Lettinga et al., 1980 et Seghezze, 2004*) rapportent que le rendement du système est lié directement à la charge organique des effluents et au temps de séjour hydraulique (TSH) dans le réacteur. L'abattement de la DCO après traitement par UASB atteint généralement des valeurs de l'ordre de 80% à 95% (*Foresti, 2001 et Robinson et al, 2003*).

C. Conclusion

La gestion inadéquate des déchets ménagers est un problème majeur qui affecte l'environnement, la santé humaine et le développement durable des villes et des pays concernés. Les études portant sur la mise en décharge des ordures ménagères dans les pays en développement ont permis de constater que la situation est très préoccupante. Les sites d'enfouissement sont

généralement choisis au hasard et sans aucune étude préalable, sans la prise en compte des impacts environnementaux.

Afin de réformer le secteur de la gestion des DM, le gouvernement marocain a récemment pris des initiatives importantes par l'encouragement des communes pour adopter la gestion déléguée et doter ce secteur par des ressources humaines spécialisées. Actuellement les villes qui ont adopté la gestion déléguée (Rabat, Ifran, El Jadida, Beni Mellal...) ont cumulé des expériences suite au contrat de délégation qui est en générale renouvelé pour la deuxième fois. Le retour d'expérience de cette gestion déléguée a été très bénéfique à la fois pour les communes et les entreprises spécialisées dans ce domaine. En effet, les communes ont pu mettre en place des cahiers des charges plus précis et ont intégré de nouvelles prestations (gestion des décharges). Alors que les entreprises ont pu dans un climat de concurrence de plus en plus rude, ont pu ajuster leurs coûts d'exploitation et de gestion.

Une bonne gestion des déchets ménagers ne peut se faire par un traitement convenable des sous-produits (lixiviats) dans chaque ville afin de diminuer les impacts et les risques liés à ces rejets sur l'environnement.

CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DE LA GESTION DES DECHETS MENAGERS DE LA VILLE DE KASBA TADLA

Chapitre II : Diagnostic de la gestion des déchets ménagers de Kasba Tadla

A. Introduction

Le développement socio-économique et la dynamique urbaine qu'a connus le Maroc ont encouragé le Royaume à confronter le problème environnemental lié aux déchets ménagers et à initier une réforme dans ce secteur. En 2006, le gouvernement a édicté la première Loi sur les Déchets Solides loi 28.00. Le Royaume du Maroc a établi une stratégie intégrée qui comprend un cadre juridique et institutionnel, l'allocation de ressources financières, ainsi que des plans et initiatives stratégiques. Il a développé un système de collecte, de traitement, de tri, de stockage, d'élimination et de récupération des DM, qui prend en compte de ces déchets spécificités :

- Des techniques (type et caractéristiques des déchets, techniques de collecte adaptées aux besoins urbains, développement de décharges contrôlées, procédés de traitement, méthodes de récupération...) ;
- Des questions humaines et socio-économiques (tenant compte des personnes vivant directement ou indirectement grâce à la récupération et le recyclage des déchets, création de nouveaux emplois...).

B. Présentation de la zone d'étude

I. Localisation de la ville de Kasba Tadla

La ville de Kasba Tadla est située sur la rive droite d'Oued Oum Er Rbia au pied du moyen Atlas. Elle est située sur la route nationale n°8 reliant la ville de Marrakech à Fès, entourée par la ville de Béni Mellal, Fkih Ben Salah, Boujaad et la ville d'Elksiba. Elle appartient à la province de Béni Mellal qui fait partie de la Région de Beni Mellal- Khenifra.

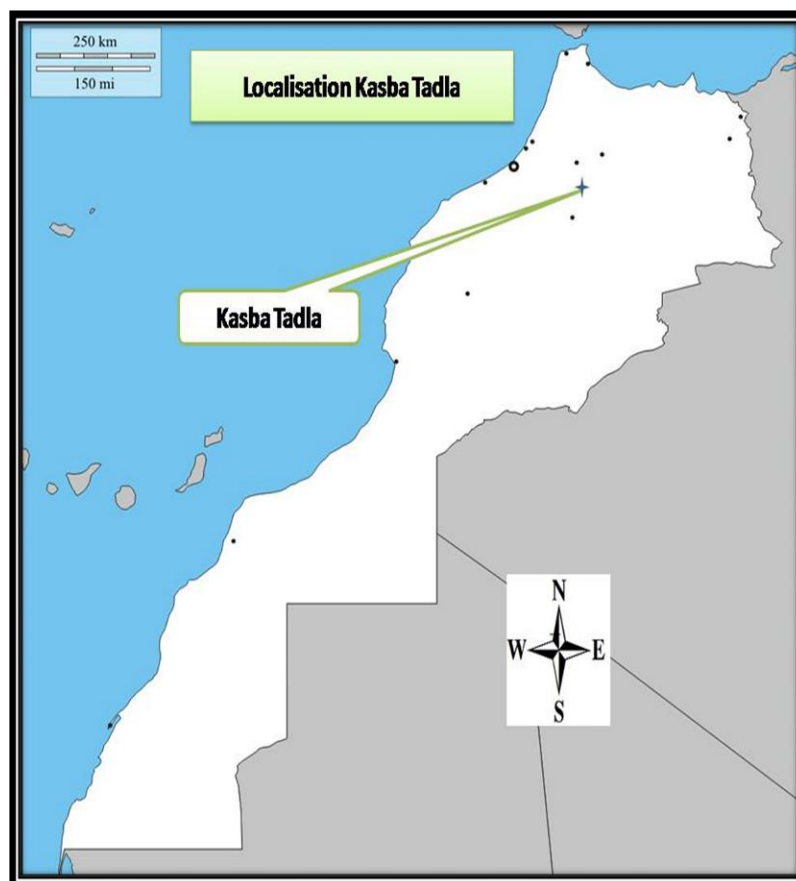


Figure 2: Localisation de la ville de Kasba Tadla

1. Démographie

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2014, la ville compte 44898 habitants et 8858 ménages. Elle a passé d'une valeur de 42262 en 2009 pour atteindre 45131 habitant en 2015 (Tableau 7). La région a enregistré un taux d'accroissement annuel moyen s'élevant à 1,1%. Ce dernier reste inférieur à celui enregistré au niveau de l'ensemble du Maroc (1,4%). (DRTA, 2012).

Tableau 7: Evolution démographique de la ville de Kasba Tadla à partir de 2009 au 2015

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Population	42262	42728	43198	43638	44154	44640	45131

Source : Station métrologique Kasba Tadla

2. Géologie

Kasba Tadla fait partie d'un contexte géologique dominé par un ensemble montagneux, allongé sur 400 Km du SW au Nord entre la plaine de Sraghna et la plaine de Guercif. Cet ensemble rocheux est limité à l'Ouest par la plaine de la Bahira-Tadla et le plateau central marocain : c'est ce qu'on appelle le Moyen Atlas de Béni Mellal (DRTA, 2012).

3. Situation géographique

La ville de Kasba Tadla se situe à une altitude de 518 mètres avec une latitude de 32°32' Nord et une longitude de 06°17' degré vers l'Ouest (Tableau8).

Tableau 8: Cordonnée géographiques de la ville de Kasba Tadla

Ville	Latitude en °	Longitude en °	L'altitude en m
Kasba Tadla	32°32' Nord	06°17'Ouest	518 m

Source : Station métrologique Kasba Tadla

4. Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines

La plaine du bassin versant du Tadla est située au sud de la Meseta marocaine. Elle est limitée par l'accident chevauchant nord-atlasique et renferme un important aquifère localisé dans les calcaires du Turonien. La carte piézométrique indique que les écoulements convergent vers la Tessaout aval, selon un grand axe de drainage NE-SW qui présente les meilleures caractéristiques hydrodynamiques. Les isotopes de l'oxygène permettent de caractériser les eaux du plateau des phosphates et celles provenant de l'Atlas. Ils confirment

les résultats de la piézométrie et de la géochimie relatifs à l'alimentation de l'aquifère turonien. Ainsi, cet aquifère est alimenté à la fois à partir des affleurements du plateau au nord et par les aquifères atlasiques à l'est (DRTA, 2012).

Kasba Tadla fait partie de la plaine de Tadla, la structure générale de la chaîne entraîne un système de cuvettes synclinales constituant autant de sous bassins hydrographiques qui communiquent plus au moins entre eux.

5. Température moyenne à l'ombre quotidienne de Kasba Tadla

La température moyenne de la ville de Kasba Tadla durant la période entre le mois de Novembre 2013 et Octobre 2014 est de 20°C avec un minimum de 7.1°C et un maximum qui peut aller jusqu'à plus de 32°C durant la période d'été (Figure 3).

Source : Station métrologique Kasba Tadla

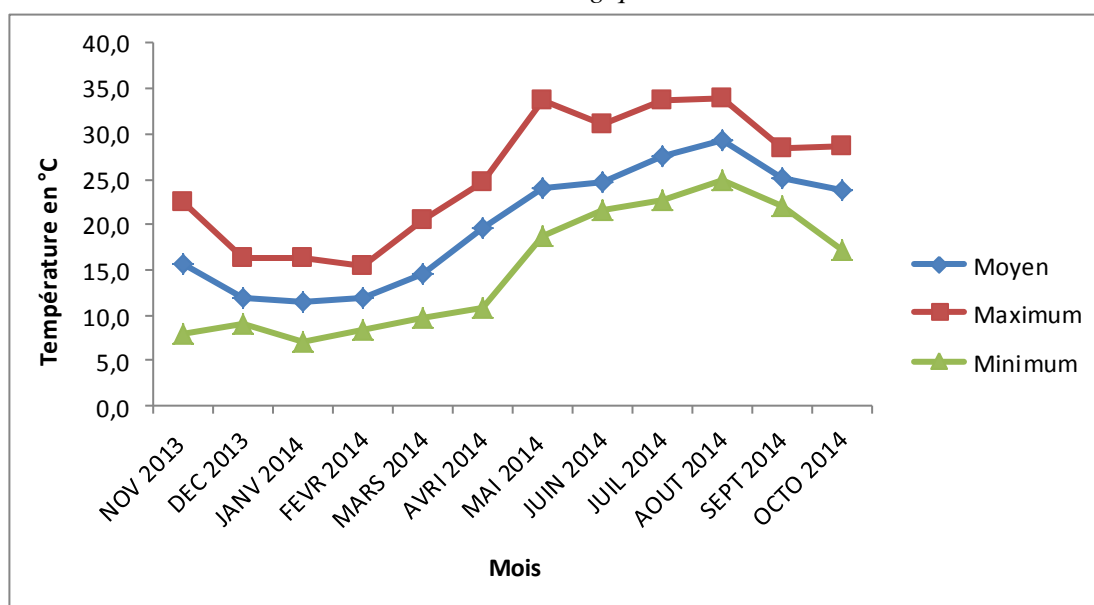


Figure 3: Evolution des températures moyennes mensuelles à l'ombre durant la période entre Novembre 2013 et Octobre 2014

La température moyenne mensuelle présente une fluctuation remarquable entre la période d'été et la période d'hiver. Cette situation est favorable à l'utilisation de l'énergie solaire qui pourrait être un facteur très important au niveau du site d'étude pour les essais expérimentaux du traitement des lixiviats. En effet, la durée qui représente les basses

températures est limitée seulement à 3 mois (Décembre, Janvier et Février), alors qu'à partir du mois de Mars la température commence à augmenter pour dépasser les 30 °C durant la période estivale.

6. Humidité moyenne au quotidienne en (%)

L'humidité moyenne journalière de la ville de Kasba Tadla durant la période entre le mois de Novembre 2013 et Octobre 2014 est située entre un maximum de 71% durant le mois de Février et un minimum durant le mois d'octobre avec une valeur de l'ordre d'environ de 32% (Figure 4).

Source : Station métrologique Kasba Tadla

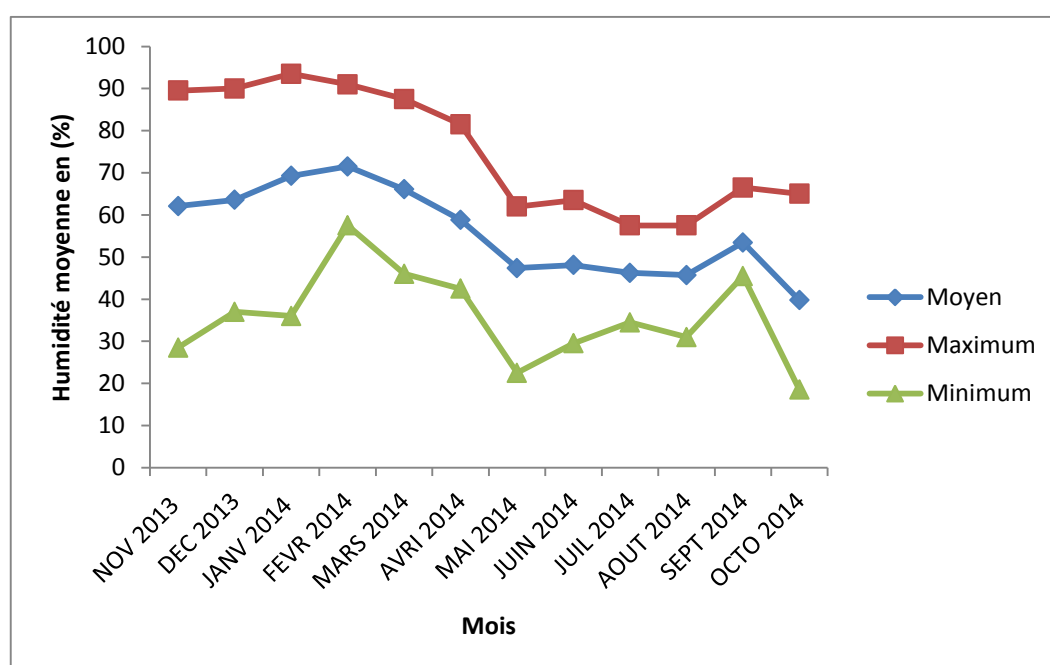


Figure 4: Evolution de l'humidité moyenne mensuelle de la ville de KASBA TADLA durant la période de Novembre 2013 et Octobre 2014

L'allure de notre graphique montre deux phases bien distinctes. En première lieu, une période allant du mois de Novembre jusqu'au mois d'avril, où l'humidité enregistré a dépassé les 60%. Plus une deuxième phase allant du mois de Mai au mois d'octobre où l'humidité est diminuée de moitié pour atteindre 30%

7. Les précipitations en (mm)

Les précipitations interviennent essentiellement pendant les premiers mois de la campagne agricole (Novembre, Décembre et Janvier) (Figure 5) et se prolongent jusqu'au mois de Mai, avec quelques averses orageuses durant la période estivale.

Source : Station métrologique Kasba Tadla

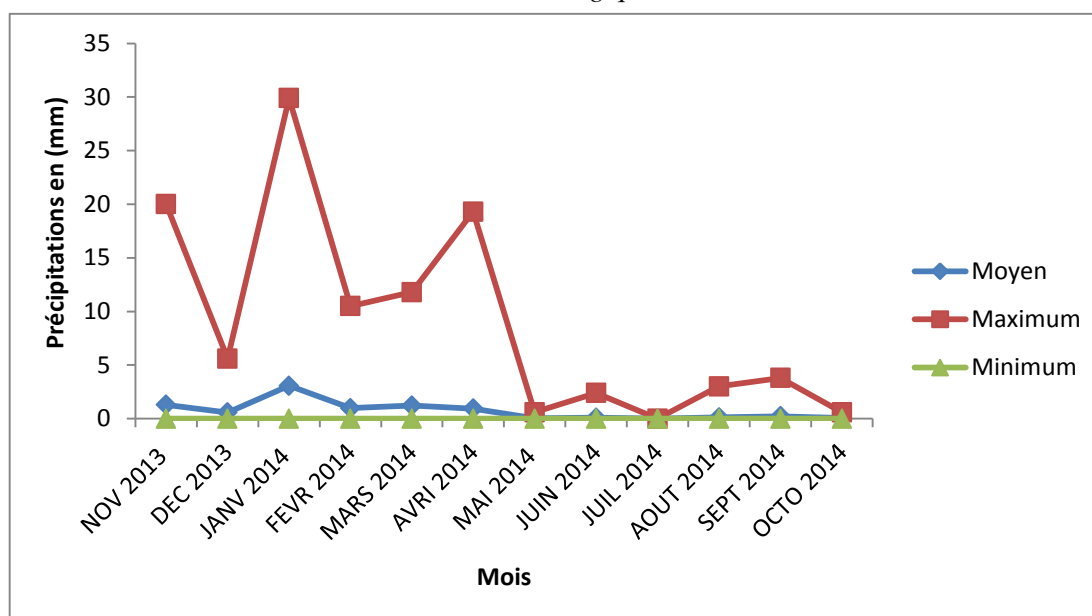


Figure 5: Fluctuation des précipitations totale mensuelles moyenne de la ville de Kasba Tadla en (mm) durant la période de Novembre 2013 et Octobre 2014

La valeur des précipitations mensuelles moyennes durant le mois de Janvier a atteint un maximum de 30 mm. Notre graphique représente deux phases. Une première phase pluvieuse qui connait des précipitations importantes et qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril avec une totalité des précipitations durant cette période de l'ordre de 245 mm. Et une deuxième phase sèche allant du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre est où on a enregistré une valeur de l'ordre de 15 mm.

8. Le vent en (m/s)

Le vent est un déplacement d'air au sein de l'atmosphère, l'air s'écoule en général irrégulièrement entraînant une forte variabilité du vent en direction et en force. C'est pourquoi, les météorologues mesurent le vent instantané qui varie sans cesse et le « vent moyen » calculé sur une période de 10 minutes.

Le vent est donc un déplacement d'air, produit par la force du gradient de pression ; soit un déplacement de l'air à partir des zones de haute pression (Anticyclone) vers les zones de basse pression (dépression).

Les résultats des forces du vent ont été obtenus de la station météorologique de la ville de Kasba Tadla durant la période entre le mois de Mars 2014 au mois d'Octobre 2014.

Source : Station météorologique Kasba Tadla

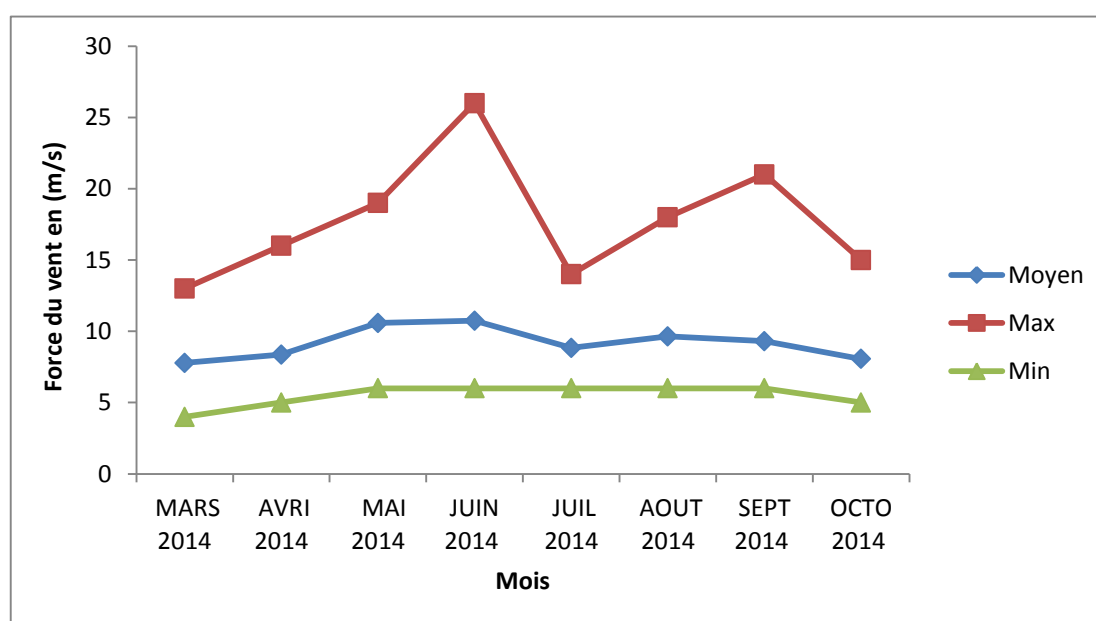


Figure 6: Evolution de la force du vent maximale instantanée quotidienne en (m/s) à la ville de Kasba Tadla durant la période entre le mois de Mars 2014 et Octobre 2014

Les résultats obtenus montrent qu'il y a deux types de vent que connaît la ville de Kasba Tadla. Le vent de la période pluvieuse qui est considéré fort et humide, et un vent sec et chaud durant la période sèche, c'est le chergui chaud (Figure 6).

C. Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla

La connaissance de la composition des DM est indispensable pour leur bonne gestion. Elle permet de choisir les techniques de collecte et de transport et le mode de traitement ou de valorisation convenable.

L'objectif de ce travail est de caractériser les déchets de la ville de Kasba Tadla en portant l'attention sur les deux grandes catégories qui provoquent des nuisances à l'environnement et à la santé humaine :

- Déchets biodégradables (putrescibles, papiers, cartons), générant des odeurs de biogaz et des lixiviats très chargés en matière organique.
- Déchets dangereux, générant des molécules toxiques entraînées par le biogaz et des lixiviats chargés en molécules organiques ou minérales toxiques.

I. Evolution du tonnage des déchets ménagers à la ville de Kasba Tadla

Les problèmes de gestion des déchets ménagers (DM) à la ville de Kasba Tadla sont liés à leur quantité qui ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre et ceci est principalement dû à la croissance démographique, au développement économique et à l'amélioration du niveau de vie de la population. Cette évolution n'a pas été accompagnée par des mesures adéquates pour l'amélioration de la gestion de ces déchets solides, malgré l'adoption de la loi 28/00 visant l'organisation de ce secteur. Par ailleurs, la capacité de la commune à assumer cette mission est dépassée et ceci à cause des contraintes suivantes :

- L'insuffisance des moyens financiers alloués au secteur ;
- Le faible taux de couverture de la taxe d'édilité ;
- L'inadaptation des moyens matériels mobilisés ;
- L'insuffisance du taux de collecte (85%) ;
- L'absence d'une filière adaptée de traitement des déchets ;
- L'intervention du secteur informel par la récupération de matériaux à valeur économique ;
- L'insuffisance des programmes de sensibilisation.

Ces contraintes particulièrement et d'organisation rendent la mise en décharge, l'unique moyen de gestion adopté par la municipalité. Cette situation a entraîné la création d'une décharge sauvage qui présente des effets négatifs sur la santé de l'Homme et sur l'environnement.

Pour toutes ces contraintes la commune urbaine de la ville de Kasba Tadla a décidé la délégation des services de collecte et nettoyage à une société privé plus professionnelle dans le domaine pour la gestion des déchets ménagers et assimilé depuis l'année 2009.

Alors que la gestion de la décharge sauvage de la ville est jusqu'à maintenant sous la responsabilité de la commune sans aucun aménagement.

Tableau 9: Evolution des déchets ménagers durant la période entre 2009 et 2015 de la ville de KASBA TADLA

Années	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Qté des déchets ménagers T/an	10950	11411	11536	11663	11792	11922	12052

II. Détermination de l'humidité des déchets ménagers de la zone d'étude

Méthodologie

Nous avons déterminé l'humidité des déchets par le séchage naturel à l'air libre. Les échantillons sont prélevés et conditionnés dans un filet. Ils sont pesés, suspendus au soleil, pesés régulièrement à l'aide d'un « crochet peseur » jusqu'à stabilisation du poids. La quantité prise en compte pour cette détermination correspond à un poids de 500 Kg (*Zahrani F, 2006*). Cette opération a été réalisée 5 fois durant le mois de Janvier et Juillet.

Présentation des résultats

Les résultats montrent que l'humidité des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla varie entre un maximum de 60% et un minimum de 56% avec la moyenne est 59 % (Tableau 10). Les résultats trouvés à la ville de Kasba Tadla montrent un accord avec ceux qui est mentionné par la littérature à l'échelle du Royaume, qui affiche une moyenne d'humidité d'environ 58% (*Souabi et al, 2011*). Les valeurs élevées de l'humidité des DM permettre d'avoir des quantités importantes des lixiviats produites lors du transport de ces déchets vers la décharge.

Tableau 10: Détermination de l'humidité des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla

Numéro d'échantillon	Masse des déchets humide en (Kg)	Masse des déchets secs en (Kg)	Taux d'humidité en (%)
----------------------	----------------------------------	--------------------------------	------------------------

E1	500	196	60
E2	500	203	59
E3	500	217	56
E4	500	189	60
E5	500	209	58
Moyenne	500	202,8	59
Ecart type	0	8,24	1,3
Résultats	500±0	202,8±8,2	59±1,3

III. Caractérisation des DM de la ville de Kasba Tadla

1. Echantillonnage, lieux et temps de prélèvement

1.1. Modes d'échantillonnage

Le mode d'échantillonnage est une étape fondamentale pour la détermination de la qualité et la précision des résultats de la caractérisation des DM. Il est donc nécessaire de définir le contexte dans lequel les opérations de prélèvement ont été effectuées.

L'hétérogénéité des gisements de déchets et la variation au sein des populations rendent l'échantillonnage plus complexe. Il doit tenir compte du zonage, de la période (variation saisonnière), de la fréquence de collecte de l'échantillon et de la source de l'échantillon collecté (*Aloueimine et al., 2006 a*). La technique d'échantillonnage doit être choisie de manière à avoir un échantillon le plus représentatif de la population (déchets, bennes ou ménages) et ainsi à minimiser au maximum les biais dans les résultats. L'enjeu est donc de taille et il faut recourir à une combinaison de technique. (*Nordtest method, 1995*). Le mode d'échantillonnage adopté au cours de notre travail est l'échantillonnage aléatoire simple. Toutes les tranches la population a la même chance théorique d'être dans l'échantillon sélectionné. Cet échantillonnage aléatoire est dit parfait si toutes les variations au sein de la population sont représentées dans l'échantillon, et par conséquent, ce dernier est parfaitement représentatif de la population. Dans ce cas, les unités formant l'échantillon sont déterminées, par exemple, en numérotant toute les unités et en choisissant celles qui constituent l'échantillon selon des tables de nombres aléatoires. Cet échantillonnage est souvent utilisé dans le choix des quartiers, des ménages ou des camions déversant leurs déchets à la décharge.

1.2. Poids de l'échantillon des déchets à trier

La taille de l'échantillon a une influence fondamentale sur la précision des estimations réalisées sur les caractéristiques de la population-mère. D'après les normes AFNOR, « un échantillon est représentatif lorsque pour une propriété ou des propriétés que l'on veut mesurer, il manifeste les mêmes caractéristiques que la matière dont il est issu » (*Lanini, 1998*). La représentativité est souvent une notion qualitative, empirique. Intuitivement, plus la taille de l'échantillon est importante, plus il est représentatif. Certains préconisent des prélèvements dont la taille est au moins trois fois plus grande que celle de leur plus grand composant (*Lanini, 1998*). Les études de caractérisation des déchets ménagers proposent différentes tailles (masse) d'échantillon à trier en fonction de l'approche d'échantillonnage choisie et des résultats attendus de l'étude. La masse de l'échantillon de déchets à trier peut dépendre de plusieurs facteurs d'ordre économique, de commodité et ou en fonction de l'objectif que l'on se fixe pour cette caractérisation (*SENES, 1999*). Différentes masses de déchets ont été proposées dans la littérature pour satisfaire les précisions requises. La Commission Européenne recommande 100 kg de déchets (*Swatool, 2004*) ou encore 150 kg provenant de 33 unités territoriales différentes (*Diop, 1988*). Dans *SENES (1999)*, différentes études ont été conduites avec une variation des tailles d'échantillon très importante. Selon cette même source citée dans *Aloueimine (2006 a)*, la méthode « California Integrated Waste Management Board (CIWMB) » recommande de 25 à 50 échantillons par an d'un poids total de 90 kg dans le cas des études à la décharge et de 57 kg environ pour les études à la source répartis en deux saisons.

Pour une meilleure représentativité des échantillons, il est préférable que la ville devrait être divisée en secteurs homogènes selon le niveau de vie et le type d'activité des habitants, la quantité minimale d'échantillon représentatif (QMER) ne doit pas être inférieure à 500 Kg après quartage pour éviter les erreurs de mesure (*ADEME, 1993*). D'autres méthodes proposent un poids de 100 kg à 200 kg après un quartage répété d'une charge entière de camion (*Mohee, 2002*), ou 30 échantillons d'un poids total de 200 à 300 kg prélevés sur une période de 6 mois (*Kathirvale et al., 2003*).

Pour notre étude nous avons essayé d'avoir une (QMER) très homogènes et qui inclus toutes les catégories d'habitation (niveau de vie élevé, niveau moyen et bas) à différent niveau de vie, la taille de l'échantillon dépasse 800 kg par prélèvement.

1.3. Tri et composition des déchets urbains

La connaissance de la composition des déchets est essentielle afin d'apprécier les possibilités de valorisation comme le compostage, la récupération de métaux ou d'autres matériaux recyclables (papier, carton, verre, plastique) et de prévoir ainsi la capacité des installations. Les prévisions des impacts sur l'environnement, en évaluant la nature et la quantité des émissions, permettent un meilleur contrôle sur le procédé et une anticipation des difficultés futures (*Morvan 2000, ADEME, 2005-a*).

La gestion efficace des déchets ne peut s'inscrire dans une vision durable que par la connaissance précise 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, éventuellement, la création de filières de valorisation matière (*ADEME, 2000 ; Enda, 1998 ; Mbulugwe et Kassenga, 2004 ; Mohee, 2002 ; Ojeda-Benitz et al., 2003 ; Wei et al., 2000 ; Aye et Widjaya, 2006 et Ngnikam et al., 2002*). 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 PED grâce à la récupération des différents matériaux et à leur vente par les récupérateurs (comme par exemple les carcasses de voitures, des objets contenant du fer, ...) (*Aye et Widjaya, 2006 ; Zaïri et al., 2004*). La composition des déchets varie beaucoup d'un pays à un autre, dans différents continents (*Diop, 1988 ; Zaïri et al., 2004 ; François 2004 ; Von Blottnitz et al., 2001 ; ADEME, 2005-b et François, 2004*).

La connaissance de la composition des ordures ménagères est indispensable pour une bonne gestion. Elle éclaire les choix techniques et d'organisation, permet des gains d'efficacité et une meilleure maîtrise de coûts au niveau local. Les principales catégories des déchets déjà cités, peuvent être subdivisées en sous catégories *Charnay en 2005 et François en 2004*. Il est important de savoir que la fraction putrescible comprend les déchets d'alimentation et les déchets verts, la fraction de combustibles non classés (CNC) se compose de bois, de cuir, le caoutchouc et la fraction des incombustibles non classés (INC) comprend les matériaux inertes tels que les graviers et sables, pierres, coquillage et cendres (*MBT, 2003 ; Project SWA-Tool, 2004*).

Le choix du nombre de catégories suivant lesquelles les déchets sont triés, dépend des objectifs de l'étude et des moyens disponibles pour réaliser celle-ci. Les principales composantes des déchets urbains sont celles qu'on trouve dans une poubelle ménagère répertoriée par l'ADEME dans le MODECOM en 1993 (*MODECOM, 1993*) et reprise dans

la norme XP X 30 – 408 (AFNOR, 1996) (putrescibles, papier, carton, textile, textile sanitaire, plastiques, combustibles non classés (CNC), incombustibles non classés (INC), verre, métaux, spéciaux) en plus des déchets encombrants (gros emballage, meuble, carcasse de voiture, etc.) et des autres déchets urbains (commerce et artisanat, résidu de voirie et d'assainissement, déchets biomédicaux etc.).

La composition des déchets ménagers donnée par les différentes études montre qu'on générale cette composition est variable d'un pays à l'autre avec différents pourcentages en fonction des niveaux de vie des consommateurs (Hwang, 2012 ; Beylot et Villeneuve, 2013 ; Ezequiel et al., 2013 et Ajir, 2002). En effet, on constate aussi une nette différence de production des fractions papiers et cartons, provenant des emballages, entre les pays industrialisés et les PED. Cette fraction dans les pays industrialisés peut dépasser 40 % de la masse globale des déchets comme au Japon (Charnay, 2005). D'autres fractions, provenant des emballages, montrent aussi cette différence liée au mode de consommation et reflète la disparité entre les niveaux de vie dans les PED et les pays industrialisés. Il s'agit notamment du verre qui varie de 1 à 5 % environ en PDE alors que ce taux peut atteindre 13 % en France et au Japon (Charnay, 2005). Par ailleurs, grâce aux politiques menées dans les pays industrialisés visant à réduire à la source les taux des plastiques, qui proviennent en grande partie des emballages, cette catégorie a tendance à diminuer dans les poubelles ménagères au profit d'autres fractions moins polluantes. Par contre, l'absence de politique similaire dans les PED fait que cette catégorie demeure encore très présente et peut représenter plus de 20 % de la masse des ordures ménagères (Aloueimine et al. 2006 b). Les résultats obtenus dans d'autres études, permettent d'avoir une idée de la variation de composition de certaines catégories des déchets (Aloueimine, 2006 b ; ANPE, 2004 ; ANRED, 1986 ; ANRED, 1992 ; Arykan, 1997 ; CEN, 2004 ; Cointreau-Levine, 1996 ; INM, 2003 ; Matejka et al., 2001 ; MEAT, 2003 ; METAP-PRGDS-Algérie, 2005) METAP-PRGDS-Palestine, 2004 ; METAP-PRGDS-Syrie, 2004 ; METAP-PRGDS-Tunisie, 2004 ; MODECOM, 1993 et N'gnikan, 1997).

La composition des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla a été déterminée par un tri manuel par catégories. Nous avons effectué dans un premier lieu la collecte de 12 bacs de 360L des déchets ménagers répartis sur trois types de zones (zone villa, zone économique et une zone d'activité), ensuite nous avons effectué le pesage de la benne satellite dans un pont bascule. L'étape suivante est le versement des déchets collectés sur une plateforme de tri. Après, nous avons réalisé le tri des déchets versés selon différentes fractions, Puis, nous

avons récupéré les matières triées dans des sacs en plastiques, et en fin nous avons pesé des sacs de la matière triée. L'essai a été répété chaque mois durant la période entre l'année 2011 et 2013.

2. Résultats du tri

L'opération de tri relatifs à l'analyse de la composition des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla sont représentés sous forme de 10 catégories Plastique (PET incolore), Plastique (PET coloré), Plastique (PVC), Film plastique, Papier carton, Aluminium, Fer, Verre, Textile et la matière organique Les résultats obtenus sont reportés au tableau suivant.

Tableau 11: Composition des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla entre 2011 et 2013

Désignation	Moy 2011		Moy 2012		Moy 2013	
	Poids (kg)	Pourcentage (%)	Poids (kg)	Pourcentage (%)	Poids (kg)	Pourcentage (%)
Plastique						
(PET incolore)	14±1,02	1,65±0,11	5±0,65	0,65±0,11	5±0,65	0,56±0,09
Plastique (PET coloré)	25±0,83	2,97±0,29	33±1,95	4,27±0,41	3±0,34	0,34±0,04
Plastique (PVC)	16±1,14	1,9±0,24	3±0,34	0,39±0,06	4±0,55	0,45±0,07
Film plastique	42±1,19	4,98±0,49	65±5,47	8,44±1,11	94±12,54	10,61±1,57
Papier carton	45±0,79	5,34±0,49	68±7,47	8,82±1,27	97±11,63	10,96±1,57
Aluminium	0,5±0,12	0,06±0,01	0,5±0,12	0,06±0,02	1±0,22	0,11±0,02
Fer	9±0,8	1,07±0,15	9±0,8	1,17±0,15	4±0,55	0,45±0,06
Verre	9±1,13	1,07±0,19	17±2,17	2,21±0,38	12±1,95	1,35±0,19
Textile	16±1,12	1,9±0,22	26,5±3,1	3,44±0,52	20±3,77	2,27±0,5
MO et refus	673±76,32	79,06±1,98	550±74,16	70,54±3,29	650±69,45	72,9±3,48
TOTAL	849,5±76,64	100	777±72,3	100	890±62,5	100

D'après ces résultats (Tableau 11), la classe dominante est celle de la matière organique et refus par un pourcentage moyen de (74%). Cette dernière varie selon la nature et la composition des déchets entreposés. Les classes de déchets restantes regroupent le papier (3%), le plastique (9 %), alors que les quantités d'aluminium, du fer et du verre sont très négligeables. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans d'autres villes du Maroc et d'autres pays (*Hwang, 2012, Beylot et Villeneuve, 2013, Ezequiel et al., 2013 et Ajir, 2002*).

3. Degré d'engagement des citoyens à l'opération du tri à la source

Une bonne gestion des déchets commence par leur réduction à la source par le tri et les éliminés séparément, de manière à ne pas polluer les uns par les autres pour une meilleure valorisation. L'installation de conteneurs de tri sélectif nécessite un suivi rigoureux par un responsable pour s'assurer la régularité de la collecte. Pour réussir l'opération de tri à la source, il est important de mener des campagnes de sensibilisation et d'information pour le personnel des services de collecte et aux citoyens. Ainsi l'engagement des citoyens est un garanti de la réussite de la mise en place de ce mode de collecte. Il importe également de donner au personnel des informations précises sur les principes de gestion des déchets et de trouver des solutions aux problèmes rencontrés. Mais avant d'accéder à la prestation. L'introduction de tri à la source est importante d'avoir au probable l'engagement des citoyens.

Afin d'avoir une idée sur le degré d'engagement des citoyens au tri à la source une enquête a été amené pendant l'année 2014 pour collecter le point de vue des habitants sur l'engagement à l'opération du tri à la source et voir le niveau de conitions sur le domaine de la gestion des déchets en général. La même opération a été refaite durant l'année 2015 pour voir la réaction et l'impact de la campagne de sensibilisation de 2014 sur les mêmes endroits, dans le but de conclure la faisabilité d'appliquer le tri à la source.

3.1. Résultat de l'enquête préliminaire de tri à la source en 2014

Avant de commencer notre enquête sur terrain nous avons réalisé un questionnaire avec cinq critères qui sont liée directement à l'enquête de tri à la source au niveau des foyers choisis : La fourchette d'âge des citoyens, le nombre de personne qui vive dans le foyer, ainsi sur la simplicité ou la complication de tri à la source, et les contraintes du tri à la source.

Le choix des quartiers a été effectué d'une manière homogène le plus possible en tenant compte des différents niveaux socioéconomique de vie. Le nombre total des personnes enquêtées en 2014, est de l'ordre de 710 personnes. Les citoyens contactés au cours de l'enquête sont répartis en trois catégories selon l'âge :

- La première catégorie de moins de 25 ans
- La deuxième entre 25 et 39 ans
- La dernière 40 ans et plus.

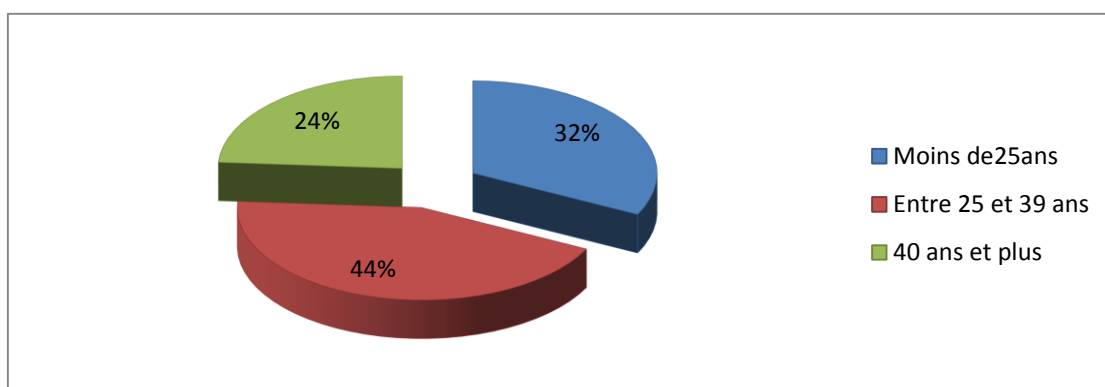


Figure 7: Répartition de l'âge des personnes enquêtées

La répartition des enquêtes selon l'âge (Figure 7) montre que la catégorie qui varie entre 25 et 39 ans est la plus dominante avec un pourcentage de plus de 40%. Suivie par la catégorie de moins de 25 ans avec une valeur de l'ordre de 32 %. L'âge de la troisième catégorie des citoyens contactés est moins de 25 ans avec un pourcentage de 24%. Ce qui justifie que notre étude est focalisée sur des gens matures est qui ont des notions sur les menaces provoquées par les déchets soit sur l'homme ou sur l'environnement.

Pour le critère du nombre des personnes vivant dans le foyer nous avons le partagé en trois classes, le premier s'intéresse à une seule personne, le deuxième contient de 2 à 4 personnes et le dernier de 4 à 6 personnes. Les résultats montrent que les foyers formés d'une seule personne sont très faibles avec un taux qui ne dépasse pas 10%, par contre les foyers présentés par deux personnes et plus représentent 90%.

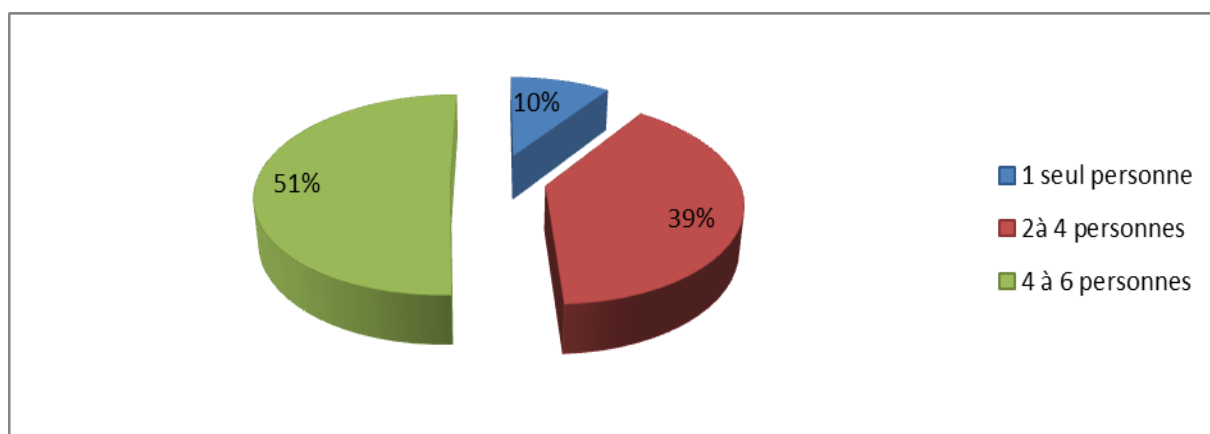


Figure 8: Représentation graphique du nombre de personnes vivant dans le foyer

D'après ce critère (Figure 8) nous avons constaté que les personnes qui vivent seules représentent 10 %, le nombre des personnes de 2 à 4 représente 39 % et de 4 à 6 personnes représente 51 %. Ces résultats montrent que l'adaptation de l'opération de tri devant être assez délicats, car il serait très difficile de convaincre plusieurs personnes par foyer. Ce qui nécessite un énorme travail de sensibilisation.

Pour se rendre compte sur la question relative à la facilité demande le tri « Est-ce que le tri à la source est un geste facile ou non ? ». Trois réponses ont été détectées par l'ensemble des citoyens.

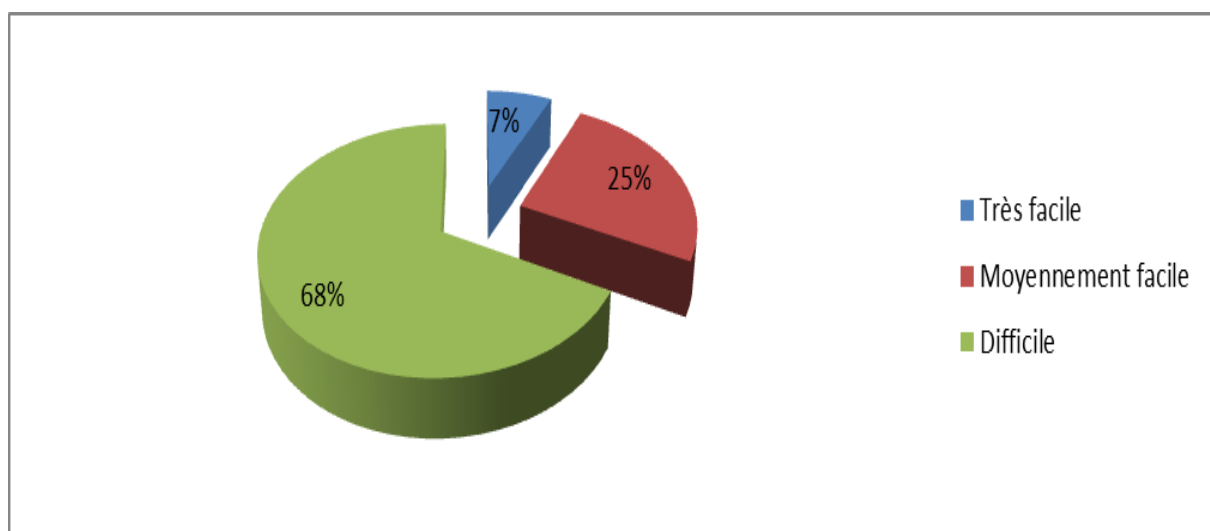


Figure 9: Répartition des citoyens par réaction à la facilité de l'action du tri

Les résultats montrent que la majorité des personnes enquêtées (68%) trouve que le tri à la source est très difficile (Figure 9). Les citoyens qui considèrent que cette opération est moyennement facile sont de l'ordre de 25%. Par contre, la proportion des personnes qui ont

confirmés que le tri à la source est une opération très facile est très faible (7%). Ces résultats montrent une faible prise de conscience vis-à-vis du tri à la source. Ce constat est dû à la faible connaissance des avantages du tri à la source.

En général, les causes avancées qui empêchent les citoyens à pratiquer au tri à la source, sont de trois grandes catégories ;

- Manque d'informations,
- Manque de place dans les foyers,
- Manque de temps.

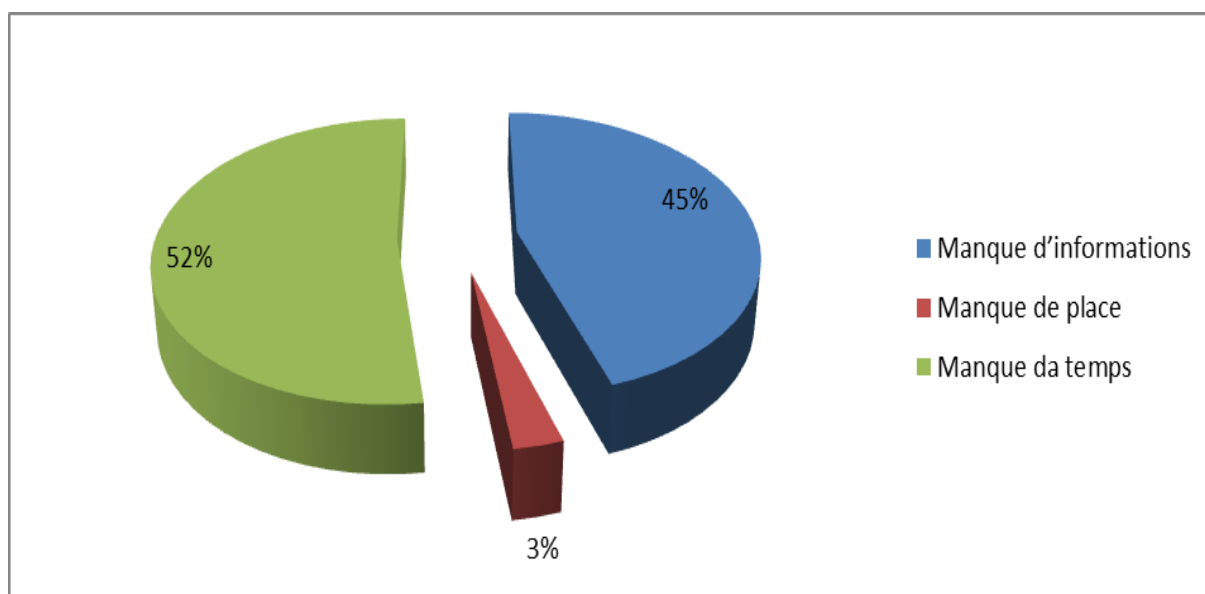


Figure 10: Principaux obstacles pour l'opération du tri à la source

Les résultats obtenus (Figure 10) montrent que plus de la moitié des citoyens (52%) annoncent que le manque du temps est l'obstacle pour faire le tri à leur maison contre 45 % qui confirment qui n'ont pas informé pour participer à cette opération. Les personnes ayant la contrainte de place et l'espace pour l'opération de tri, sont représentées seulement par 3 %.

Enfin et pour verifier le niveau de la prise de consience des citoyes vise à vise du tri à la source et son impact sur l'environnement en général. Les reponses des citoyens enquettés sont repartis en trois grandes catégories.

- Le tri contribué à la protection de l'environnement,
- Le tri à la source facilite le travail de la collecte par la dimunition des quantités des déchets collectés,

- Le tri n'évoque rien pour eux.

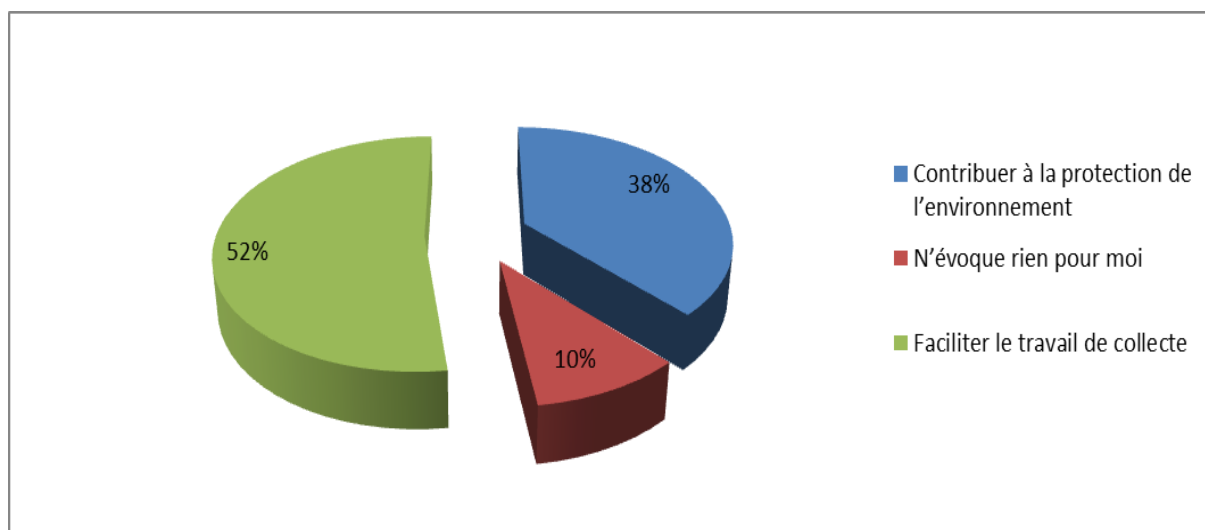


Figure 11: Répartition des réponses des citoyens vis-à-vis de la relation des déchets et l'environnement

Les résultats montrent que 52% considèrent que la collecte est très facile alors que 38% considèrent que le tri à la source est un geste qui contribue à la protection de l'environnement mais 10% ne sont pas intéressés à cette action.

Devant cette situation et pour mieux impliquer les citoyens au tri à la source, une campagne de sensibilisation a été réalisée. Cette campagne a été portée sur l'importance de tri et son impact sur l'environnement.

3.2. Comparaison des résultats de l'enquête après sensibilisation des citoyens en 2015

La même enquête a été refaite durant l'année 2015 sur les mêmes quartiers pour voir l'impact de la campagne de sensibilisation déjà réalisée en 2014 sur le comportement des citoyens. Nous avons contacté presque le même nombre de personne, nous sommes focalisés sur les trois dernières questions relatives au tri à la source.

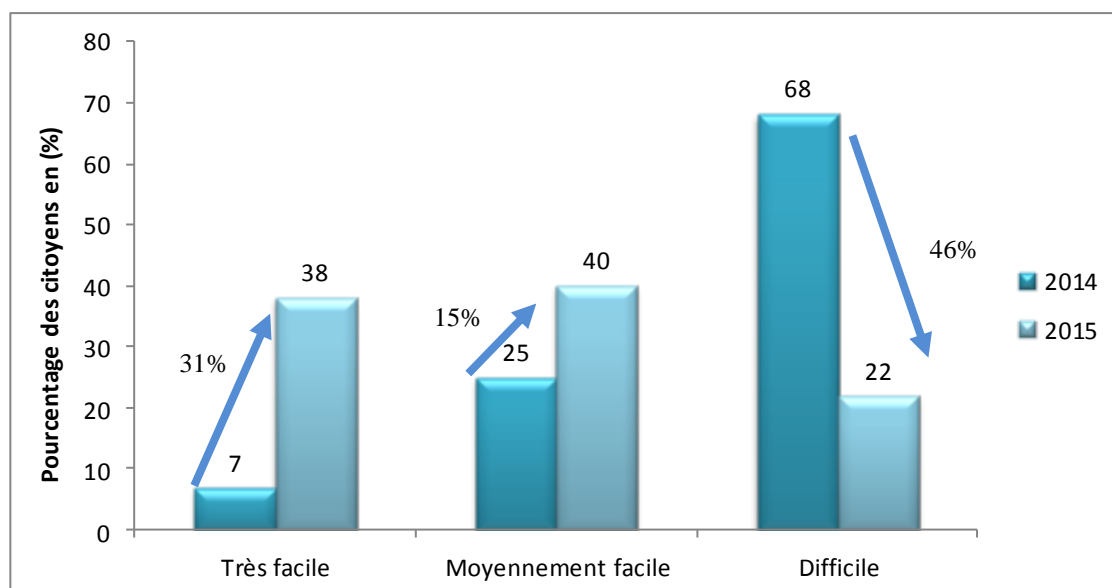


Figure 12: Comparaison entre les résultats des enquêtes de 2014 et 2015 pour la difficulté qui présente le tri à la source

D'après les résultats obtenus durant l'année 2015 et en comparaison avec ceux obtenus en 2014, on constate que l'effet de la campagne de sensibilisation a un impact très positif envers le tri à la source. En effet, la réaction a été très favorable à la participation des citoyens au tri avec une nette amélioration. Les citoyens qui ont considérés que le tri à la source est très difficile en 2014 représentent un pourcentage de 68% alors que pour les résultats obtenus en 2015, ce taux a diminué pour arriver à une valeur de 22% soit une chute de 46%. En ce qui concerne les personnes qui ont répondu que le tri à la source est moyennement facile en 2014 ont été de l'ordre de 25%, alors pour l'année 2015 cette valeur augmente pour atteindre 40% soit une augmentation de 15%, et pour le nombre des citoyens qui ont dit que le tri à la source est très facile, le pourcentage a passé d'une valeur de 7% à un taux de 38% soit une augmentation de 31%.

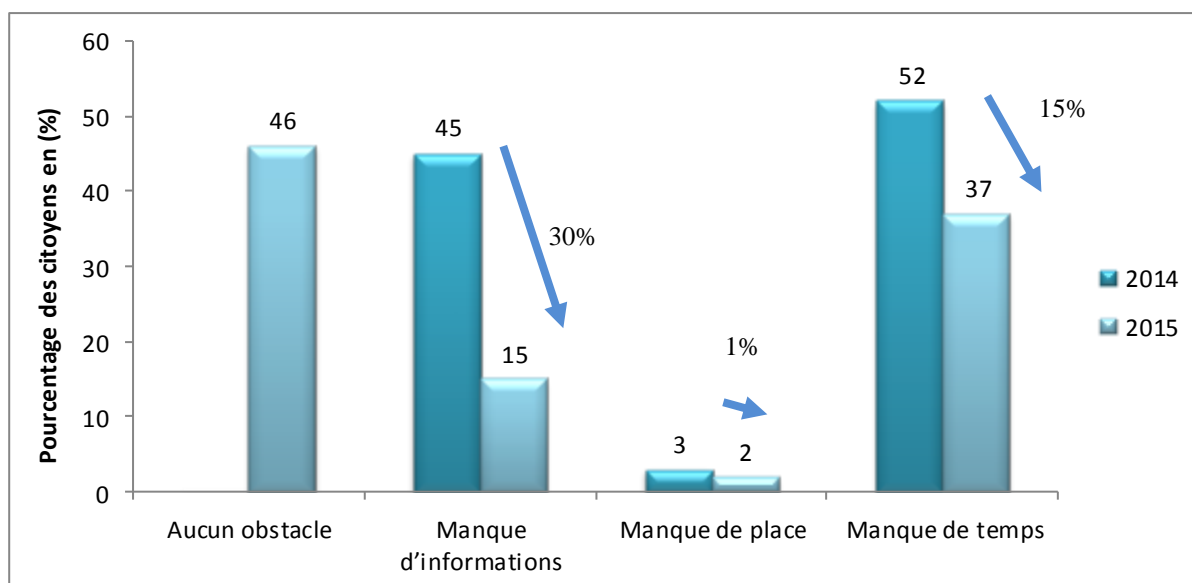


Figure 13: Comparaison entre les résultats des enquêtes de 2014 et 2015 relatives aux obstacles du tri à la source

Concernant les résultats relatifs aux obstacles du tri à la source durant l'année 2015, En plus les contraintes énumérées en 2014, une nouvelle réponse a été évoquée par les citoyens en 2015. Aussi, 46 % des enquêtes ont mentionnés qu'il n'y a pas d'obstacle pour la réalisation du tri à la source. Le nouveau résultat témoigne de la nouvelle réflexion positive des citoyens et leur implication à l'opération du tri et leur motivation pour surmonter les obstacles. Ainsi ; la cause du manque d'information en 2014 passe d'un pourcentage de 45 % pour atteindre une valeur de 15 % en 2015 soit une diminution de 30 %. En ce qui concerne les personnes qui ont annoncés le manque de temps pour faire le tri à la source en 2014 ont été 52 %, alors pour l'année 2015 cette valeur a chuté pour atteindre 37 % soit une diminution de 15%. Le taux des citoyens qui ont considéré que l'obstacle au tri à la source est lié au manque de place a été de 3% en 2014, contre seulement 2% en 2015.

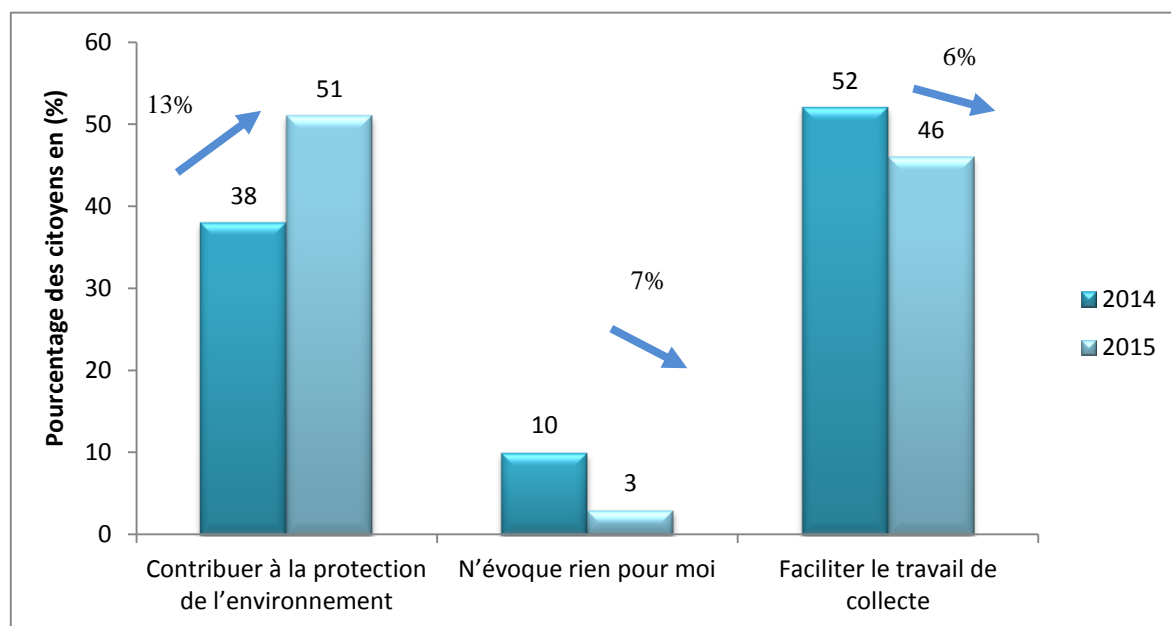


Figure 14: Comparaison entre les résultats de l'enquête 2014 et 2015 pour la prise de conscience du volet environnementale du tri à la source

Les résultats montrent que 51% considèrent le tri à la source est un geste qui contribue à la protection de l'environnement en 2015 soit une augmentation de 13% par rapport à l'année 2014. Pour les citoyens qui ont répondu que le tri facilite le travail de collecte ont été de l'ordre de 46 % en 2015 contre 52 % en 2014 soit une chute de 6%. Enfin pour les citoyens pour lesquels le tri à la source n'évoque rien sont passés d'une valeur de 10% durant l'année 2014 pour atteindre une valeur de 3% durant l'année 2015

L'analyse de tous ces résultats confirme que la campagne de sensibilisation durant l'année 2014 sur le tri à la source a donné des résultats très satisfaisants et elle a laissé un impact positif sur les attitudes et le comportement des citoyens vis-à-vis de la gestion des déchets ménagers. Les citoyens ont été présentés une implication importante pour réaliser le tri à la source, qui va être une source très importante de la matière recyclable de bonne qualité.

Malgré ; la non application du tri à la source, permet le mélange de cette matière recyclable avec différents éléments des déchets et transporté vers la décharge. La récupération de substances recyclables des déchets se fait lors du transport au bien à la décharge par des récupérateurs informels, mais toujours après la diminution de la qualité de la matière première de ces produits. Avec toutes ces contraintes la récupération informelles reste une source de revenu importante pour plusieurs familles à la ville de Kasba Tadla.

D. Récupération informelle

I. Modes de récupération

La récupération informelle des déchets est réalisée à différents niveaux. Le premier niveau, est effectué par des éboueurs du service officiel au moment de la collecte, ainsi que par des récupérateurs ambulants qui trient et récupèrent les déchets recyclables dans les points de la pré-collecte (en porte-à-porte ou bien dans les conteneurs). Cette pratique s'observe dans l'ensemble de la ville de Kasba Tadla et concerne tous les matériaux susceptibles d'être valorisés. Le deuxième niveau de récupération effectuée par les chiffonniers dans les décharges justes après le vidage des déchets.

Une fois récupérés, les matériaux sont vendus à des acheteurs ambulants. Ces récupérateurs ambulants effectuent aussi des tournées dans les quartiers afin d'acheter des déchets recyclables collectés par des individus à des prix inférieurs à ceux pratiqués dans la décharge.

Il existe d'autres types de récupérateurs, ce sont les récupérateurs intermédiaires. Ils jouent un rôle de revendeur des matériaux récupérés pour les industries et les exportateurs. Ils broient ces matériaux ou les compressent avant de les revendre aux industriels.

1. Enquête sur la matière récupérable à la décharge sauvage de la ville de Kasba Tadla

D'après notre enquête sur terrain, la décharge sauvage de la ville de Kasba Tadla est le siège d'une intense activité informelle et de récupération des matériaux recyclables. De 6h à 18h, une vingtaine de récupérateurs cherchent les produits qu'ils pourront récupérer. La fourchette d'âge varie entre 20 et 56 ans. La plupart sont mariés avec des enfants, 80% de ces chiffonniers sont des analphabètes, ils affirment qu'ils ne sont jamais allés à l'école.

Une enquête a été réalisée sur terrain en deux campagnes, la première en 2012 et une deuxième pendant 2015 pour le suivi des activités des récupérateurs. Les résultats obtenus montrent que cette opération de récupération est bien organisée. Les récupérateurs trient tous les matériaux recyclables qu'ils vendent sur place aux récupérateurs intermédiaires (Tableau 12).

Tableau 12: Prix des différents éléments récupérables

Matière récupérée	Prix de vente aux récupérateurs ambulants (DH/Kg)	Prix de vente aux récupérateurs intermédiaires (DH/Kg)
Boite	0.5	0.6
Fer	1.5	2
Plastique (PET)	1	1.5
Chaussure de plastique	3	3.5
Aluminium	7	8.5
Verre	0.5	0.6
Les os	0.5	0.6

Ces activités informelles présentent à la fois des avantages et des inconvénients. Les avantages sont la création d'emploi pour plusieurs récupérateurs ; ils ont gagné un moyen journalier de l'ordre de 100 DH, la réduction des sources de pollution par des métaux lourds (batteries, ferrailles...), la réduction du volume des déchets stockés et le gain d'espace, l'amélioration des conditions de compaction et de déplacement des engins sur les déchets (blocage des chaînes des bulls, crevaisson des pneus des chargeurs et des camions). Par contre les inconvénients sont l'absence d'hygiène, de sécurité pour le travail des récupérateurs et les risques des maladies potentielles.

E. Mode de gestion du secteur des DM à la ville de Kasba Tadla et taux de satisfaction client

Dans le but de gérer les problèmes de collecte des déchets solides et de nettoyage, la commune urbaine de Kasba Tadla s'est engagée dans la délégation de gestion des services de nettoyage et de collecte des déchets à la société SOS NDD. Le contrat de gestion des déchets, dont la durée a été fixée pour sept ans, le démarrage officiel a été le 1^{er} avril 2009. Le choix de cette option a été préféré pour répondre aux objectifs d'amélioration et de gestion efficace et obtenir une meilleure qualité du travail effectué au niveau du ramassage et du transport des déchets, propreté des aires d'entreposage des déchets, nettoyage des marchés et lieux publics. La délégation est sensée également apportée plus de rapidité

d'intervention et l'introduction de nouvelles méthodes d'organisation et de gestion pour amélioration de l'environnement.

Afin de connaître de près la gestion des DM à la ville de Kasba Tadla, par la société déléguée, un résumé des données techniques concernant les services de collecte des déchets ménagers et assimilés et toutes les autres activités qui accompagnent le suivi à savoir les interventions spéciales et les campagnes de sensibilisation et formation effectuées durant la durée du contrat.

- ✓ L'évolution du personnel affecté dans le service de collecte et nettoyage durant cette période ;
- ✓ Les moyens matériels existants (bennes tasseuses, Bennes satellites, bennes TP, et balayeuse mécanique) ;
- ✓ Le kilométrage parcouru par chaque engin ;
- ✓ La consommation du gasoil ;
- ✓ Les interventions spéciales à savoir les campagnes de sensibilisation des habitants et autres opérations d'urgences ;
- ✓ Les modalités d'exploitation des services (secteurs, circuits, fréquences et horaires, ...),
- ✓ Les contraintes du service durant la période de cette année et les solutions envisagées.

I. Présentation synthétique de la société de gestion des DM

Forte de sa longue expérience dans le domaine de l'environnement ; la société S.O.S. NDD maîtrise toutes les étapes des différents types de nettoyage. Depuis 1977, date de sa création, la société S.O.S. NDD n'a cessé de perfectionner ses modes opératoires et devenue pionnière dans tous les domaines liés aux opérations de nettoyage. Aussi ; la société S.O.S. NDD a entamé initialement son activité par la fourniture des prestations de nettoyage urbain et domestique. Grâce à la persévérance de l'équipe dirigeante et au professionnalisme de ses équipes, le domaine des déchets et l'assainissement liquide a été franchi avec succès.

II. Définition des Prestations contractuelles à l'exploitation de Kasba Tadla

Conformément aux clauses du cahier des charges, les prestations contractuelles concernant la mise en place publiques et l'exécution d'un plan de propreté pour la commune de Kasba Tadla comprenant : Le plan de collecte des DM, des encombrants, et des ordures des dépôts sauvages, ainsi que le transport des déchets collectés et leur déchargement à la décharge publique. Le nettoyage de la voirie ; les chaussés, les trottoirs, les caniveaux, les places et du mobilier urbain installé par la commune ainsi que le transport des résidus collectés et leur déchargement à la décharge publique.

1. Plan d'amélioration et d'optimisation de la collecte des DM et du nettoyage

La collecte des DM et le nettoyage constituent actuellement un des axes les plus importants dans une perspective d'amélioration et d'optimisation de la gestion des déchets. L'amélioration de la gestion des déchets solides municipaux, passe par la compréhension de la situation existante, la définition des objectifs et l'adéquation des moyens, humains, matériels et financiers pour atteindre à ces objectifs. L'élaboration du plan peut se faire avec une assistance technique extérieure mais doit rester sous la responsabilité d'un ingénieur municipal qui constituera le lien entre la commune et l'assistance technique externe. L'implication de l'ensemble des décideurs municipaux aux différentes étapes du plan est une condition de sa réussite.

La mise en place du plan d'amélioration suit la méthodologie du cycle de planification exécution - évaluation.

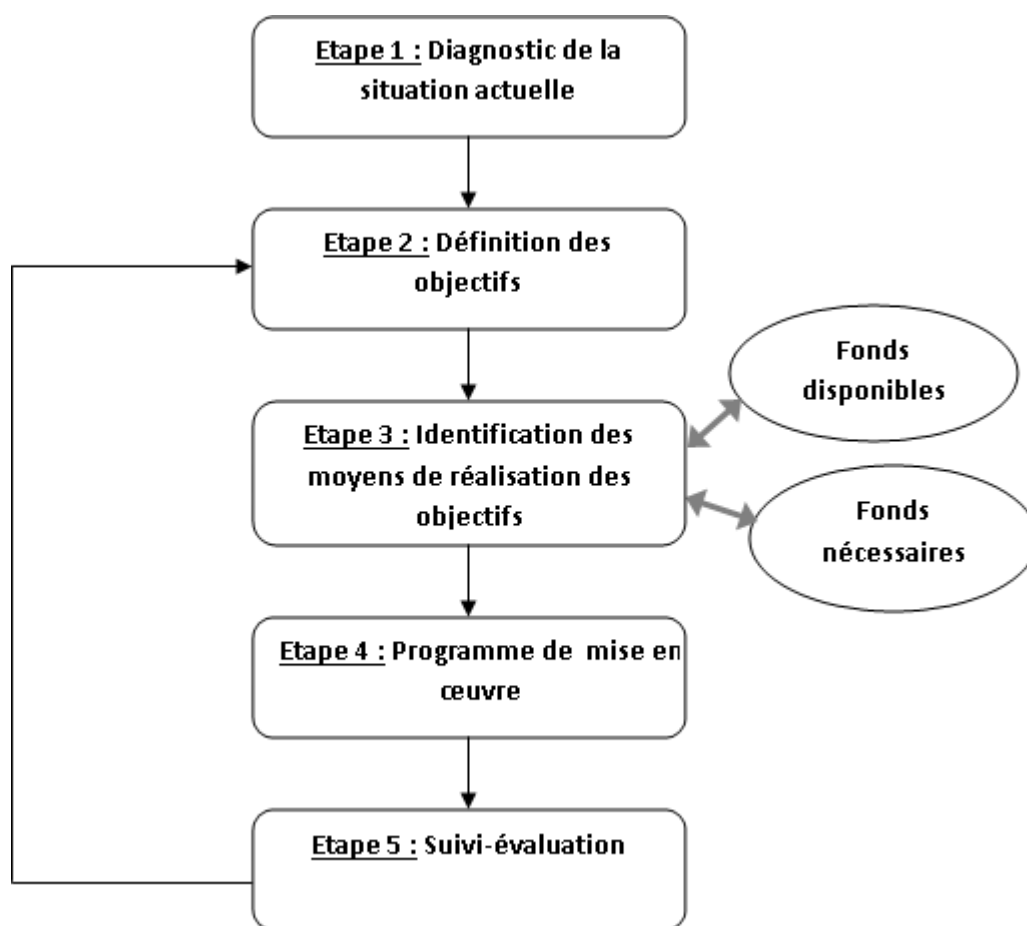


Figure 15: Organigramme méthodologique de la gestion d'une exploitation

2. Procédures de suivi et de gestion de l'exploitation

Le siège de la société SOSNDD à Kasba Tadla se trouve au niveau du parc qui est située au bord de la route régionale qui conduit à Fès à une distance d'un Km de la ville de Kasba Tadla. Il est constitué de bureau administratif et d'un parc auto, ce deuxième est exploite pour le stationnement des engins, lavage des engins et des conteneurs, la réparation et la maintenance des bennes.

Les personnels exécutent les taches suivant un programme bien défini, en fixant les horaires de travail, l'affectation des opérateurs par secteurs et les modes de répartition des jours de repos et de congés qui est toujours affiché sur un tableau dans le parc.

III. Bilan des moyens humains

Les activités de la collecte au niveau de la Commune de Kasba Tadla, sont sous la direction d'un Responsable d'exploitation qui assure :

- Le lien avec les services techniques de la Commune ;

- L'élaboration des conditions d'amélioration de la productivité du personnel et la responsabilité de la bonne gestion du matériel de collecte ;
- La veille à la bonne affectation des moyens de l'entreprise et à la réalisation des tâches élémentaires du contrat.

L'équipe d'encadrement est composée d'un responsable d'exploitation, un technicien et d'un chef personnel, qui veillent à la bonne affectation des moyens de l'entreprise et à la réalisation des tâches élémentaires du contrat.

IV. Service de Collecte

Le choix du mode de collecte le plus approprié dépend des facteurs suivants :

- ✓ Les pratiques de collectes existantes ;
- ✓ La densité de population et le type d'habitation ;
- ✓ Le volume et type de déchets générés ;
- ✓ La largeur des voies de communication ;
- ✓ Les distances à parcourir ;
- ✓ Les coûts associés à l'une ou l'autre des alternatives.

Les différents systèmes de collecte ont des conséquences sur l'état de propreté de la voirie, du coût et du rendement de la collecte. La conteneurisation au Maroc, ne concerne actuellement que les grandes villes et les communes qui ont délégué la gestion de ce service.

Le choix du type de conteneur roulant est important. Les expériences en cours actuellement au niveau de quelques villes du pays permettent de faire un certain nombre d'observation à prendre en compte dans la mise en place d'une politique de conteneurisation.

Les deux grands systèmes de collecte actuellement pratiqués à Kasba Tadla sont :

- La collecte porte à porte (PAP) la plus répandue. Le développement de la conteneurisation se fait actuellement à Kasba Tadla après la délégation du service de collecte.
- La collecte de quartier dans le cas où la voirie est inexistante ou en mauvais état, dans les zones où la densité de population est très forte, dans les quartiers clandestins ou les médinas. Cette collecte est aussi appelée collecte à conteneur de transport (collecte en apport volontaire).

1. Moyens matériels utilisés dans la collecte à Kasba Tadla

Les moyens matériels sont variés et adapté à chaque type d'agglomération (topographie, type d'habitat, type d'aménagement, etc.). On trouve aussi bien des bennes tasseuses que des bennes simples. Le personnel qui fait la collecte est lui-même qui réalise la mise en décharge des déchets.

Le budget du transport n'est pas séparé de celui de la collecte mais il est aisément estimable lorsqu'on maîtrise le circuit de la collecte et le trajet menant à la décharge. Le choix du type de véhicule de collecte est un des paramètres de l'efficacité et du taux de rendement de la collecte.

Les communes sont largement équipées ces dernières années de bennes tasseuses. Ces dernières sont bien adaptées aux déchets de faible densité.

A Kasba Tadla, les déchets sont déjà très denses, l'effet de réduction du volume est constaté sous des pressions de compactage élevées. L'affectation des véhicules se fait en tenant compte des paramètres spécifiques de chaque quartier.

Les engins utilisés pour la collecte à la ville de Kasba Tadla sont des engins à systèmes hydrauliques ; des Benne tasseuses de 16 m³ et 12 m³ et des bennes Satellites de 4 et 3 m³ pour accéder aux secteurs dont la collecte s'effectue d'une manière traditionnelle (PAP), et des benne TP qui permettent la collecte et l'évacuation des produits de nettoyage et de balayage.

Les rendements qui sont atteint par la collecte à Kasba Tadla sont des rendements optimaux de l'ordre de 100%. L'introduction de benne tasseuse de forte capacité accroît l'efficacité de la collecte. Cependant ces véhicules ne peuvent être introduits que sur des voies larges à Kasba Tadla et bien revêtues.

2. Définition des objectifs de la collecte

La détermination des objectifs de la collecte doit tenir compte des aspects suivant :

- L'amélioration des conditions d'hygiène et de santé publique de la population de la ville et la satisfaction des besoins du citoyen ;
- L'amélioration de la situation environnementale de la ville et la réduction de toute forme de pollution liées au DM ;

- L'augmentation des atouts pour le développement d'activités économiques telles que le tourisme.

Ces objectifs doivent être déclinés en actions quantitativement mesurables telles que :

- Taux de collecte des déchets produits c'est-à-dire étendre le taux de couverture du service à tout le territoire communal ;
- Moyens matériels et humains adaptés à l'évolution du tissu urbain ;
- Performances des moyens matériels (augmentation du tonnage collecté/véhicule) ;
- Performances des moyens humains (augmentation du tonnage collecté/personne).

Ces objectifs doivent également être planifiés dans le temps. Un plan d'amélioration de la gestion des déchets solides implique une nouvelle organisation de plusieurs éléments à savoir, les moyens matériels, humains, financiers et les comportements de la population. Or tout changement s'oppose souvent à une inertie de conservation d'une situation actuelle. La communication autour de ces objectifs est également indispensable.

La planification des objectifs doit tenir compte de la structure urbaine de la commune et de son évolution. Elle doit s'inscrire dans le court, le moyen et le long terme. Ces objectifs doivent être révisés à intervalles réguliers (tous les 5 ans environ) afin de rester cohérent avec leur degré de réalisation.

3. Taux de collecte des déchets ménagers à Kasba Tadla

Le taux de collecte est un indicateur qui permet d'évaluer le bon fonctionnement d'un système de collecte des déchets. Un faible taux de collecte signifie un manque de moyens humains et matériels, un mauvais fonctionnement de la collecte et par conséquent un état d'insalubrité dans l'agglomération qui peut se traduire par l'existence de points noirs dans la cité. Le taux de collecte des déchets ménagers au Maroc est relativement satisfaisant et il varie entre 71,58 et 100%. L'exploitation de Kasba Tadla connue un taux de collecte de 100% depuis le démarrage de la société de SOSndd depuis l'année 2009.

V. Service de Nettoyement et Balayage

Le balayage au niveau de la ville de Kasba Tadla s'effectue selon deux manières :

1. Balayage mécanique

Le balayage mécanique est effectué à l'aide d'une balayeuse mécanique sur les voies revêtues principales de la ville. Il est réalisé selon une fréquence de 6/7 dans les grands boulevards, boulevard 20 Aout, entourage de la municipalité, tribunal Pachalik, nouveau pont, le rond-point de Fès Av Abdlkrim Lkhtabi, Av Majjat, Av Hassan II et AV Sarrar. Le programme d'exécution du balayage est préétabli en commun accord avec la commune urbaine de la ville.

2. Balayage manuel

Ce type de balayage concerne les espaces publics, les trottoirs, les marchés, le ramassage des cartons et des plastiques éparpillés le long des voiries.

Le balayage manuel s'effectue sur toute la ville, avec différentes fréquences de 7 jours par semaine dans les boulevards et les rues principales à des fréquences de 6/7, 4/7, 3/7 et 2/7 par semaine dans les lotissements et voiries secondaire et tertiaires.

Quant au pourcentage des rues balayées au moins une fois par semaine, qui reflète en principe les efforts de nettoyage.

Le pourcentage de balayage manuel est de l'ordre de 90% suite à l'augmentation d'extension de la ville et intégration d'autres quartiers après le démarrage de la société.

3. Campagnes de sensibilisations

Conformément au prescrit du cahier des charges des campagnes de sensibilisation ont été effectuées dont le but de sensibiliser la population sur l'importance de la protection de l'environnement. La campagne de sensibilisation la plus importante au niveau de la ville de Kasba Tadla c'est elle qui est réalisée durant la fête de l'Âid Adha. Cette campagne s'effectue selon un programme préétabli selon les étapes ce-dissous :

- Affectation des sacs en plastique sur tous les établissements et administration publique et privé de la ville de Kasba Tadla;
- Affectation des sacs en plastiques à tous les quartiers de la ville et réalisation d'une caravane roulent et en collaboration avec les citoyens.

D'autres campagnes de sensibilisation ont été programmées dans le but de ramassage des sacs en plastique et protégé l'environnement en collaboration avec des associations des différents quartiers de la ville et aussi en collaboration des fois avec le Pachalik de la ville.

L'objectif de ses campagnes de sensibilisations est d'approcher la notion de protection de l'environnement aux citoyens de la ville de Kasba Tadla.

4. Interventions spéciales de la société au sein de l'exploitation de KASBA TADLA

La société délégataire des travaux de propretés procède au renforcement du balayage et du nettoyage sur toute la ville par le recrutement des balayeurs occasionnels pour améliorer l'état du service et garder la ville toujours en bon état de propreté à des occasions exceptionnelles à savoir :

- Les visites royales, la société affecte une équipe supplémentaire des balayeurs pour renforcer les prestations de balayage et de ramassage des sacs en plastiques d'une manière continue.
- Le festival du cheval, la société réserve une équipe des balayeurs pour faire le nettoyage du lieu du festival durant la durée du festival pour garder la propreté des lieux du festival. La journée après la fin du festival un renforcement au niveau des secteurs se réalise dans le but d'éliminer les déchets solides qui ont été produits à la période du festival (pailles des chevaux propagés au niveau des quartiers, ...).
- Le printemps : la période entre le 1^{er} Avril et 30 Juin, la société accède aux travaux du désherbage pour l'élimination manuelle des mauvaises herbes sur tous les boulevards de la ville selon un programme en commun accord entre le délégant et la commune urbaine de la ville.

VI. Taux de satisfaction client

En dépit des espoirs suscités par la réforme de la gestion des déchets, de nombreux problèmes subsistent tant aux yeux des autorités délégataires que des sociétés en charge du service de gestion des déchets ménagers. D'une part, le grand nombre des intervenants (commune, société, citoyens...) complique énormément la coordination et la coopération entre les différents acteurs que sont la Commune urbaine de la ville de Kasba Tadla, les collectivités locales, les services de contrôle, de collecte et de nettoyage et, enfin, les sociétés déléguées. Ces dernières sont confrontées à de nombreux obstacles techniques et au non-respect des dispositions du cahier des charges. De son côté, le service de contrôle de la prestation, qui a pour rôle de constater les infractions commises par les sociétés au niveau de la collecte, du balayage et du désherbage, se heurte à de nombreuses difficultés techniques et matérielles (moyen et

personnel insuffisants). Dans le même sens, l'absence d'une police environnementale chargée de contrôler les infractions commises par les habitants « pollueurs » aggrave la situation. La question des décharges sauvages et non contrôlées ainsi que les problèmes d'hygiène et de santé publique qui en découlent reste aussi non résolue ; elle peut être étroitement liée aux pratiques informelles des chiffonniers qui y récupèrent des matériaux, en l'absence de tout système structuré de tri, de recyclage, de récupération et de valorisation de déchets. De façon générale, toutes ces problématiques font l'objet de débats et de réflexion, sont aussi l'objet d'un début de sensibilisation de prévention pour la protection de l'environnement. Il existe aussi d'autres campagnes de sensibilisation menées sur le terrain par des associations locales. Cependant, il n'en reste pas moins que cette politique d'éducation et de sensibilisation reste peu suivie d'effets, comme le montre notamment notre enquête auprès des habitants de Kasba Tadla qui s'est déroulée sous forme d'un questionnaire et des entretiens avec les acteurs impliqués dans la gestion des déchets (responsable de la commune, citoyens, ...).

L'objectif de ce travail est d'évaluer la gestion déléguée dans la ville de Kasba Tadla, et de mesurer la satisfaction des clients envers les services présentés par la société délégataire. Il s'agit de relever les problèmes de la gestion de déchets solides dans la ville. Ainsi, nous avons mené une enquête, par le biais d'un questionnaire, ciblant différentes catégories de citoyens de la ville de Kasbah Tadla. Quatre cents copies de formulaire de satisfaction client ont été distribuées à l'échelle des différentes administrations et quartiers de la ville. En plus, un entretien a été réalisé avec les responsables du service de gestion des déchets ménagers de la municipalité dont le but de savoir et d'évaluer le degré de la satisfaction de la commune.

Le questionnaire est un outil de communication interactive qui visent à évaluer et d'étudier un échantillon de la population cible. Et qui peut entrer dans une éventuelle stratégie de communication sur les déchets solides.

Le questionnaire a été destiné à une population cible qui a un intérêt soit directe ou indirecte avec les services présente par la société délégataire cette population se constitue des :

- 1- Citoyens,
- 2- Etablissements, associations et organismes,
- 3- Effectif communal mis à la disposition de la société délégataire,
- 4- Personnel affecté à la société délégataire.

Les critères sont classés selon le taux de satisfactions des citoyens (T,S : Très Satisfait, S : Satisfait, M,S : Moyennement Satisfait, P,S : Pas Satisfait).

Cette enquête explore l'opinion du public de Kasba Tadla et les avis et les impressions des citoyens, sur la qualité de la gestion des déchets ménagers dans leur propre ville. Les principales questions qui ont été évoquées sont les suivantes :

- Disponibilité du personnel (DP),
- Qualité de la prestation (QP),
- Conformité de l'offre de service par rapport à la demande client (COPC),
- Disponibilité du matériel (DM),
- Respect des consignes de sécurité (RCS),
- Résolution des problèmes sur chantier (RPC),
- Délai de traitement des réclamations (DTR).

Des entretiens ont été réalisés en parallèle avec le personnel de l'encadrement communal présenté par les responsables du service de gestion des déchets ménagers, à savoir déléguant dans le nom du président de la commune de Kasba Tadla, secrétaire général, ingénieur communal et quelques vices présidents, soit le délégataire dans le nom du responsable de l'exploitation de Kasba Tadla.

1. Taux de satisfaction des habitants de Kasba Tadla

La majorité des citoyens sont très satisfait de la qualité des services présents par la société. Quelques remarques d'insatisfaction ne dépassant pas les 10% concernant le délai de traitement de la réclamation et la disponibilité du matériel qui reste à améliorer.

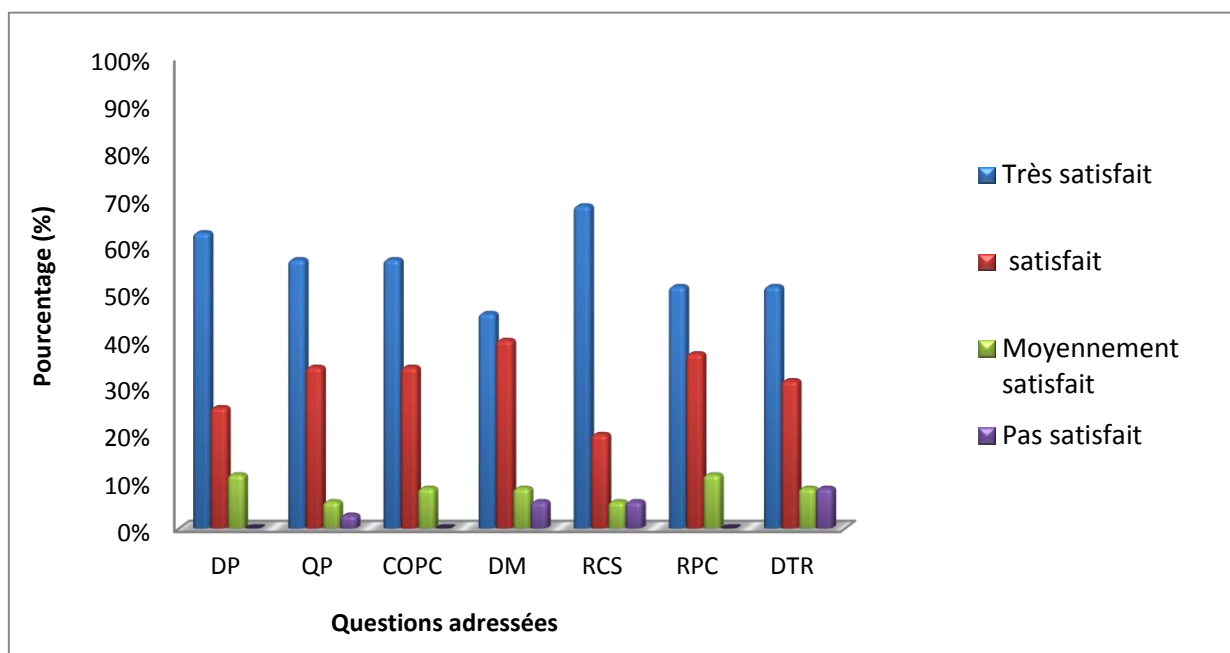


Figure 16: Taux de satisfaction des citoyens vis-à-vis de la collecte des déchets

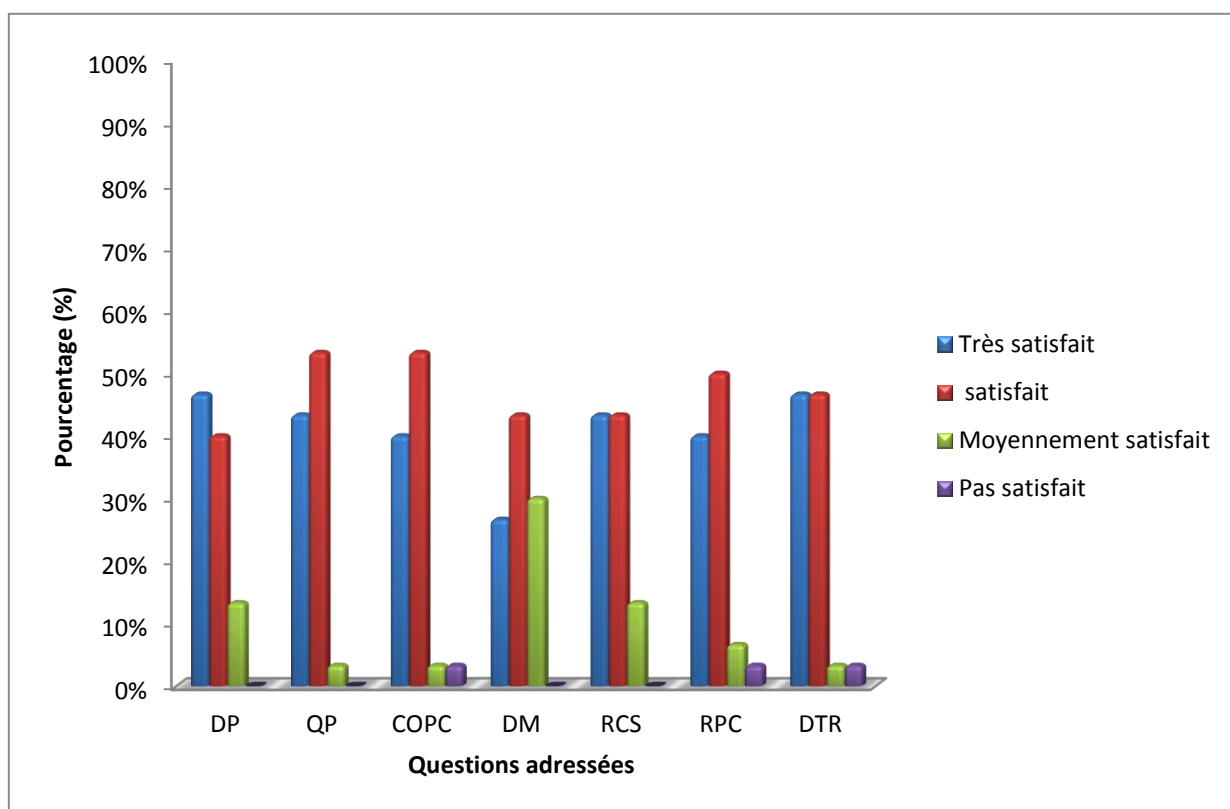


Figure 17: Pourcentage de satisfaction des établissements, associations et organismes par les services de la société délégataire

Généralement satisfait de la qualité des services de la société les établissements, associations et organismes veulent toujours une amélioration et un développement.

La gestion des déchets solides est l'intérêt de tout le monde directement ou indirectement. Cependant, il convient d'insister sur le fait que les établissements, associations et organismes peuvent également susciter la participation des citoyens dans cette gestion est renforcés les efforts dans ce sens.

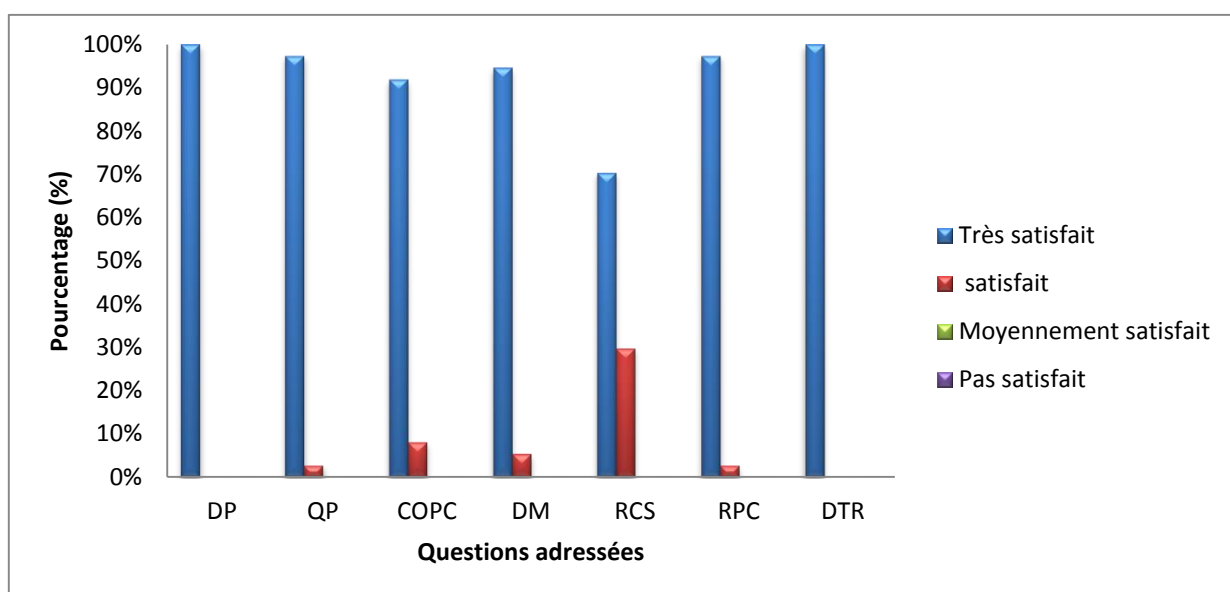


Figure 18: Pourcentage de satisfaction de l'effectif communal mis à disposition de la société délégataire de leurs services

L'effectif du personnel communal mis à la disposition de la société délégataire sont des agents communaux mis à la disposition de la société dans l'exploitation de Kasba Tadla. D'après les résultats obtenus, il est très remarquable que ces agents sont très satisfaits du travail de la société dans la ville.

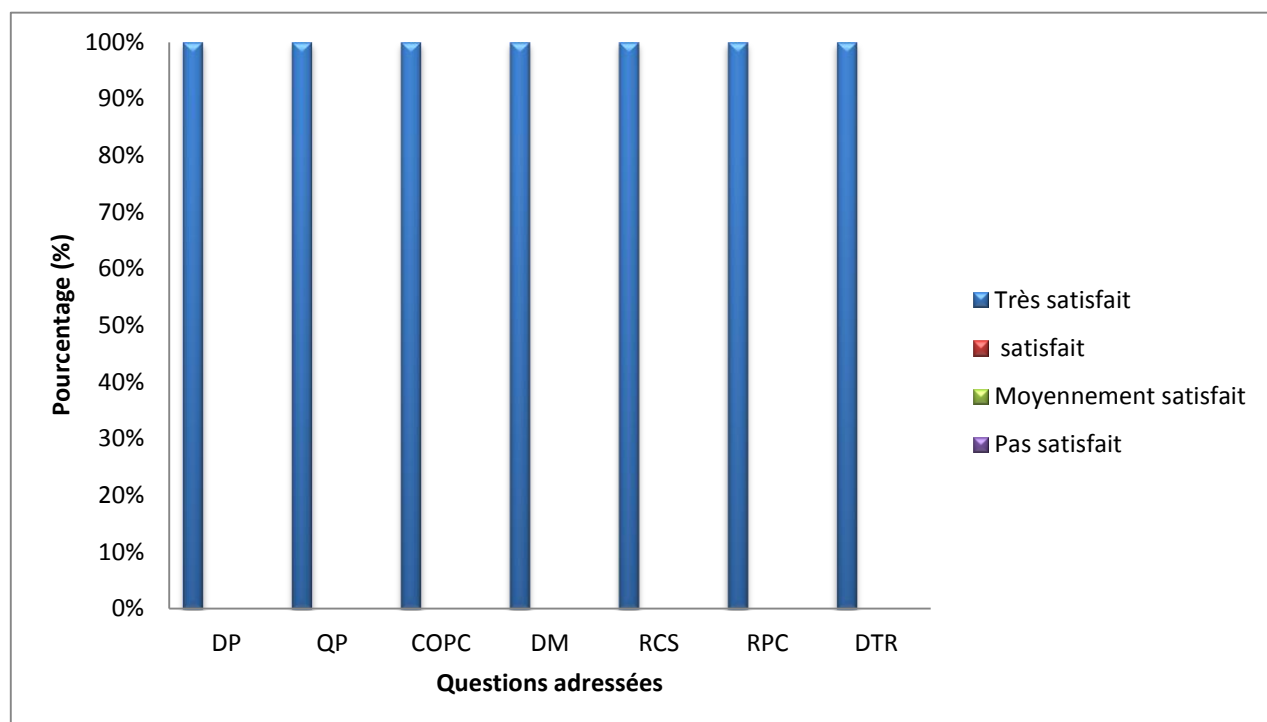


Figure 19: Avis du personnel affecté à la société délégataire dans l'exploitation de Kasba Tadla

Selon cette figure on peut juger que le personnel de la société est 100% très satisfait de son travail ainsi que de la politique de la société.

2. La réception de l'entretien de gestion des déchets ménagers par l'encadrement communal de Kasba Tadla

L'encadrement communal de la ville de Kasba Tadla représenté par le président de la commune urbaine, les vice-présidents, l'ingénieur de l'environnement et le secrétaire général dans la commune et le responsable la société délégataire à la ville de Kasba Tadla, cette dernière responsable du suivi de la qualité des prestations sur le terrain.

D'après notre entretien avec l'encadrement communal de la ville de Kasba on remarque la satisfaction de l'encadrement communal de la qualité des services de la société et surtout dans la résolution des problèmes sur le chantier et sur les délais de traitement des réclamations et la disponibilité du personnel. En relation directe avec la société, l'encadrement communal a bien admis la qualité des services présenté par la société et c'est une bonne déclaration en faveur de la société.

Le point de vue du responsable sur la gestion des déchets ménagers à la ville de Kasba Tadla, n'est pas contradictoire avec les allégations de l'encadrement communal. Il confirme que l'expérience de gestion déléguée des déchets ménagers à Kasba Tadla se déroule dans des conditions très favorables. Néanmoins, la présence de quelques problèmes, qui ne bloque pas l'évolution du bon fonctionnement de ce secteur. Il confirme aussi que la cause principale de la réussite de cette expérience de la gestion déléguée, est la communication et l'échange d'information et le sens de coopération entre le délégataire et le délégant et bien sur la conformité à l'offre proposé.

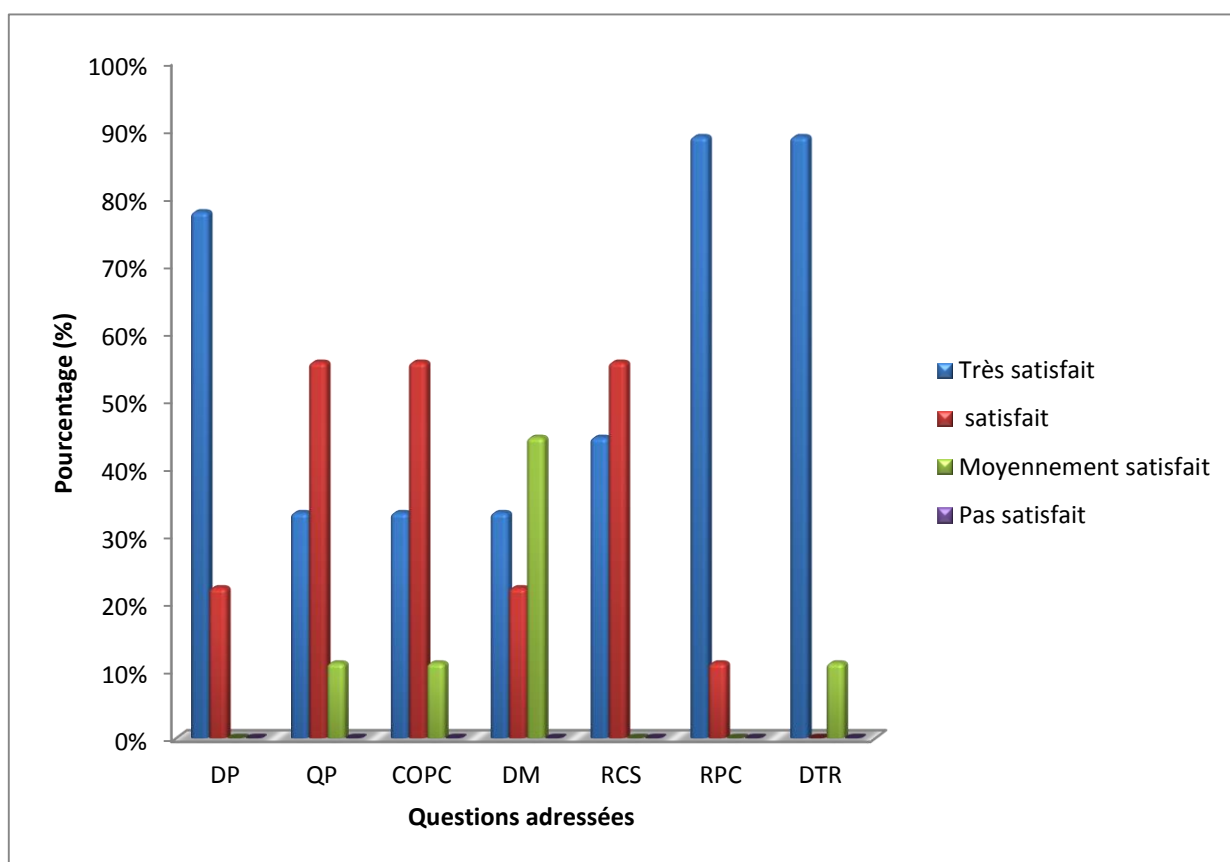


Figure 20: Pourcentage de satisfaction de l'encadrement communal des services de la société délégataire

F. Conclusion

Le choix du schéma de gestion des DM peut effectuer selon des critères sociaux, environnementaux, financiers et techniques au niveau de la ville de Kasba Tadla. Les résultats obtenus montrent que le système de valorisation le plus adapté aux déchets ménagers à la ville de Kasba Tadla est le compostage suite à un taux qui dépasse 74 % de la

matière organique. En ce qui concerne le tri à la source pour faciliter l'opération du recyclage, est une approche qu'il faut suivre dans les années prochaines elle va donner des résultats intéressants sur le côté environnemental ainsi le côté financier il considère comme une source très importante de la matière première. Cette étude aussi sur le secteur informel nous a donné des informations très riches sur cette activité, une portion très importante des familles qui bénéficient de ce secteur sauf qu'il faut l'organiser est rendre les conditions de travail sein et salubre pour un être humain pour éviter les grandes menaces liées de cette informalité.

La principale difficulté à l'égard de la gestion des déchets solides est plus souvent culturelle et communicationnelle que managériale. En effet, le véritable défi ne réside pas dans l'aptitude à utiliser les outils de mesure et d'évaluation, mais dans la capacité à convertir les informations collectées à l'aide d'une stratégie de communication efficace qui se traduit par les actions concrètes. Autrement dit, la société doit avoir la possibilité et la volonté de mettre à profit ces informations. Par conséquent, il est recommandé de passer de la mesure de la satisfaction client à un concept plus global de gestion de la satisfaction.

L'évolution que le secteur des DM a connu ces dernières années à un effet positif sur la manière de gestion de ce dernier. Un développement au niveau des stratégies de travail, préoccupation de plusieurs acteurs par cette activité environnementale et l'innovation systématique du matériel utilisé. L'utilisation des bennes tasseuses pour la collecte de ces déchets facilitent la prestation, mais à côté de ces points positifs il y a des inconvénients de ce mode de travail. Le tassement des déchets engendre la production de grande quantité des lixiviats lors du transport suite au tassement des déchets par ces bennes. Ces lixiviats de transport posent aussi un grand problème même pour les décharges contrôlées suite aux grandes quantités des lixiviats produites journalièrement avec des charges polluantes très importantes qui posent un vrai problème pour l'environnement.

CHAPITRE III : ESSAIS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR UASB

Chapitre III : Essais de traitement des lixiviats par UASB

A. Introduction

Les lixiviats sont des eaux très polluantes, fortement chargées en matière organique et affectent particulièrement la qualité des eaux et des sols dans lesquelles elles sont déversées. Ils colorent les eaux et leur forte charge organique qui exige une forte consommation d'oxygène entraînant une eutrophisation des eaux de surface. Les lixiviats réduisent la qualité des sols, car elles contiennent des substances toxiques qui se fixent dans le sol et perturbent la microflore du milieu.

Le Maroc doit faire face à une augmentation continue du volume des lixiviats produits par les DM. Cette augmentation est proportionnellement due non seulement à l'évolution de la production des déchets mais aussi aux techniques de leurs gestions.

Les lixiviats renferment de nombreux contaminants très toxiques. Leur composition varie ainsi en fonction de la nature des déchets, l'âge de la décharge, la technique d'exploitation et les conditions climatiques. La couleur constitue le premier indicateur de pollution, les lixiviats présentent une couleur brunâtre et une odeur fécaloïde indiquant l'influence des déchets sur la qualité de l'environnement.

Dans ce chapitre nous allons présenter les essais pour la mise en place d'une technique efficace et moins coûteuse pour le traitement des lixiviats de transport des déchets ménagers. Cette technique de traitement est basée sur le traitement anaérobie par un procédé basé sur un réacteur à trois phases **Upflow anaerobic sludge blanket** (UASB).

I. Caractéristiques des lixiviats de transport des DM du transport de la ville de KASBA TADLA

1. Procédure d'échantillonnage des lixiviats

Dans le cadre de cette étude, la qualité des lixiviats bruts lors du transport vers la décharge a été suivie sur une période de deux ans (2013-2014), avec une fréquence d'échantillonnage suivie a été variable selon les années dans le but de déterminer la

composition de ces effluents surtout que cette étude est la première qui a été réalisée sur les lixiviats de la ville de Kasba Tadla.

Le prélèvement de lixiviat frais est effectué directement à partir d'une benne tasseuse du réservoir à lixiviats pendant une journée de travail. L'échantillon est réalisé dans des flacons en polyéthylène puis conservés en glacière pendant le transport. Ils ont été ensuite maintenus congelés jusqu'au moment de l'analyse pour une meilleure conservation.

II. L'analyse des lixiviats et mesure des paramètres de pollution

Nous avons déterminé la demande chimique en oxygène (DCO) par la méthode de dichromate de potassium et la matière en suspension par la méthode de centrifugation, et nous avons mesuré in situ la conductivité électrique, le pH et la turbidité des lixiviats avant et au cours du traitement (*Rodier 1996*).

L'acidité des lixiviats est variable selon le type des déchets. Les mesures de pH de nos échantillons sont réalisées à l'aide d'un pH mètre étalonné. Les résultats de pH des lixiviats sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13: Les valeurs de pH des lixiviats des DM de KT

Echantillon	Date	Température (°C)	pH
Echantillon 1	03/05/2012	32,1	5,16
Echantillon 2	04/05/2012	21,1	4,92
Echantillon 3	05/05/2012	28,3	4,59
Echantillon 4	06/05/2012	18,5	4,84
Echantillon 5	07/05/2012	12,6	4,92
Moyenne		22,52	4,88

On constate que les lixiviats des DM de la ville de Kasba Tadla sont acides avec des valeurs de pH variant entre 4,49 et 5,16 avec une moyenne de 4,88.

1. La conductivité électrique

La conductivité électrique a été déterminée par un conductivité-mètre étalonné. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Suivi de la conductivité électrique des lixiviats des DM de KT

Echantillon	Date	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Echantillon 1	03/05/2012	24540
Echantillon 2	04/05/2012	30700
Echantillon 3	05/05/2012	26250
Echantillon 4	06/05/2012	34600
Echantillon 5	07/05/2012	32070
Moyenne		26930

Tout comme la résistivité, la conductivité est fonction de la température. On a pu observer que CE augmentait en moyenne de 2% par degré. Toute mesure de conductivité doit donc se faire à température connue et stabilisée. En général les résultats sont ramenés à 20°C.

Si la plupart des appareils modernes possèdent un correcteur de température ramenant automatiquement la valeur de CE à 20°C, il est toujours possible pour les conductimètres moins sophistiqués de ramener la mesure à 20°C en appliquant la relation suivante :

$$\text{CE (20°C)} = (\text{CE (T°)} / (0.22 * \text{T°}) + 0.58$$

CE(T°) : conductivité électrique à la température T°.

La conductivité électrique des lixiviats varie entre 24540 et 34600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C avec une moyenne de 26930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C.

2. Mesure des matières en suspension (MES)

Les MES s'obtiennent soit par filtration des effluents peu chargés soit par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à obtenir un résidu sec. La détermination des MES se fera par filtration sur filtre en fibres de verre compte tenu de l'origine domestique des effluents. La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en g/litre.

Tableau 15: Les valeurs de la MES des lixiviats de KT

Echantillon	Date	MES en g/ 100ml
Echantillon1	03/05/2012	7,9
Echantillon 2	04/05/2012	4,3
Echantillon 3	05/05/2012	5,9
Echantillon 5	06/05/2012	4,7
Echantillon 6	07/05/2012	3,9
Moyenne		5,34

La valeur moyenne de la MES est 5,34 g dans 100 ml de lixiviat. Donc un litre de lixiviat contient 53,4 g de la matière sèche.

3. Mesure de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dissoutes, essentiellement des détritiques organiques. Ce test est particulièrement utile pour la caractérisation de toutes les eaux brutes ou traitées par voie biologique ou physico-chimique. Ce dosage n'est significatif et les résultats ne peuvent être comparés que si le mode opératoire suivi est toujours strictement le même.

Effectuer un essai à blanc, dans les mêmes conditions avec de l'eau distillée.

Soient :

$$DCO = (V_0 - V_1) * 8000 * T / V$$

- V1 le volume en ml de solution de sel de Mohr utilisé ;
- V0 le volume en ml de sel de Mohr utilisé pour l'essai à blanc ;
- T le titre en normalité de la solution de sel de Mohr ;
- V le volume en ml de la prise d'essai.

Les résultats de la DCO des lixiviats sont présentés dans le Tableau 16.

Tableau 16: Valeurs de la DCO des lixiviats de KT

Echantillon	Date	DCO (mgO ₂ /l)
Echantillon 1	03/05/2012	16240
Echantillon 2	04/05/2012	17840
Echantillon 3	05/05/2012	20400
Echantillon 4	06/05/2012	16640
Echantillon 5	07/05/2012	11600
Moyenne		16544

Les résultats de la DCO des lixiviats jeunes sont très élevés, ils varient entre 11600 et 20400 mgO₂ /l avec une moyenne de 16544 mgO₂ /l. Les résultats montrent que les lixiviats de Kasba Tadla est chargé en polluants oxydables.

4. Extraction de la matière grasse contenue dans les lixiviats

Le but de cette expérience consiste en l'extraction de la matière grasse contenue dans le lixiviats produit par les déchets ménagers de Kasba Tadla, en utilisant l'éther comme solvant organique d'extraction.

Les résultats expérimentaux de l'analyse de la matière grasse des lixiviats sont représentés dans le tableau suivant

Tableau 17: La teneur de lixiviats en matière grasse

Echantillon	Date	Masse initiale (g)	Masse finale (g)	La matière grasse (g) dans 100 ml de lixiviats
E1	03/05/2012	53,3	57	3,7
E2	04/05/2012	50,9	54,3	3,4

Les résultats montrent que la matière grasse constitue la majeure partie dans les MES, 3,55 g de la matière grasse par 5,33 g de la matière en suspension. En pourcentage, la matière grasse constitue 66,6 % de la matière sèche MES.

III. Suivi de la production des lixiviats des DM de la ville de KASBA TADLA

Les lixiviats des déchets ménagers sont des effluents très chargés en polluants organiques et minéraux et en éléments toxiques (*Renou et al, 2008*). La quantité de production des lixiviats varie selon la nature et la composition des déchets. La détermination du volume des lixiviats produits lors de l'opération de transport des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla a été suivie durant deux ans. Les résultats obtenus ont montré que les volumes de lixiviats varient entre un volume maximal de 130.92 m³ pendant le mois d'Août 2013, et un volume minimal de 21.88 m³ pendant le mois Décembre 2013 avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 78.80 m³. L'évolution annuelle a montré également que les mois de Juillets et Août sont les mois qui représentent une forte production de lixiviat (Tableau 18).

Tableau 18: Evolution des quantités des lixiviats produites mensuellement durant les années 2013/2014

Mois	Quantité mensuelle de lixiviat dans les déchets en 2013 (m ³ /mois)	Quantité mensuelle de lixiviat dans les déchets en 2014 (m ³ /jour)
Janvier	84±8,33	74,58±5,88
Février	61,81±7,8	62,45±7,05
Mars	76,53±8,16	73,94±9,24
Avril	76,66±8,14	77,58±8,14
Mai	82,38±8,24	83,3±8,24
Juin	98,19±8,01	97,95±8,01
Juillet	127,43±18,41	128,56±11,91
Août	130,92±17,68	130,05±18,18
Septembre	108,54±11,47	90,67±15,77
Octobre	44,98±7,1	51,06±5,96
Novembre	32,25±2,08	37,55±4,2
Décembre	21,88±1,66	23,38±2,42

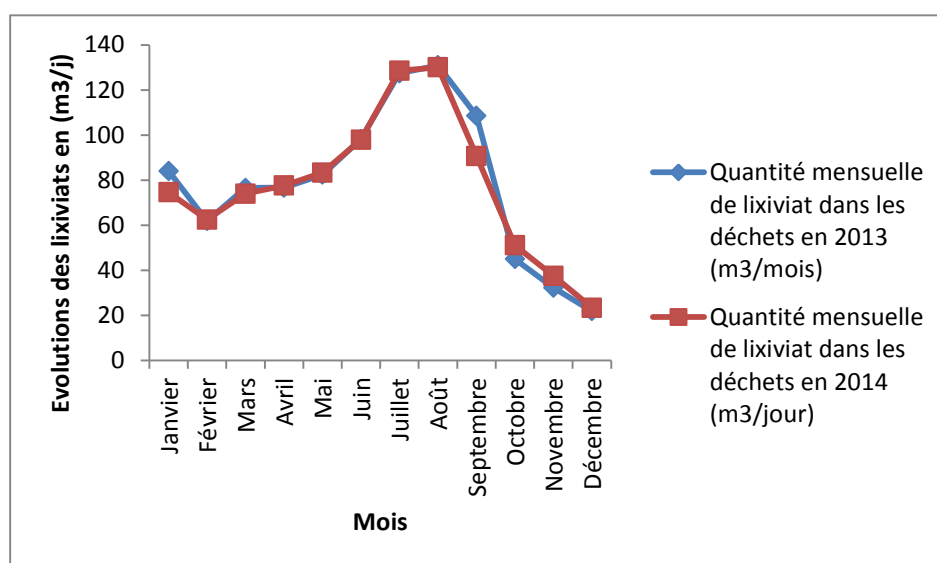


Figure 21: Evolution de la quantité des lixiviats de transport durant les années 2013/2014

B. Technique de traitement par UASB

L'UASB est une technique très récente au Maroc. Elle a été adoptée durant ce travail avec différents modes opératoires pour tester leur efficacité. Les essais sont réalisés en mode statique « Batch » et aussi en mode dynamique.

I. Mise au point du Protocol expérimental

Le pilote expérimental utilisé pour les essais de traitement des lixiviats par UASB a été fabriqué par le laboratoire LTS de la FST. Le dimensionnement a été adopté au volume des lixiviats produites au niveau de la ville de Kasba Tadla. Ce pilote expérimental est composé d'un réservoir tampon et d'un digesteur type UASB ayant un volume utile de 200 litres et une hauteur 0.93 m et de diamètre de 0,58 m (Figure 22). Le dimensionnement du digesteur UASB est conçu pour traiter une quantité des lixiviats qui représente d'environ le 1/10 des quantités produites journalièrement.

L'optimisation des conditions d'anaérobie et de séparation triphasiques boues-lixiviat-biogaz sont facilitées par un colon métallique qui est lié au plafond du digesteur et immergé dans les lixiviats sur une profondeur de 0.24 mètres. L'alimentation des lixiviats a été effectuée d'une manière continue après la récupération quotidienne à partir des bennes tasseuses de collecte des déchets ménagers lors du transport de ces déchets vers la décharge. Pour réduire la phase de stabilisation et d'adaptation de la flore méthanogène, le digesteur a étéensemencé au début des essais par 3 kg des boues naturelles.

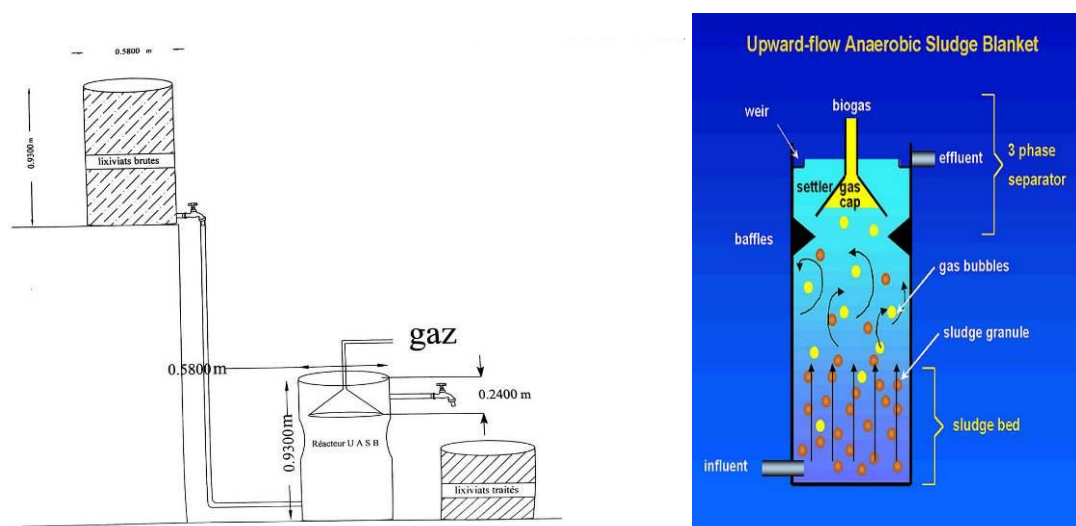


Figure 22: Schéma du dispositif expérimental et du réacteur UASB

Le rendement épuratoire a été suivi par des prélèvements d'un litre, à partir du réservoir tampon à la sortie du digesteur sur une période de cinq jour à des intervalles de 24h ce qui correspond à des temps de séjour hydraulique de : 24h, 48h, 72h, 96h et 120h. Ces échantillons sont ensuite mis dans des bouteilles en plastiques dans une mallette isotherme et transportée directement au laboratoire pour analyse.

II. Traitement des lixiviats de transport des DM par UASB en mode statique (Batch)

1. Suivi de la qualité des lixiviats des DM au cours du traitement par UASB durant la période hivernale

Afin de mesurer les performances épuratoires du dispositif mis au point, nous avons réalisé un suivi de l'évolution des principaux paramètres physico-chimiques des lixiviats de transport. Ainsi, les résultats obtenus, illustre sur La Figure 24.

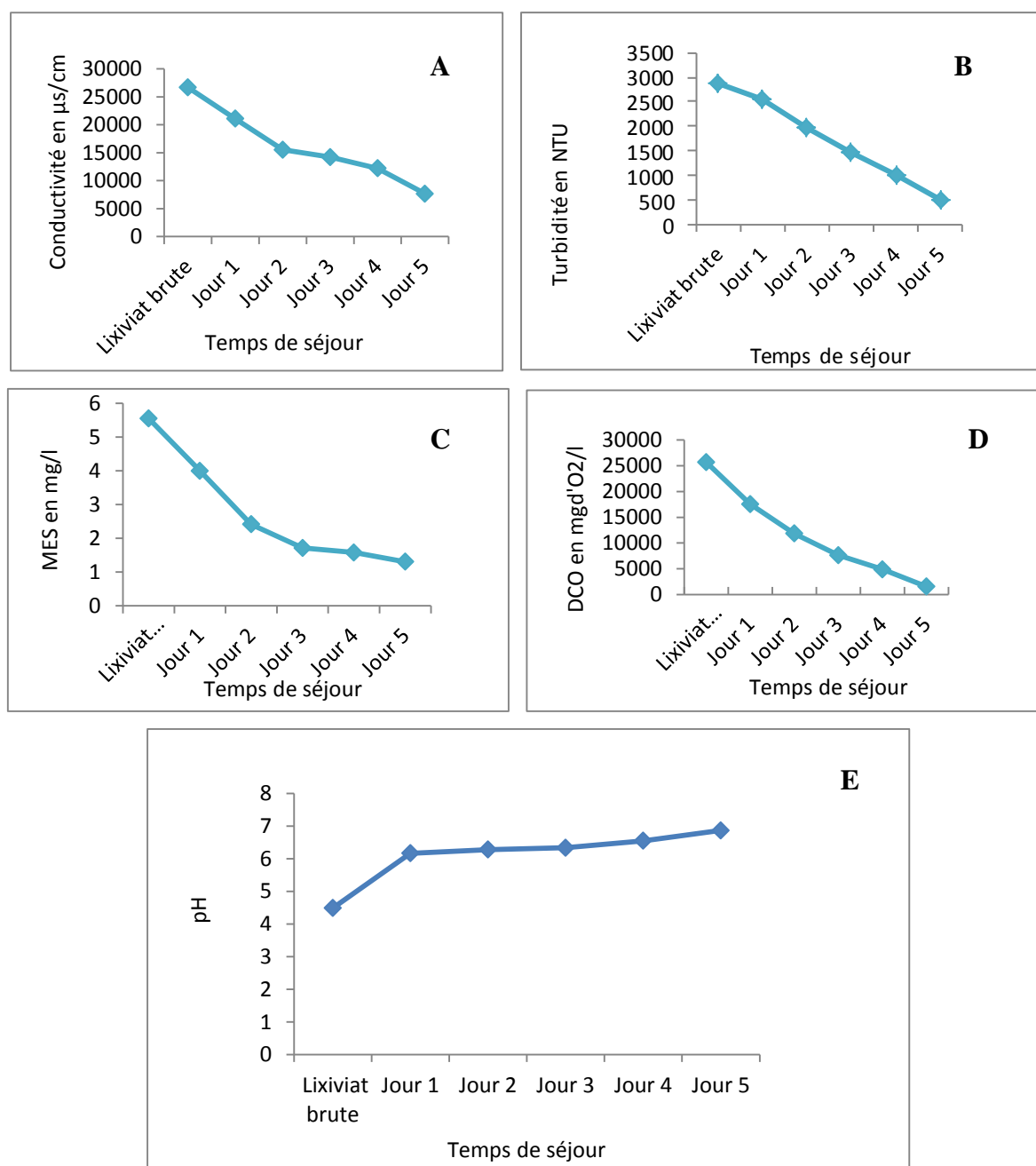


Figure 23: Evolution des paramètres physico-chimiques des lixiviats durant la période hivernale :

A : Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$; B : Turbidité en NTU ; C : MES en mg/l ; D : DCO en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$; E : pH

Tous les paramètres suivis ont connu une nette variation entre l'échantillon brute et les lixiviats au cours du traitement par UASB dès le premier jour. Ce qui confirme le bon fonctionnement de ce système de traitement. En effet, l'évolution de la conductivité électrique met en évidence des valeurs décroissantes d'une façon régulière par rapport au temps de résidence dans le réacteur UASB dès le premier jour, soit une diminution de 71% après un

temps de séjours hydrauliques de 5 jours. Le suivi du rendement épuratoire de la matière en suspension et la turbidité ont atteint respectivement à 77% et 83%. L'étude de l'évolution temporelle du rendement épuratoire de la DCO met en évidence un abattement très important qui a atteint 94% après un TSH de 5 jours. La température moyenne a été enregistrée est de 25 °C. Elle varie entre un maximum de 29°C et un minimum de 15°C durant la période d'étude. Le suivi du pH indique un caractère acide avec une valeur de 4,49 pour les lixiviats bruts pour passer à la neutralité avec une valeur de 6,87 après le passage d'un temps de résidence de 5 jours au niveau du réacteur de UASB.

Au vu de ces résultats, on remarque que le traitement par UASB en mode statique s'accompagne d'une nette diminution de la conductivité électrique sûrement liées aux échanges chimiques entre les lixiviats et le sédiment. Par ailleurs le même phénomène de diminution du pH apparaît par le passage du pH de 4,49 à une valeur de 6,17 après un temps de séjour de 24 heures ce qui confirme la réponse de notre système dès les premières heures de démarrage de la technique de traitement par UASB. Pour assurer le bon fonctionnement du réacteur, et pour confirmer son fonctionnement, nous avons suivi la production du biogaz lors des essais de traitement. En effet, nous avons installés un ballon d'air vide que nous avons vu gonflé très rapidement dès le premier jour. Les résultats obtenus sont encourageants surtout en matière de réduction de la DOC par la diminution de la charge polluante. L'abattement de ce paramètre a été enregistré après quelques heures de lancement de notre procédé UASB d'une manière ponctuelle, liée à la biodégradation des matières organiques par des microorganismes anaérobies lors du cheminement des lixiviats du bas vers le haut du réacteur, qui est accompagnée par la production du biogaz. Nos résultats obtenus sont très similaires à ceux obtenus par des études sur d'autres types de réacteur et pour d'autres types d'effluents (*Neena et al., 2007 ; Bohdziewicz & Kwarciak, 2008*). Les essais ont enregistré des valeurs très satisfaisantes suite à la diminution des différents paramètres physico-chimiques dans un temps optimal, ce qui confirme la réussite de cette technique de traitement pour ce type d'effluent.

2. Traitement des lixiviats des DM par UASB pendant la période estivale

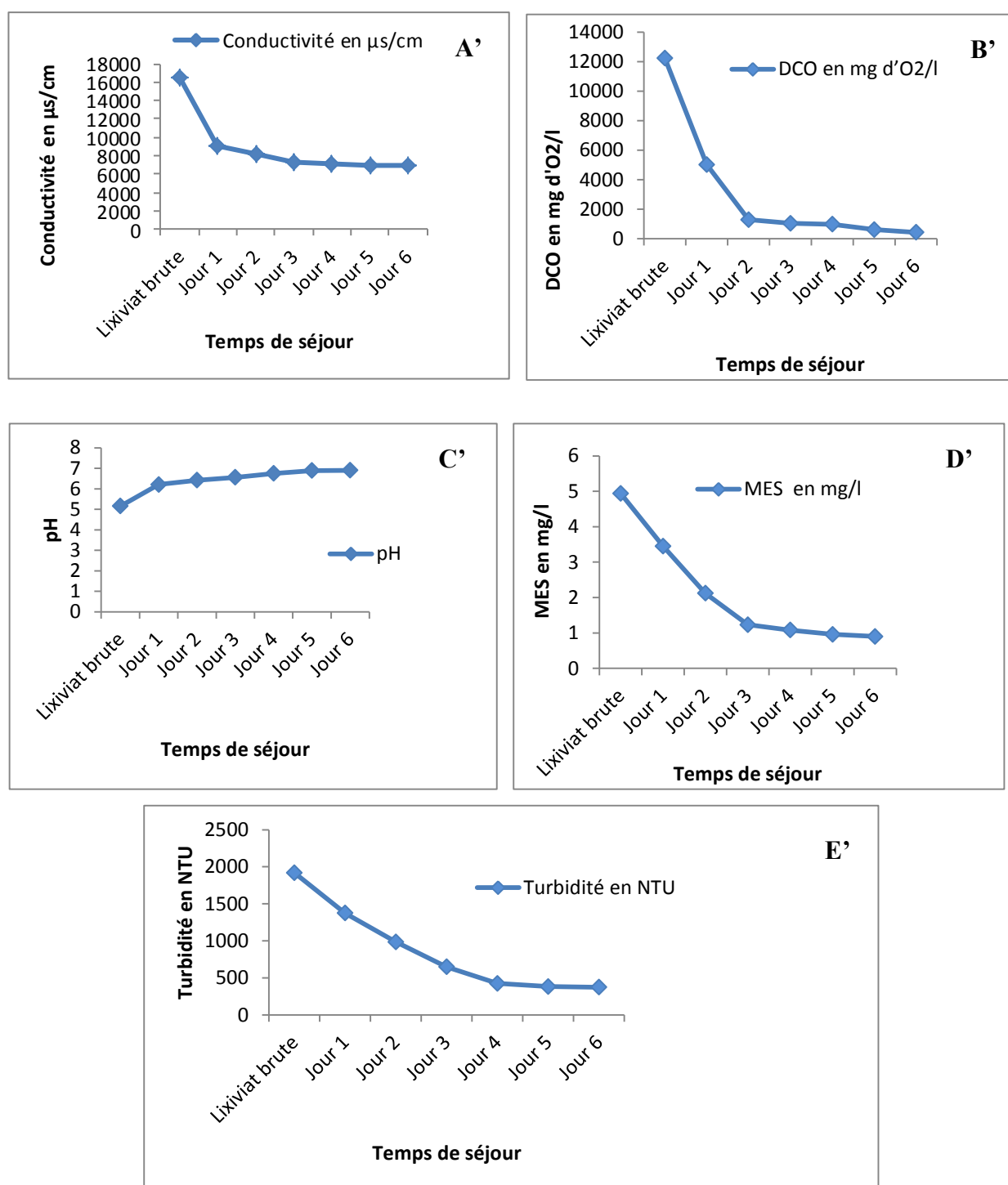


Figure 24: Evolution des paramètres physico-chimiques des lixiviats UASB pendant la période estivale

A' : Conductivité en $\mu\text{S/cm}$; B' : DCO en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$; C' : pH ; D' : MES en mg/l ; E' : Turbidité en NTU

Les résultats obtenus confirment ceux qui ont obtenus durant la période hivernale avec une amélioration très remarquable au fonctionnement de notre système de traitement suite à l'augmentation de la température. En effet, l'évolution de la conductivité électrique met en évidence des valeurs décroissantes d'une façon régulière par rapport au temps de résidence dans le réacteur UASB dès les premières heures pour avoir une diminution d'environ 50% après un temps de séjours hydraulique (TSH) d'une journée, ce paramètre reste toujours en diminution mais avec une certaine stabilité pour arriver à un taux de 60 % vers la sixième journée. Le suivi du pH indique un caractère acide avec une valeur de 5.16 pour les lixiviats bruts pour passer à la neutralité avec une valeur de 6,9 après le passage d'un temps de résidence de 6 jours au niveau du réacteur UASB. Le suivi du rendement épuratoire de la matière en suspension et la turbidité atteint respectivement des valeurs de 82% et 81% avec une certaine stabilité dès le deuxième jour. L'étude de l'évolution temporelle du rendement épuratoire de la DCO met en évidence un abattement très important qui est de 96.4 % après un TSH de 6 jours avec une température moyenne de 38 °C et un maximum de 39 °C et un minimum de 36 °C durant la période d'étude.

D'après ces résultats, on remarque que le traitement par UASB est un système adaptable aux conditions climatiques de la ville d'étude durant toute l'année avec des résultats satisfaisants, surtout pendant la période estivale ou la température est très élevée qui a pour conséquence rendements très importants de traitement.

III. Traitement des lixiviats des DM par UASB en mode dynamique avec différents TSH

Les essais de traitement en mode statique ont été très encourageants et ont permis de valider notre protocole expérimental et l'efficacité du réacteur UASB par le traitement des lixiviats de transport. Dans ce protocole expérimental, le volume de lixiviats traité est limité. Afin de traiter un grand volume de lixiviat, le traitement en mode dynamique s'impose, dans le but de traité une grande quantité des lixiviats.

Notre essai a été commencé par un débit de 4 litres par heure et avec un écoulement permanent et un temps de séjour (TSH) de 48 heures. Les prélèvements de notre échantillon à analyser sont effectués sur les lixiviats brute et après le passage d'un temps d'écoulement de 48 heures, l'essai a été répété trois fois.

1. Traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 48h

Tableau 19: Résultat d'analyse des lixiviat avant traitement

Lixiviat brut					
Date	T en °C	pH	CE en $\mu\text{s/cm}$	DCO en mg/l	
10/05/2015	39	5,73	15930	24000	
12/05/2015	38	4,90	15000	23500	
14/05/2015	39	5,06	15050	23000	
Moyenne	38,7	5,23	15326,67	23500	

Tableau 20: Résultat d'analyse des lixiviat Après traitement

Lixiviat traité					
Date	T en °C	pH	CE en $\mu\text{s/cm}$	DCO en mg/l	
12/05/2015	38	6,82	1696	2000	
14/05/2015	37	6,50	1540	2250	
16/05/2015	39	6,75	1600	2100	
Moyenne	38,0	6,7	1612,00	2116,67	

Les résultats relatifs au traitement des lixiviats de transport des DM, l'UASB à un TSH de 48h, sont très encourageantes. L'abattement de la DCO enregistrée est d'environ 90%. En même temps et parallèlement à ce rabattement de la DCO, la convergence de ces effluents vers la neutralité avec une valeur de pH de 6.7. La conductivité électrique est abaissée d'environ 90%. Les performances enregistrées par notre protocole expérimental sont très importantes et sont un indicateur de bon fonctionnement de notre réacteur.

2. Traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 24h

L'essai de traitement a été refait avec un débit de 8 litres par heures et un TSH de 24 heures. Les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau 21: Résultat d'analyse des lixiviat avant traitement

Lixiviat brut					
Date	T en °C	pH	CE en µs/cm	DCO en mg/l	
18/05/2015	39	5,13	15850	23450	
19/05/2015	38	4,58	14500	22800	
20/05/2015	39	5,16	14090	22600	
Moyenne	38,7	4,96	14813	22950	

Tableau 22: Résultat d'analyse des lixiviat Après traitement

Lixiviat traité					
Date	T en °C	pH	CE en µs/cm	DCO en mg/l	
19/05/2015	37,2	6,52	2706	4700	
20//05/2015	37,5	6,4	2610	4850	
21/05/2015	37	6,55	2790	4990	
Moyenne	37,2	6,5	2702,00	4846,67	

La diminution du TSH à 24h s'est traduite par une augmentation du débit d'écoulement d'environ 8l/h. A cette vitesse d'écoulement, on a enregistré une légère baisse du pouvoir épuratoire. L'abattement réalisé est d'environ 80% au lieu de 90% obtenue avec un TSH de 48h. Parallèlement le pH et la conductivité électrique ont connus respectivement une légère variation nous avons enregistré respectivement un pH de 6.5 et une diminution de la conductivité par 80%. La température lors des essais est connue une stabilisation, dont la moyenne est de l'ordre de 37.2. Les valeurs enregistrées sont relativement moins importantes que celles obtenues avec un TSH de 48h.

3. Traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 12h

Tableau 23: Résultat d'analyse des lixiviat avant traitement

Lixiviat brut					
Date	T en °C	pH	CE en $\mu\text{s/cm}$	DCO en mg/l	
21/05/2015	37	5,33	15450	23000	
22/05/2015	38	4,25	14300	22900	
23/05/2015	39	4,85	14250	22500	
Moyenne	38,0	4,81	14666,67	22800	

Tableau 24: Résultat d'analyse des lixiviat Après traitement

Lixiviat traité					
Date	T en °C	pH	CE en $\mu\text{s/cm}$	DCO en mg/l	
22/05/2015	38	5,8	3100	12000	
23/05/2015	39	5,9	2900	11500	
24/05/2015	37,2	6,1	2700	11000	
Moyenne	38,1	5,93	2900	11500	

Les résultats obtenus après traitement des lixiviats des DM à un TSH de 12h, correspondant à un débit moyen de l'ordre de 16 l/h montre que le rendement épuratoire est d'environ 50% pour l'abattement de la DCO. La diminution de la conductivité électrique est de 80%. Le pH a connu une nette augmentation en passant d'une valeur moyenne de 4.81 très acide pour atteindre une valeur moyenne de l'ordre de 5.93.

D'après les résultats obtenus, nous avons pu mettre en évidence le lien entre le TSH et le pouvoir épuratoires de l'UASB. Cette relation est très importante lorsqu'il s'agit de proposer des solutions convenables pour le traitement des lixiviats, on peut choisir le débit

convenable pour la qualité des lixiviats souhaité après traitement est aussi en fonction des quantités produites des lixiviats selon les saisons hivernale et estivale.

En effet, le choix du TSH convenable semait en fonction du volume des lixiviats à traités et du rabattement épuratoire souhaité.

IV. Suivi de la production de gaz pendant le traitement par UASB

Le traitement des lixiviats des DM par UASB avec différents TSH a été accompagné par un suivi des quantités des biogaz produites suite à la biodégradation anaérobie de la matière organique par les microorganismes lors de notre processus de traitement.

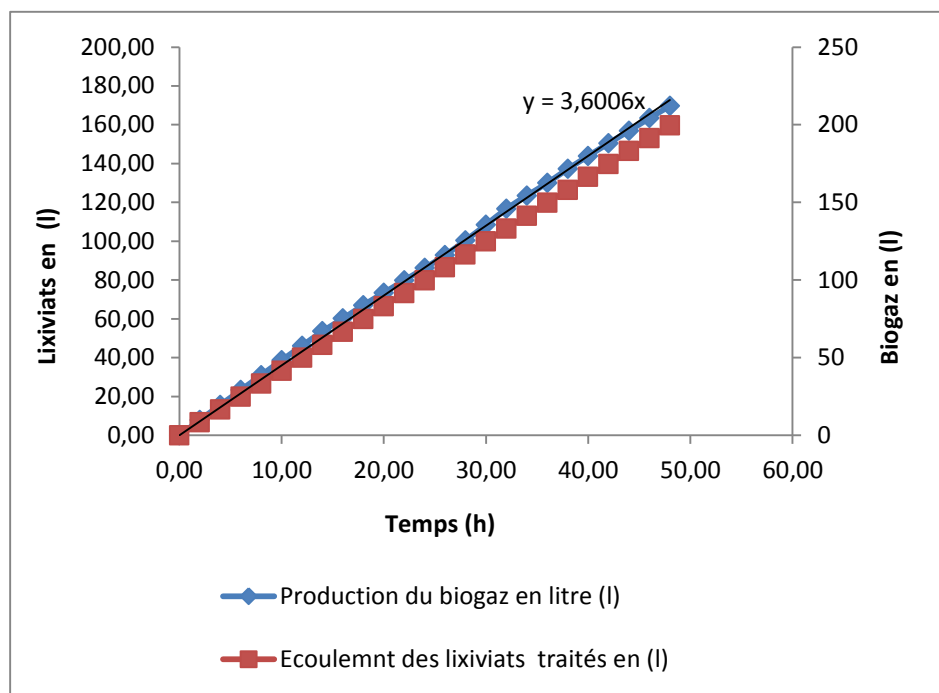


Figure 25: Evolution de la production du gaz au cours de traitement des lixiviats de transport par UASB avec un TSH de 48h exprimé en litre (l)

Le suivi de la production du biogaz au cours du processus de traitement par UASB à un TSH de 48h (4l/h), a enregistré une vitesse de l'ordre de 3.6 litres par heure, ce qui justifie qu'il y a une très forte production de biogaz par rapport aux quantités des lixiviats traitées. Cette forte production de biogaz explique le fort rabattement. Il est lié avec un abattement de DCO d'environ 90%. Dans ces conditions de traitement, la diminution très importante de la charge polluante a été corrélée avec une production importante du biogaz.

Le TSH choisi dans ce cas (48) est un TSH aptitude pour la production maximale du biogaz avec des performances épuratoires très importantes. La seule contrainte dans ce cas c'est le volume total des lixiviats à traités.

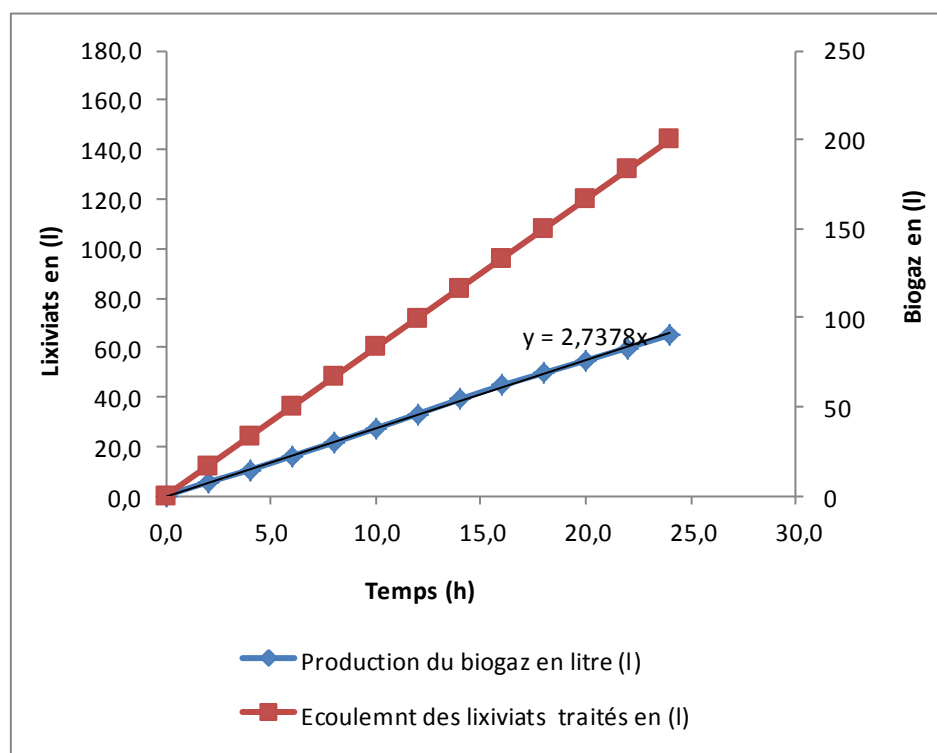


Figure 26: Evolution de la production du gaz au cours du traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 24h exprimé en litre (l)

La diminution du débit à 8 l/h a affecté fortement la production du biogaz. En effet les résultats montrent que vitesse de production de biogaz de l'ordre de 2.73 l/h. Cette vitesse de production est légèrement faible par rapport à celle obtenue pour un débit de 4 l/h. Cette baisse de production de biogaz est liée directement à l'abattement de la DCO qui a été de l'ordre de 80%.

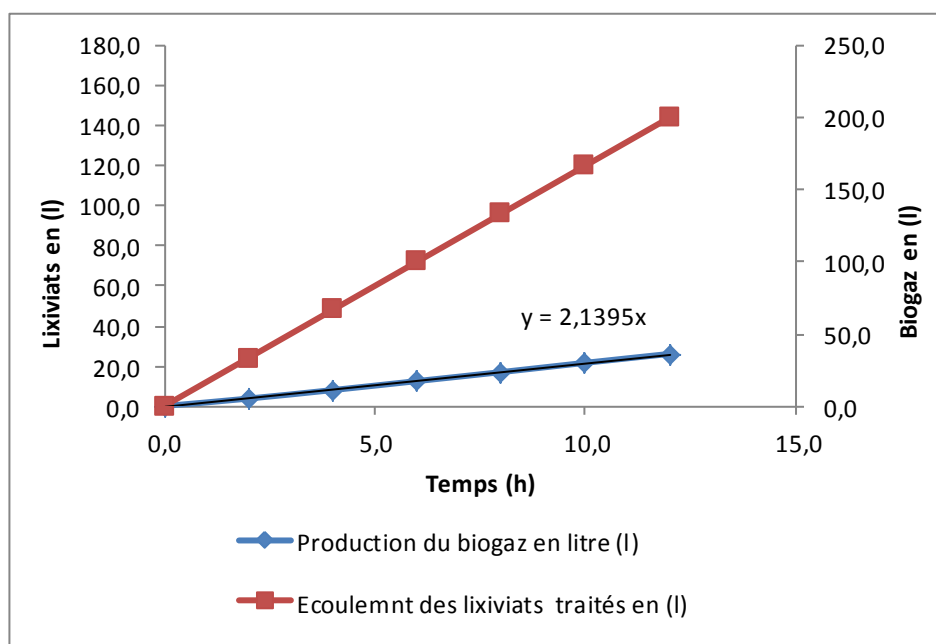


Figure 27: Evolution de la production du gaz au cours de traitement des lixiviats par UASB avec un TSH de 12h exprimé en litre (l)

La vitesse de production du biogaz a connu toujours une nette diminution en fonction de la baisse du débit d'écoulement des lixiviats qui est de l'ordre de 16 l/h. D'après notre suivi nous avons enregistré une vitesse de l'ordre de 2.13 l/h soit une diminution de 40% par rapport à la production de biogaz par un débit de 4 l/h et une diminution de 16% par rapport au débit de 8 l/h.

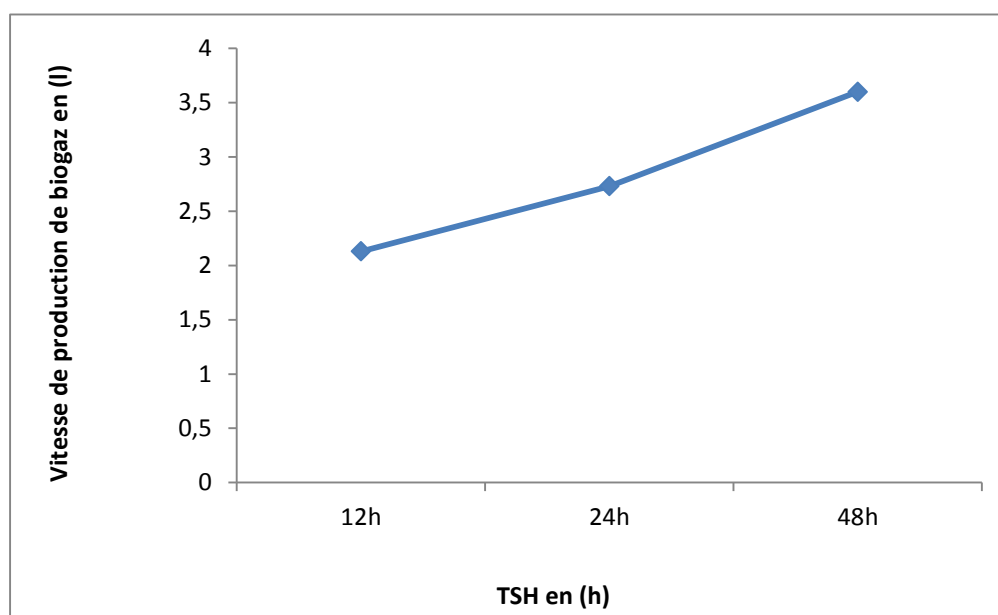


Figure 28 : Evolution de la production du biogaz pour différents TSH

À la vue de ces résultats, on peut conclure que notre processus de traitement par UASB en mode dynamique donne des résultats très satisfaisants. Le rabattement de DCO est de l'ordre de 90%. La production du biogaz est un indicateur du bon fonctionnement de notre processus.

C. Conclusion

Cette étude a permis dans un premier lieu de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des lixiviats à l'entrée de la décharge de la ville de Kasba Tadla et quantifier ces effluents durant une période de deux ans. Les essais de traitement des lixiviats en mode statique ou dynamique sont effectués par UASB nous ont permis d'évaluer l'intérêt de cette technique et de tirer avec différentes conclusions :

- La Technique de traitement par UASB au mode statique à présenter leur efficacité par un abattement de la DCO par 94% avec un TSH optimal et une température moyenne de 15°C durant la période d'hiver.
- La convergence de ces effluents vers la neutralité, et que notre processus commence son fonctionnement dès les premières heures de démarrage du système.
- Les conditions climatiques de la zone d'étude sont très favorables pour le fonctionnement de cette technique nous avons réalisés un abattement de 96% de la DCO pendant la période estivale en mode statique, avec une température moyenne de l'ordre de 38 °C est avec un minimum qui ne dépasse pas 10°C en hiver et un maximum qui peut arriver jusqu'à 55 °C pendant l'été.
- Le choix du modèle de notre réacteur de UASB a donné satisfaction pour le traitement d'une quantité de 1/10 de la quantité produite journalièrement ce qui va nous donner une idée sur le dimensionnement de notre réacteur UASB pour le traitement de cet effluent a forte charge organique et avoir un écoulement de traitement permanent.
- Faire une corrélation entre la quantité du biogaz produite, le TSH et la quantité des lixiviats traités, changeable selon notre objectif à réaliser.

D'après ces résultats on peut conclure que la technique de traitement avec UASB est une technique très adaptable et adéquate pour le traitement des lixiviats de transport des DM de la ville de Kasba Tadla avec des faibles coûts. Parallèlement c'est une source d'énergie très importante. Elle a donné une grande satisfaction avec un pouvoir épuratoire très important.

Chapitre IV : ESSAIS DE TRAITEMENT DES LIXIVIATS PAR EVAPORATION FORCEE

Chapitre IV : Essais de traitement des lixiviats par évaporation forcée

A. Introduction

Ce travail est relatif au traitement des lixiviats des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla au Maroc produits lors du transport des déchets vers la décharge. Les lixiviats sont des effluents aqueux de composition complexe, potentiellement écotoxiques et présentant des variations temporelles (*Shaylinda et Zin, 2012, Renou et al, 2008, Del Borghi et al, 2003, Christophe, 2014 ; Le Coupanec et al 1999, Schlumpf et al, 2001, Kurniawan et al, 2006*). Ces effluents peuvent être difficiles à traiter, et constituent une menace vis-à-vis de l'environnement (*Renou et Poulain, 2008*). Les études antérieures ont montré que les caractéristiques physico-chimiques de ces effluents varient à la fois dans le temps et dans l'espace et dépendent de la nature des déchets (*Mejbri et al, 1995*). Lors de l'évolution des déchets durant le transport jusqu'à la décharge, les lixiviats s'enrichissent en composés peu biodégradables (*Farah Naz and Christopher, 2012*) et les traitements conventionnels d'épuration ne permettent d'avoir des résultats qui respectent les normes de rejet des eaux traitées.

Les techniques de traitement des lixiviats sont très diverses. Les plus courantes pour les lixiviats « jeunes » sont les traitements biologiques (*Khattabi et al, 2002, Tania et al, 2013*), lesquels sont cependant inefficaces sur des lixiviats peu biodégradables issus de décharges âgées, et leurs performances sont réduites durant les périodes d'hiver (*Renou et Poulain, 2009*). Dans la présente étude, nous avons choisi une technique de traitement peu coûteuse. Il s'agit de la technique de traitement par évaporation. Cette technique permet de tirer parti des conditions climatiques de la zone d'étude (climat semi-aride avec des températures très élevées durant les périodes d'été). Elle a déjà été étudiée par plusieurs auteurs mais généralement en couplage avec d'autres techniques telles que l'osmose inverse ou l'ultrafiltration (*Di Palma et al, 2002, Xu et al, 2006, Yamasaki et al, 1996*). Cette technique a été beaucoup utilisée dans les décharges contrôlées de villes du Maroc, mais elle n'a pas donné satisfaction. Les raisons en sont principalement l'excès de lixiviats produits associé à une capacité de stockage limitée des casiers des décharges (*Leconomiste, 2014*).

D'après *Braconnier et al (2008) et Hancock et al (2011)* l'évaporation des lixiviats est fonction d'une part des facteurs météorologiques intervenant dans le processus d'évaporation

(rayonnement solaire, température ambiante, humidité relative et spécifique de l'air, pression atmosphérique et vitesse du vent), et d'autre part de facteurs physiques du milieu intervenant dans le processus d'évaporation à savoir l'évaporation à partir des surfaces d'eau libre ou bien à partir d'un sol nu. L'évaporation d'une surface d'eau libre dépend des propriétés physiques et géométriques de cette surface (profondeur, étendue). La profondeur de la surface d'eau libre joue un rôle essentiel. D'une manière générale, une surface d'eau libre peu profonde sera sensible aux variations météorologiques saisonnières, tandis qu'une surface d'eau libre profonde le sera beaucoup moins par son inertie thermique, et présentera une dynamique d'évaporation nettement différente (*Zhang and Ramanathan, 1995*). L'étendue de la surface d'eau libre joue aussi un rôle important sur les quantités évaporées puisque l'évaporation, à vitesse du vent égale, est proportionnelle à la surface évaporante ainsi qu'à l'humidité relative de l'air (*Braconnier et al, 2008, Nameche et Vassel, 1999, Vincon-Leite et al, 1989*). L'évaporation exige un apport de chaleur par le rayonnement solaire mais aussi entre l'air ambiant et le lixiviat par conduction à l'interface des deux milieux. La chaleur du fluide mobile (air ambiant) étant apportée par convection, un accroissement de la vitesse du fluide peut créer un état de turbulence du liquide, générant alors une convection turbulente qui facilite considérablement les échanges de chaleur et accélère donc l'évaporation (*Nasr et al, 2011*).

L'objectif de ce travail est de déterminer la mise au point d'un protocole expérimental et d'améliorer des performances d'évaporation forcée des lixiviats. Les études ont été réalisées sur des lixiviats frais récupérés dans les bennes des engins de collecte des déchets frais. Le travail expérimental s'est appuyé sur l'utilisation comparative de bacs d'évaporation de mêmes dimensions équipés ou non de dispositifs visant à accélérer l'évaporation en fonction de plusieurs paramètres (ventilation, effet de serre, agitation et surélévation par rapport au sol).

B. Traitement des lixiviats par évaporation forcée

I. Description du dispositif expérimental utilisé.

Les essais de traitement par évaporation ont été réalisés par des bacs d'évaporation en acier dont la longueur est de l'ordre de 0.93 mètre, la largeur est de l'ordre de 0.75 mètre et la profondeur est de l'ordre de 0.3 mètre. Nous avons choisi en premier lieu deux bacs misent directement dans le sol le premier est ouvert à l'air libre et l'autre est recouvert par une plaque de verre d'une manière horizontale. En deuxième lieu, nous avons ajouté deux autres bacs

identiques aux premiers mais qui ont été installés à une hauteur de 50 centimètre au-dessus du sol (Figure 29). Enfin nous avons choisi un bac à l'extérieur du sol avec du vitre incliné, avec agitation et ventilation (Figure 30). L'expérience a été réalisée par l'évaporation d'une quantité de 80 litres de lixiviats. Le suivi de l'évaporation a été effectué par la mesure de la quantité des lixiviats évaporé par la détermination de la hauteur du niveau du liquide restant dans les bacs.



Figure 29: Bacs d'évaporation traditionnelle avec vitre horizontale



Figure 30: Bacs d'évaporation forcée des lixiviats par agitation et ventilation sous une couverture de vitre inclinée

II. Effet de surélévation sur l'évaporation des lixiviats dans des bacs traditionnels

Le but de ce premier essai est d'évaluer la différence de rendement d'évaporation entre le bac d'acier mis au sol et celui surélevé. La seule différence entre les deux essais est l'effet de surélévation par rapport au sol.

Tableau 25: Résultat du suivi du volume de lixiviat évaporé au bac au sol (A) et celui surélevé (B) en hiver en litre (l)

Date	(A)	(B)	Température moyenne journalière (°C)
20/11/2013	0	0	14
25/11/2013	0,8	1,3	16
30/11/2013	1,6	2,7	16
05/12/2013	1,9	3,5	9
10/12/2013	2,8	4,9	17
15/12/2013	3	5,6	8
20/12/2013	5,6	7,2	18
25/12/2013	7,1	9,2	19
31/12/2013	8	10,7	17
05/01/2014	8,7	11,9	13
10/01/2014	9,6	13,3	17
15/01/2014	10,3	14,5	13
20/01/2014	10,9	15,6	12
25/01/2014	11,9	17,1	18
31/01/2014	12,8	18,6	17
03/02/2014	13,1	19,2	12
05/02/2014	13,4	19,7	12
10/02/2014	14,2	21	16
15/02/2014	15,3	22,6	18
20/02/2014	16,4	24,2	18
25/02/2014	17,5	25,8	18
28/02/2014	17,9	26,5	10
04/03/2014	18,8	27,8	17
10/03/2014	19,6	29,2	16
15/03/2014	20,4	30,5	16
19/03/2014	21,6	32,1	23
25/03/2014	23,1	34,4	18
31/03/2014	26,1	38,6	25
05/04/2014	30,8	44,2	28
10/04/2014	35,8	51,3	29
15/04/2014	41,7	59,1	30

20/04/2014	48,9	68,2	33
26/04/2014	58,3	80	34
30/04/2014	66,8		35
07/05/2014	80		37

(A) : Quantité des lixiviats évaporées au bac au sol en (I)

(B) : Quantité des lixiviats évaporées au bac surélevé en (I)

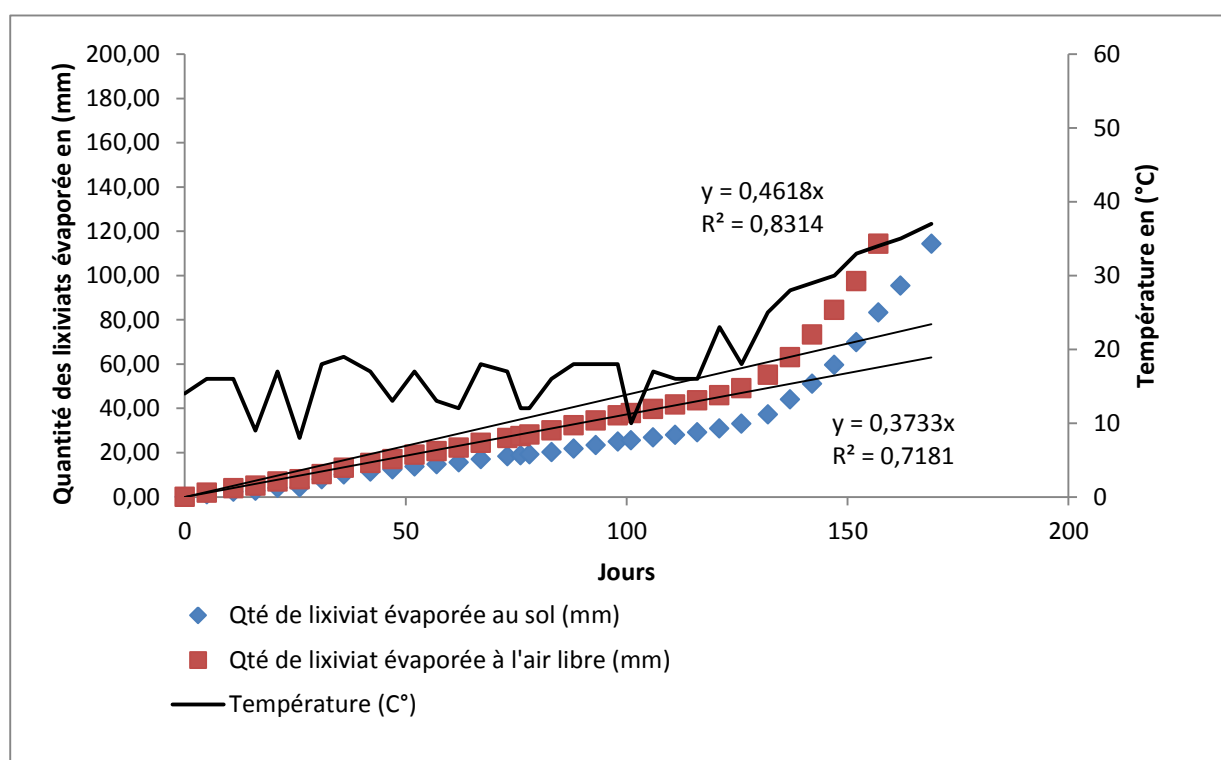


Figure 31: Comparaison des résultats d'évaporation naturelle des lixiviats à l'air libre et au niveau du bac mis au sol en hiver

Les courbes d'évaporation de la Figure 31 présentent l'évolution de la quantité des lixiviats évaporés dans des bacs mis au sol et celui surélevés. On constate que la courbe d'évaporation présente deux phases. Une première phase correspond à une évaporation faible qui a coïncidé avec la période hivernale (apports des averses et des températures relativement basses). Une deuxième phase qui correspond à une augmentation importante de l'évaporation et qui est corrélée avec l'augmentation de la température ce qui a favorisé d'évaporation.

Toutefois, la comparaison des deux essais montre que l'évaporation est légèrement favorisée dans le bac surélevé en comparaison à celui enterré au niveau du sol. Le temps

nécessaire à l'évaporation complète des 80l de lixiviat avec une surface d'exposition au soleil de 0.7 m^2 et à une température moyenne de 19°C a été de 5 mois et 17 jours dans le bac enterré et de 5 mois et 10 jours dans le bac surélevé, soit une diminution de 7 jours. La vitesse moyenne d'évaporation a augmenté d'environ 20% par rapport à la vitesse d'évaporation initiale, passant de $0,37 \text{ mm/j}$ à $0,46 \text{ mm/j}$. La surélévation du bac au-dessus du sol augmente la surface exposée au rayonnement solaire qui est le moteur de la vaporisation. La vitesse d'évaporation est ainsi une fonction croissante de la surface d'exposition aux rayonnements solaires.

L'essai d'évaporation a été répété durant la période estivale, les résultats obtenus montrent que le temps d'évaporation entre les deux périodes a connu une diminution très remarquable. Les résultats obtenus durant la période estivale (Figure 32) ont présenté une courbe linéaire durant toute la période d'essai pour les deux bacs d'évaporation. Le pouvoir évaporatoire a été très important avec une différence de rendement entre les deux bacs suites aux effets de surélévation.

Toutefois, les résultats obtenus durant la période estivale et ceux obtenus durant la période hivernale montre que le taux d'évaporation et l'effet de surélévation pour le bac mis directement à l'air libre est plus accéléré qu'au niveau du bac mis au niveau du sol. Le temps d'évaporation pour une quantité de 80l de lixiviat pour le bac mis au sol à prendre une durée de 37 jours avec une température moyenne de 44°C durant cette période et avec une surface d'exposition au soleil est de l'ordre de 0.7 m^2 , alors que pour la durée d'évaporation des lixiviats au niveau du bac mis directement à l'air libre on trouve qu'elle est de l'ordre de 31 jours, soit une diminution de 6 jours. La vitesse d'évaporation a augmenté de 20% par rapport à la vitesse d'évaporation initiale, elle est passée d'une valeur de $3,06 \text{ mm/j}$ pour atteindre une valeur de $3,67 \text{ mm/j}$. Le facteur essentiel qui diffère entre les deux essais est la surélévation du bac à l'extérieur du sol qui augmente la quantité des rayonnements solaire absorbés.

Tableau 26: Suivi d'évaporation naturelle des lixiviats et effet de surélévation en été

Date	(A')	(B')	Température moyenne journalière (°C)
30/06/2014	0	0	41
02/07/2014	4,45	5,47	44
04/07/2014	8,5	10,54	42
06/07/2014	13,35	16,61	46
08/07/2014	17,6	21,87	43
10/07/2014	22,25	27,55	45
12/07/2014	25,9	32,22	40
14/07/2014	29,95	37,29	42
16/07/2014	33,8	41,29	41
18/07/2014	38,65	47,29	46
20/07/2014	43,3	52,97	45
22/07/2014	48,15	58,97	46
24/07/2014	53,4	65,22	48
26/07/2014	58,45	71,29	47
28/07/2014	63,7	77,54	48
30/07/2014	68,35	80	45
01/08/2014	72,8		44
03/08/2014	77,65		46
05/08/2014	80		45

(A') : Quantité des lixiviats évaporées du bac au sol en (I)

(B') : Quantité des lixiviats évaporées du bac surélevé en (I)

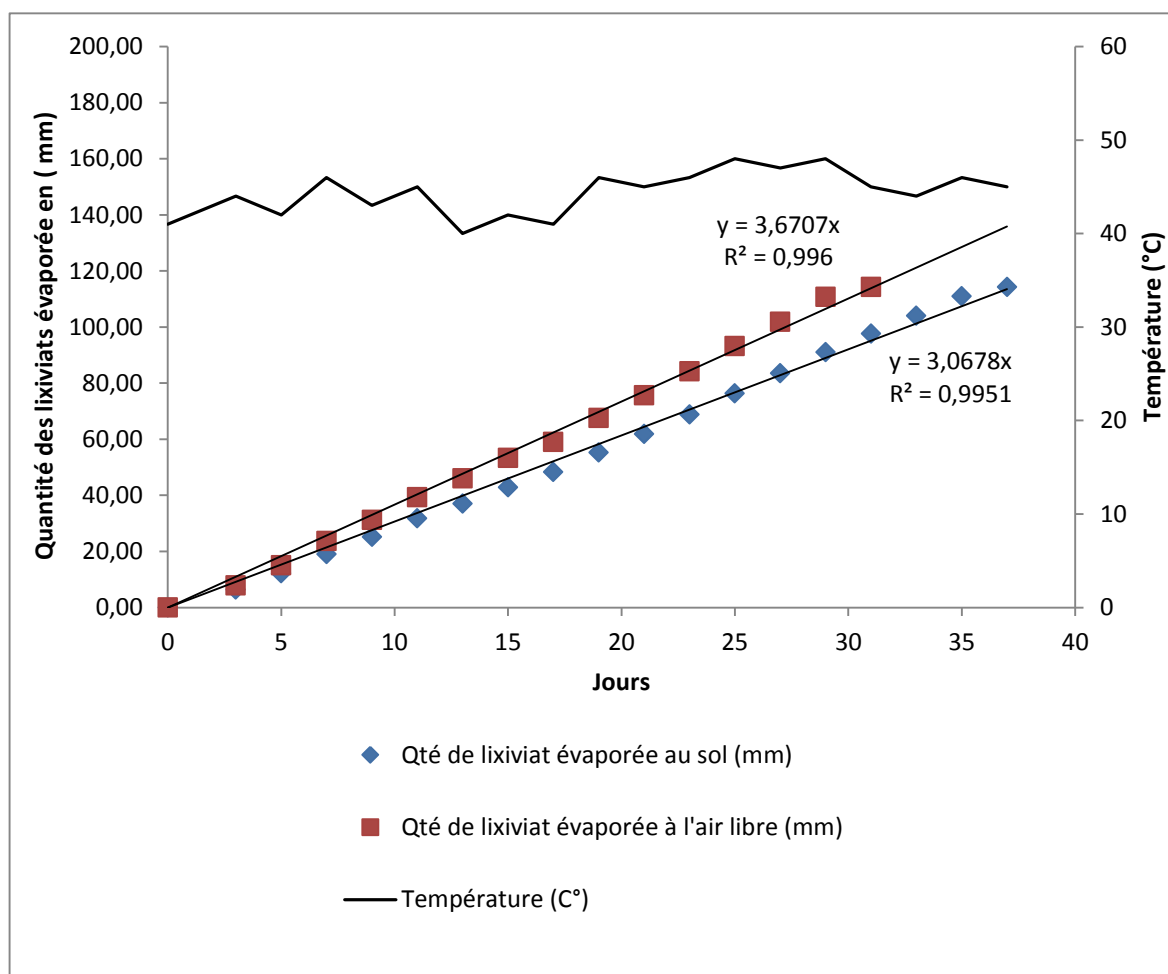


Figure 32: Comparaison des résultats d'évaporation naturelle des lixiviats à l'air libre et au niveau du bac mis au sol en été

L'allure de notre graphique durant la période d'été est sous forme d'une droite qui représente qu'on a une seule phase suite à l'absence des apports d'avvers. Ce qui est justifié par la vitesse linéaire et constante, qui est de l'ordre de 3.67 (mm) pour les bacs disposés à l'air libre et une vitesse de l'ordre de 3.06 (mm) pour les bacs mis au sol.

La durée d'évaporation reste cependant toujours relativement très longue de l'ordre de 30j. De nouveaux essais ont donc été envisagés avec l'ajout des couvertures vitrées sur les bacs pour l'accélération de l'évaporation et pour les rendre plus performants.

III. Effet de la couverture vitrée horizontale sur l'évaporation des lixiviats

L'évaporation naturelle des lixiviats a présenté ses limites et avec un temps très long d'environ 5 mois pour évaporer une quantité de 80l des lixiviats pour une surface d'exposition de 0.7 m². Cette vitesse nous apparaît très peu efficace pour envisager un traitement de la totalité des lixiviats. Aussi nous avons accédé à améliorer les performances de ce système d'évaporation par l'ajout d'élément favorisant l'évaporation. En effet, des couvertures de verre ont été ajoutées aux deux bacs. L'objectif de ces plaques de verre, en plus de l'effet de serre, c'est que cette couverture joue le rôle de parapluie des bacs lors des averses.

Tableau 27: Résultats d'évaporation des bacs à vitre

Date	(C)	(D)	Température moyenne journalière (°C)
20/11/2013	0	0	14
25/11/2013	3,3	3,8	16
30/11/2013	7,1	8,2	16
05/12/2013	9,9	11,5	9
10/12/2013	13,3	15,4	17
15/12/2013	16	18,6	8
20/12/2013	19,6	22,7	18
25/12/2013	23,6	27,2	19
31/12/2013	27,5	31,7	17
05/01/2014	30,7	35,4	13
10/01/2014	34,1	39,3	17
15/01/2014	37,3	43	13
20/01/2014	40,4	46,6	12
25/01/2014	43,9	50,6	18
31/01/2014	47,8	55,1	17
03/02/2014	49,6	57,2	12
05/02/2014	50,9	58,7	12
10/02/2014	54,2	62,5	16
15/02/2014	57,8	66,6	18
20/02/2014	61,4	70,7	18
25/02/2014	65	74,8	18
28/02/2014	66,9	77	10
04/03/2014	69,8	80	17
10/03/2014	73,6		16
15/03/2014	76,9		16
19/03/2014	80		23

(C) Quantité de lixiviat évaporée au sol avec vitre horizontale en (I)

(D) Quantité de lixiviat évaporée à l'air libre avec vitre horizontale en (I)

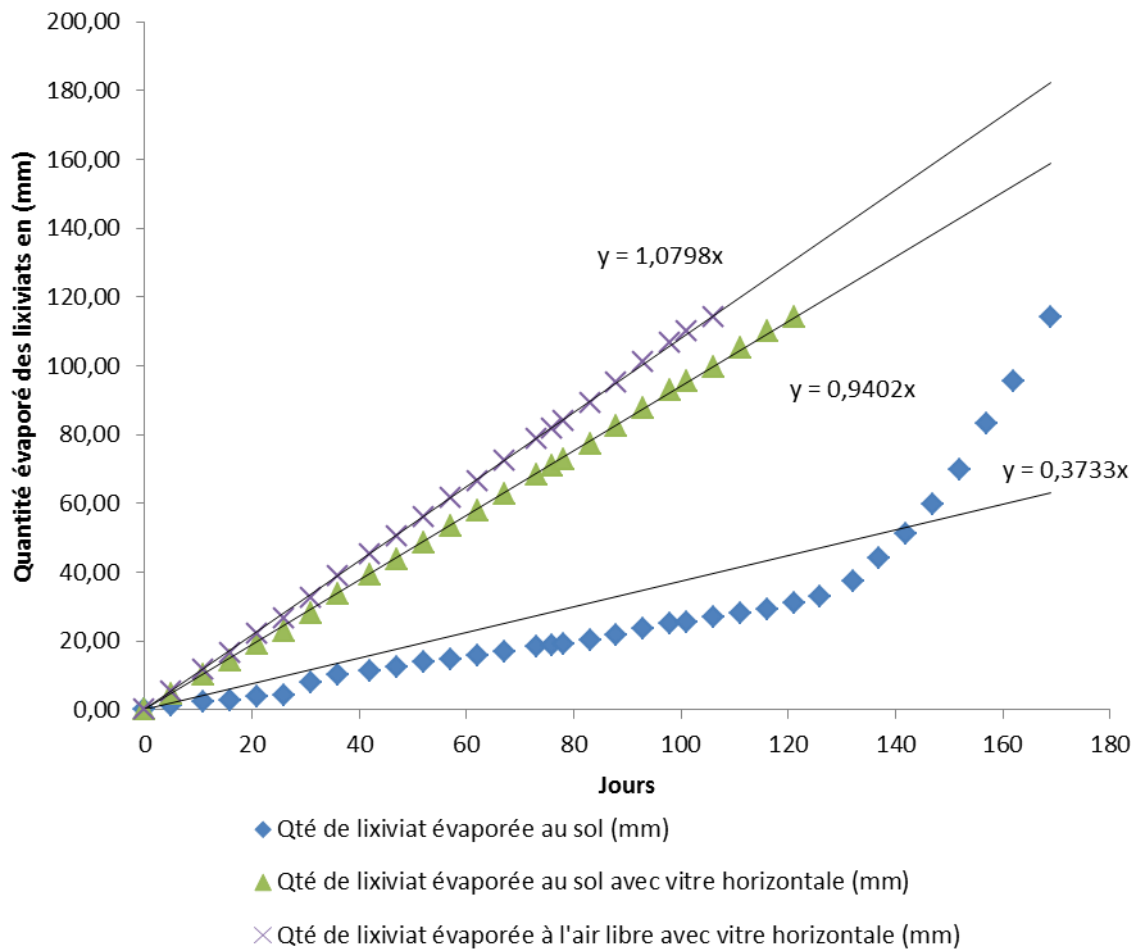


Figure 33: Effet des plaques de vitre à l'accélération de l'évaporation en hiver

Les résultats obtenus lors des essais des couvertures pendant la période hivernale (Figure 33) confirment que les plaques de vitre ont joué un rôle très important à l'accélération d'évaporation au niveau des deux bacs par rapport aux bacs non recouvertes. Les résultats ont montré que le temps d'évaporation de la même quantité des lixiviats est diminué d'environ deux mois. Alors que la vitesse d'évaporation a été triplée pour atteindre 0.94 mm/j. Cette vitesse d'évaporation a connu aussi une évolution remarquable pour les bacs surélevés, il a passé de la valeur de 0,46 mm/j pour atteindre une valeur de 1,07 mm/j, soit plus que le double. De plus, nous avons remarqué un autre avantage, les plaques de vitres pendant les jours des pluies, les bacs ont gardé la même quantité des lixiviats, le processus d'évaporation n'a pas été perturbés par les averses.

Afin de comparer l'effet de serre en particulier l'effet de la température, l'essai a été répété durant la période estivale. Les résultats obtenus (Figure 34) confirment que les plaques de verre ont joué un rôle très important dans l'accélération de l'évaporation au niveau des deux bacs par rapport aux bacs sans couverture. Les résultats montrent que le temps d'évaporation de la même quantité des lixiviats est diminué d'environ 20 jours. Alors que la vitesse d'évaporation a atteint 3,06 mm/j à une valeur de 5,27 mm/j soit une augmentation de 72% pour les bacs mis au sol suite à l'effet des plaques de vitres horizontale, cette vitesse d'évaporation a connu aussi une évolution remarquable pour les bacs surélevés, il a passé de la valeur de 3,67 mm/j pour arriver à une valeur de 6,83 mm/j, soit une augmentation d'environ de 86%. Durant ces essais, nous avons constatés que les plaques de verre placées horizontalement accumulent des gouttelettes d'eau sur ces plaques retournent dans les bacs. De plus, la distance entre les plaques de verre et les bacs d'évaporation ne favorise pas le mouvement d'air au voisinage de la surface évaporante.

Tableau 28: Effet des plaques de vitres et taux d'évaporation des lixiviats en été

Date	(C')	(D')	Température moyenne journalière (°C)
30/06/2014	0	0	41
02/07/2014	7,89	11,03	44
04/07/2014	14,94	20,38	42
06/07/2014	23,89	32,51	46
08/07/2014	31,34	42,74	43
10/07/2014	39,79	54,69	45
12/07/2014	47,14	63,54	40
14/07/2014	55,19	72,89	42
16/07/2014	62,84	80	41
18/07/2014	71,79		46
20/07/2014	80		45

(C') : Quantité de lixiviat évaporée au sol avec vitre horizontale (l)

(D') : Quantité de lixiviat évaporée à l'air libre avec vitre horizontale (l)

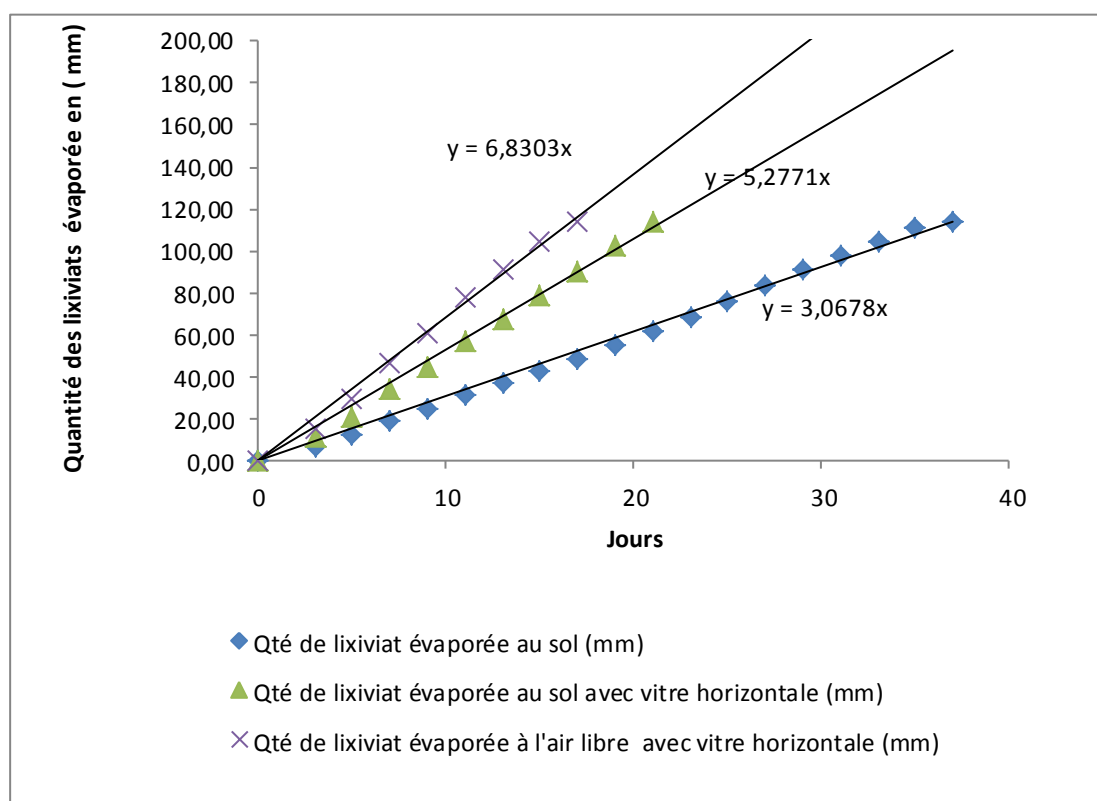


Figure 34: Validation de l'importance des plaques de verre pour accélérer l'évaporation en été

Durant les essais précédents, les plaque de verre ont permis d'améliorer l'évaporation, mais nous avons constaté que l'orientation des plaques de verre placés horizontalement peuvent jouer le rôle d'un obstacle au niveau du quel il s'accumule des gouttelettes d'eau (Figure 35) qui ont été retourner au niveau du bac, de plus la distance entre les plaques de vitres et le bac ont été très faible qui empêché le mouvement d'air au voisinage de la surface évaporante. Afin d'améliorer notre protocole expérimental et d'éliminer le problème d'accumulation des gouttelettes sur les plaques, nous avons procédé à une amélioration des plaques en verre toujours dans le but d'augmenter en plus le taux d'évaporation dans les essais suivants.



Figure 35: Gouttelettes d'eau sur les plaques de verre horizontale

IV.Effet de la couverture vitrée inclinée avec agitation et ventilation sur l'évaporation des lixiviats

Lors des essais, une plaque de verre inclinée a été utilisée en couverture pour d'une part faciliter la circulation d'air en augmentant l'espace entre la vitre et le bac et d'autre part pour éviter le retour des gouttelettes d'eau dans le bac. En plus, le bac a été agité à une vitesse de 35 tr/min.

Tableau 29: Suivi d'évaporation des lixiviats sous plaque de verre inclinée avec agitation et ventilation en hiver

Date	(E)	Température moyenne journalière (°C)
20/11/2013	0	14
25/11/2013	5,3	16
30/11/2013	11,5	16
05/12/2013	16,3	9
10/12/2013	21,7	17
15/12/2013	26,4	8
20/12/2013	32	18
25/12/2013	38	19
31/12/2013	44,3	17
05/01/2014	49,5	13
10/01/2014	54,9	17
15/01/2014	60,1	13
20/01/2014	65,2	12
25/01/2014	70,7	18
31/01/2014	77	17
03/02/2014	80	12

(E) Quantité de lixiviat évaporée à l'air libre avec vitre inclinée, avec agitation et ventilation période hiver en (l)

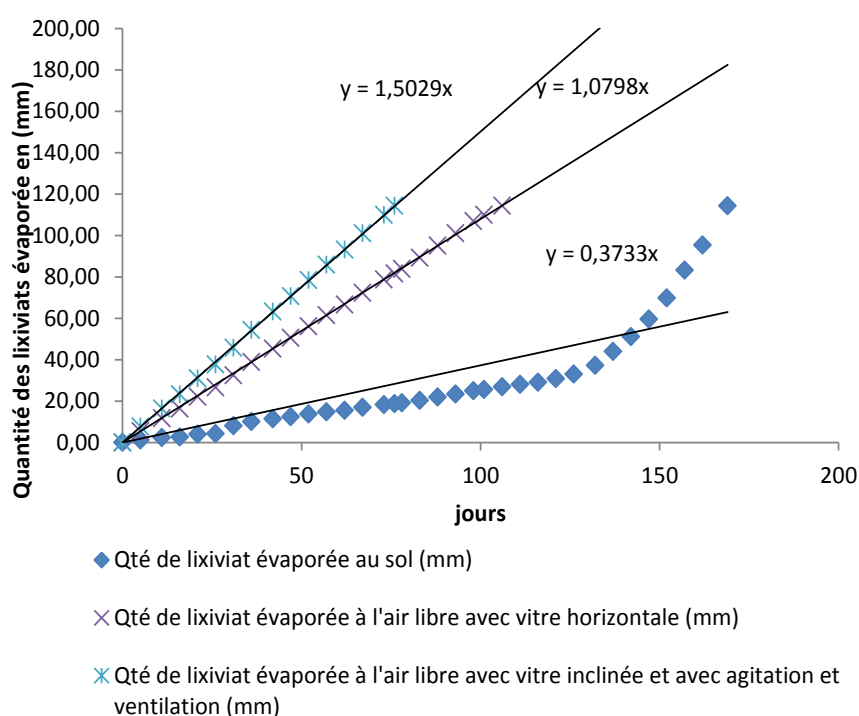


Figure 36: Comparaison des résultats des trois techniques d'évaporation à l'air libre pendant l'hiver

Les résultats portés à la Figure 36 montrent que la présence d'une couverture en verre inclinée associée à une ventilation et une agitation des lixiviats ont tenus d'améliorer la performance d'évaporation. Le temps d'évaporation d'une même quantité de lixiviat (80l) est diminué respectivement de 50% et de 30% par rapport à l'évaporation naturelle et traditionnelle et l'évaporation avec bac équipé d'une plaque de verre horizontale. La vitesse moyenne d'évaporation est presque cinq fois plus élevée. L'augmentation de la vitesse d'évaporation est due à l'agitation qui facilite le transfert de chaleur air – lixiviat et le transfert de matière (vapeur d'eau) du lixiviat vers l'air en levant la limitation cinétique liée à la couche limite à l'interface lixiviat – air. A partir de ces essais on peut conclure que les facteurs d'influence déterminants sont la surface de contact avec l'air ambiant, son agitation, surface accessible au rayonnement solaire et l'agitation.

Tableau 30: Résultats de traitement des lixiviats par évaporation durant la période estivale

Date	(A')	(B')	(C')	(D')	(E')	Température moyenne journalière (°C)
30/06/2014	0	0	0	0	0	41
02/07/2014	4,45	5,47	7,89	11,03	17,25	44
04/07/2014	8,5	10,54	14,94	20,38	32,7	42
06/07/2014	13,35	16,61	23,89	32,51	50,25	46
08/07/2014	17,6	21,87	31,34	42,74	66,5	43
10/07/2014	22,25	27,55	39,79	54,69	80	45
12/07/2014	25,9	32,22	47,14	63,54		40
14/07/2014	29,95	37,29	55,19	72,89		42
16/07/2014	33,8	41,29	62,84	80		41
18/07/2014	38,65	47,29	71,79			46
20/07/2014	43,3	52,97	80			45
22/07/2014	48,15	58,97				46
24/07/2014	53,4	65,22				48
26/07/2014	58,45	71,29				47
28/07/2014	63,7	77,54				48
30/07/2014	68,35	80				45
01/08/2014	72,8					44
03/08/2014	77,65					46
05/08/2014	80					45

(E') : Quantité de lixiviat évaporée à l'air libre avec vitre inclinée et avec agitation et ventilation période été en (I)

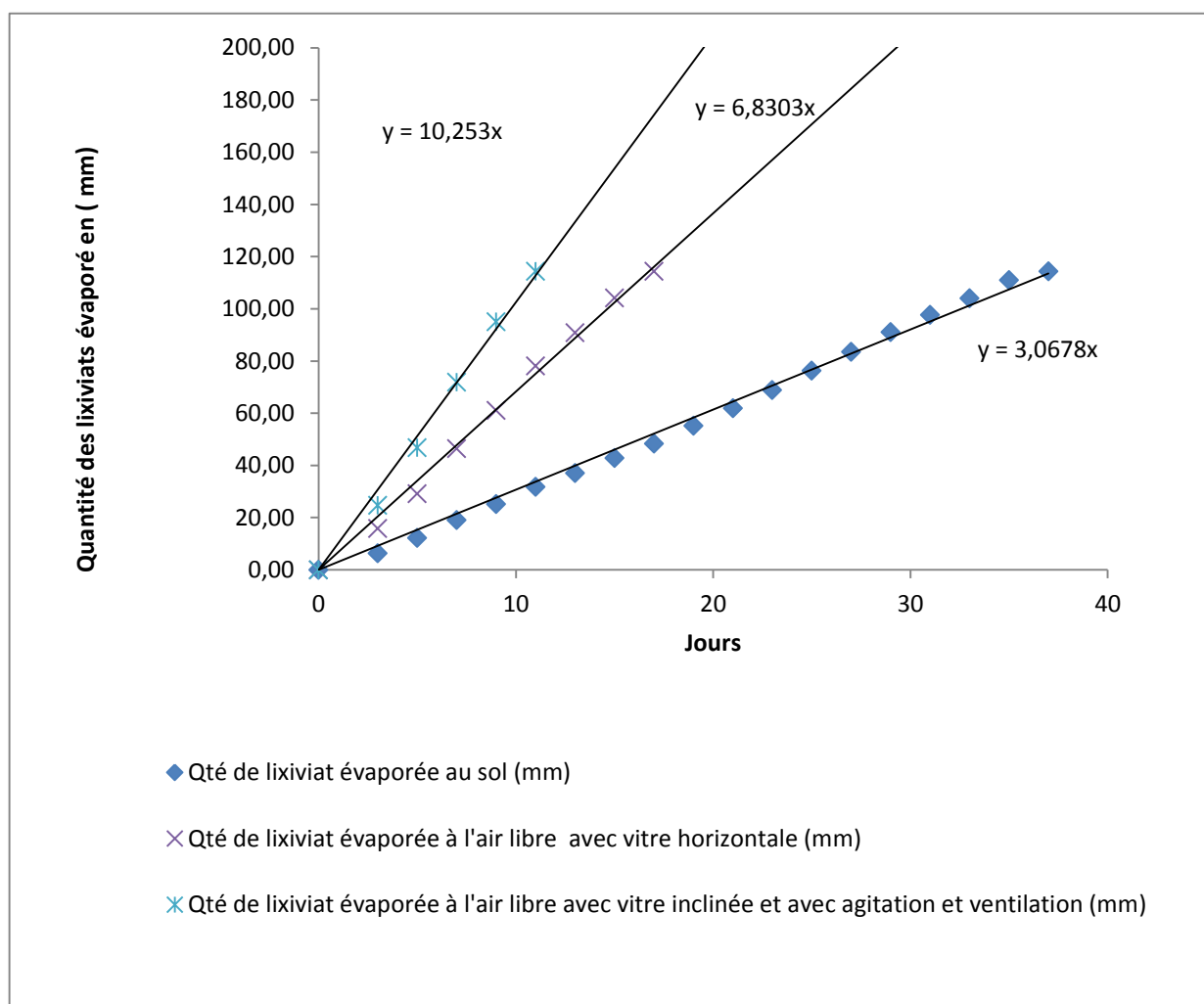


Figure 37: Vitesse d'évaporation des lixiviats par différentes protocole durant la période estivale

Les essais menés en saison d'été ont donné une grande satisfaction. Les températures élevées que connaît la ville de Kasba Tadla durant cette période allant du mois de juin jusqu'à le mois d'octobre a été un facteur très important. La vitesse d'évaporation est passée d'une valeur de 3,07 mm/j pour le bassin d'évaporation naturelle pour atteindre la valeur de 10,25 mm/j pour l'évaporation sous plaques inclinées avec ventilation et agitation. La comparaison de ces résultats avec celles obtenus durant la période d'hivers ont montré une augmentation de 7 fois de la vitesse d'évaporation. Elle a passée d'une valeur de 1,50 mm/j pendant l'hiver pour atteindre une valeur de 10,25 mm/j pendant l'été. La production des lixiviats est faible pendant la période froide par rapport à la période chaude. Malgré la différence de vitesse d'évaporation enregistrée entre la période chaude et la période froide, cette technique est la plus adaptée au traitement des lixiviats. En effet, car elle a montré que la production moyenne journalier des lixiviats est d'environ 1800 litres par jour pendant la durée entre le mois de

Novembre au mois d'Avril et une production moyenne journalière de l'ordre de 3200 litres par jour durant la période entre le mois de Mai au mois d'Octobre.

V. Evaporation des lixiviats dans un dispositif expérimental alimenté par de l'énergie solaire

La technique d'évaporation des lixiviats a été répétée avec un Protocole expérimental alimenté par de l'énergie solaire dans le but d'optimiser la consommation de l'énergie électrique et substitué l'énergie électrique par l'énergie solaire. Pour rendre le système plus durable.



Figure 38: Protocol expérimental de substitution de l'énergie électrique par l'énergie solaire pendant le traitement des lixiviats par évaporation

Tableau 31: Résultats d'évaporation des lixiviats après substitution de l'énergie solaire par l'énergie électrique

Date	Nbr de jours	Qté de lixiviat évaporée avec plaque solaire	Température (°C)
22/05/2015	0	0	38
25/05/2015	3	14,5	39
27/05/2015	5	28,4	37
29/05/2015	7	40,75	35
31/05/2015	9	53,85	36
02/06/2015	11	65,35	32
04/06/2015	13	76,64	31
06/06/2015	15	80	31

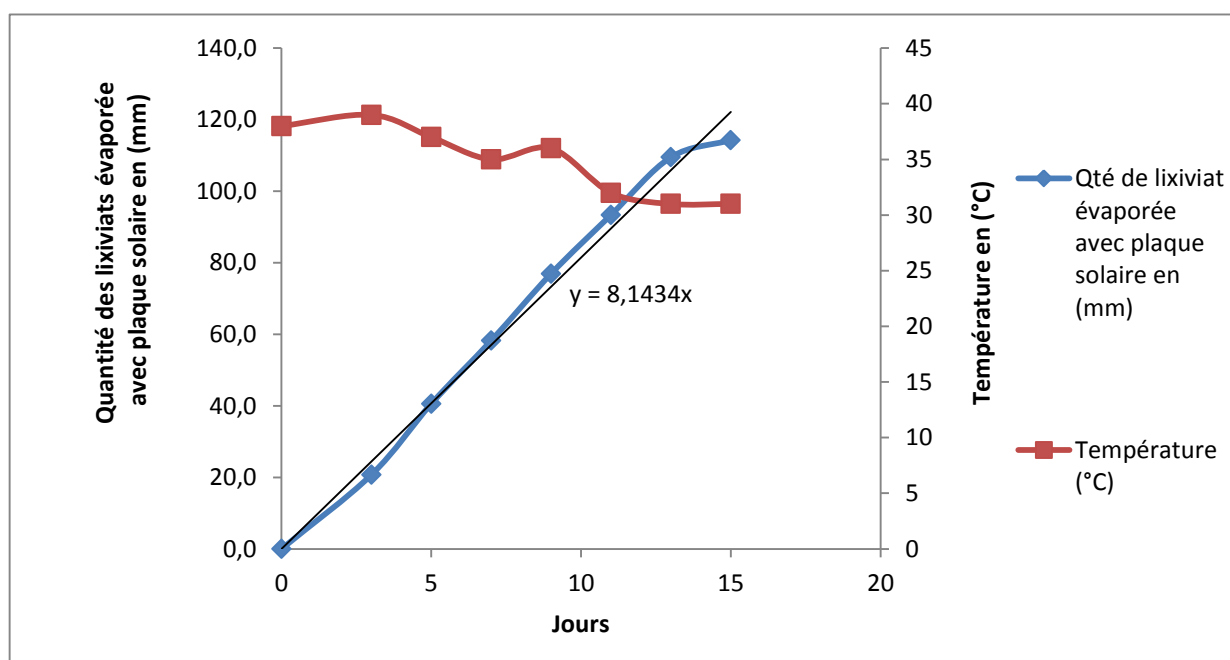


Figure 39: Evolution d'évaporation des lixiviats avec l'utilisation de l'énergie solaire pour le fonctionnement du système

Les résultats obtenus après la substitution de l'énergie électrique par l'énergie solaire pour le fonctionnement de notre modèle d'évaporation à donner les mêmes résultats obtenus par l'utilisation de l'énergie électrique, surtout que la température de la ville de Kasba Tadla est toujours élevée, il arrive durant la période d'été à des valeurs qui dépassent les 50 °C. C'est un facteur qu'il faut exploiter sur tous les niveaux, pour l'activation de l'évaporation naturelle d'une part et l'exploitation de l'énergie solaire comme source d'énergie pour avoir un modèle final très satisfait sur le plan du rendement évaporatoire et du côté d'investissement qui sera très bas.

C. Conclusion

Les résultats obtenus nous ont permis de confirmer que l'évaporation dépend essentiellement de deux facteurs, météorologiques et physiques. Les facteurs météorologiques qui incluent de nombreux éléments à savoir la quantité de chaleur disponible, rayonnement net et de bilan énergétique au travers de la surface évaporante de notre lixiviat, Température de l'air et de notre lixiviat, Humidité relative et Pression atmosphérique et la vitesse du vent au-dessus du liquide, mais aussi des facteurs physiques liés aux surfaces évaporantes, la

profondeur et l'étendue de notre bac et les mouvements de convections. Les résultats obtenus montrent une importante corrélation entre tous ces éléments dans l'accélération de l'évaporation. Les facteurs essentiels qui ont participé à l'accélération de l'évaporation durant notre étude dépend essentiellement des facteurs météorologiques liés avec les mouvements du vent, la température et la ventilation. Ces facteurs ont été testés et ont donnés des meilleurs résultats, c'est une solution efficace pour le traitement des lixiviats des DM. En effet, la réussite de cette technique liée à :

- L'augmentation de la surface d'exposition aux rayonnements solaire par l'emplacement des bacs au-dessus du sol.
- L'emplacement des plaques de vitres d'une manière incliné sur le bac qui absorbe plus de chaleurs et qui empêche la formation des gouttelettes d'eaux sur la vitre et le retour vers notre bac et garder un espacement suffisant pour les mouvements d'air au-dessus de la surface des lixiviats.
- Agitation continue des lixiviats qui inhibent l'apparition de la couche lipidique au-dessus de ces effluents lors de l'évaporation, et qui accélère les mouvements de convection qui permet le transfert de la chaleur dans le liquide facilement.

Le modèle d'évaporation qui a été retenu pour le traitement des lixiviats de la ville de Kasba Tadla a montré ses propriétaires à travers des résultats obtenus. En effet, la valeur maximale d'évaporation atteint 10,25 mm/j en saison estivale. Le traitement des lixiviats par évaporation forcée est bien adapté au traitement des lixiviats de la ville de Kasba Tadla surtout que les conditions naturelles du site d'étude sont très favorables. En effet, la température de la ville est adéquate, la moyenne annuelle enregistrée variée de 35 °C, et qui atteint des environs de 52 °C. C'est un facteur qu'il faut exploiter pour augmenter le pouvoir évaporatoire et l'utiliser comme source d'énergie pour le fonctionnement du processus de traitement.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre général de la gestion, valorisation des DM et le traitement des lixiviats a eu pour but d'étudier les différents volets liés au secteur des déchets ainsi les techniques de traitement de ces rejets soit solide ou liquide pour la protection l'environnement et la santé humaine. Concernant l'étude du gisement des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla une caractérisation de ces rejets a été réalisée sur une période de 3 ans dans le but de déterminer la composition des déchets du site d'étude. Au vu des résultats de la caractérisation, la classe dominante est celle de la matière organique par un pourcentage de (74%). Cette dernière varie selon la nature et la composition des déchets entreposés. Les classes de déchets restantes regroupent le papier (3%), le plastique (9 %), alors que les quantités d'aluminium, du fer et du verre sont très faibles. Ces résultats obtenus montrent que la filière compostage apparaît comme une technique évidence pour le traitement et la valorisation des déchets ménagers à la ville de Kasba Tadla. Un deuxième acte a été réalisée inclus dans le cadre de réduire la production des déchets à la source et produire ces déchets d'une manière propre et facile à la réutilisation, c'est le tri à la source, pour faciliter l'opération du recyclables, il a été réalisé sur deux campagnes, la première en 2014 et une deuxième campagne en 2015 pour évaluer l'impact de la campagne de sensibilisation de 2014 sur le comportement des citoyens. Les résultats ont montré que le tri à la source est une approche qu'il faut suivre dans les années prochaines. Il pourrait aller à des résultats intéressant sur le côté environnemental et financier. Cette étude aussi à toucher le secteur informel, nous sommes arrivés à des informations très riches sur cette activité, une portion très importante des familles qui bénéficient de ce secteur sauf qu'il faut l'organisé est rendre les conditions de travail sein et salubre pour un être humain pour éviter les grandes menaces liées de cette informalité.

En ce qui concerne la gestion des DM à la ville de KASBA TADLA, c'est un secteur qui connut la gestion déléguée depuis l'année 2009, il est géré par une société privé dans le but d'améliorer le rendement et appliquer des nouvelles techniques pratiquées par des spécialistes du domaine. L'étude réaliser sur terrain permet d'avoir des notions sur le déroulement des différentes prestations de collecte et de balayage au niveau des secteurs, ainsi la manière de contrôle et d'entretien du matériel et les efforts accomplis par le délégataire

dont le but de satisfaire le client en premier lieu pour éviter les pénalités et satisfaire aussi les citoyens pour avoir une image de marque importante et résister contre la concurrence. D'après notre étude nous avons affirmé que la principale difficulté à l'égard de la gestion des déchets ménagers est plus souvent culturelle et communicationnelle que managériale. En effet, le véritable défi ne réside pas dans l'aptitude à utiliser les outils de mesure et d'évaluation, mais dans la capacité à convertir les informations collectées à l'aide d'une stratégie de communication bien déterminée en actions concrètes.

Autrement dit, la société doit avoir la possibilité et la volonté de mettre à profit ces informations. Par conséquent, il faut penser de passer de la mesure de la satisfaction client à un concept plus global de gestion de la satisfaction. L'analyse des résultats de notre enquête sur terrain ont permis de donner un aperçu sur la mentalité de la population de la ville de Kasba Tadla et le taux de leur satisfaction des travaux réalisés par la société. Notre enquête aussi a touché les ONG et l'encadrement communal qui prouvent jugé les choses d'une manière législative et professionnelle plus qu'une manière visuelle. D'après les enquêtes réalisées, le taux de satisfaction de la population vis-à-vis des prestations de la société a dépassé les 70%, la chose qui n'est pas facile dans d'autres villes.

Ce travail n'est pas limité à ce stade, mais nous avons accédé aussi aux essais de traitement des rejets liquides des déchets ménagers qui sont les lixiviats, qui posent un vrai danger qui menace l'environnement et la santé humaine. Nous avons testé deux modèles de traitement à l'échelle du laboratoire et avec différents essais avec changement des conditions de travail pour avoir des résultats fiables et représentatifs qu'on peut exploiter dans le domaine de traitement des lixiviats à grande échelle. Nous avons commencé notre étude dans un premier lieu par la détermination des caractéristiques physico-chimiques des lixiviats de transport à la ville de Kasba Tadla. Nous avons quantifié ces effluents lors du transport au niveau des engins durant une période de deux ans. Notre première technique de traitement des lixiviats des DM que nous avons adoptée durant notre recherche est la technique de traitement par UASB dans des conditions anaérobiques dans un réacteur élaboré par nous-même, notre modèle expérimental a été inspiré à partir de nombreuses études antérieures et nous avons pris en considération les quantités des lixiviats produites journalièrement dans notre site d'étude. Les premiers essais de traitement par UASB ont été effectués pendant la saison hivernale et estivale en mode statique pour déterminer les conditions optimales pour le bon fonctionnement du réacteur UASB. Pour augmenter le traitement des quantités des lixiviats produits et éviter leur stockage, d'autres essais sont réalisés en mode dynamique avec

différents TSH pour déterminer le rendement d'abattement convenable pour chaque débit selon notre besoin de la qualité finale de notre lixiviat qui sera traitée.

Les essais de traitement des lixiviats en mode statique par UASB nous ont permis d'évaluer l'intérêt de cette technique et de faire différentes conclusions. En effet, cette technique de traitement par UASB a présenté leur efficacité par un abattement de la DCO par 94% avec un temps de séjours hydraulique optimal de 5 jours avec une température moyenne de 25°C durant la période d'hiver et l'étude de l'évolution temporelle du rendement épuratoire de la DCO durant la période estivale met en évidence un abattement très important qui est de l'ordre de 96.4 % après un TSH de 6 jours avec une température moyenne de 38 °C avec un maximum de 39 °C et un minimum de 36 °C durant la période d'étude. Nous avons noté aussi la convergence de ces effluents vers la neutralité, et que notre processus commence son fonctionnement dès les premières heures de démarrage du système. Les conditions climatiques de la zone d'étude sont très favorables pour le fonctionnement de cette technique nous avons réalisés un abattement qui dépasse les 90% de la DCO sur toute l'année, puisque la température du site d'étude est variée entre un minimum qui ne dépasse pas 10°C en hiver et un maximum qui peut arriver jusqu'à 55 °C pendant l'été. Aussi notre réacteur de UASB a donné satisfaction pour le traitement d'une quantité de 1/10 de la quantité produite journalièrement, ce qui donne une idée sur le dimensionnement de notre réacteur UASB pour le traitement de ces effluents à forte charge organique avec un mode dynamique. Aussi durant notre étude nous avons réalisé un protocole qui lie le débit avec le rendement souhaitable. Nous avons réalisé trois différents débits, de 4 litres par heure avec un taux d'abattement d'environ 90%, un débit de 8 litres par heure avec un taux d'abattement d'environ 80% et finalement un débit de 16 litres par heure avec un taux d'abattement des alentours de 50%. Cette étude a été liée par un suivi de la production du gaz liée à la biodégradation de la MO lors de notre processus de traitement pour chaque débit afin de valoriser cette ressource.

Une technique de traitement des lixiviats par évaporation forcée a été faite aussi avec différents protocoles expérimentaux, est durant différents saison afin de comparer les résultats et arriver à un modèle final adaptable au traitement de ce type d'effluent et donne une très grande efficacité. Les résultats obtenus confirment que l'évaporation dépend essentiellement à deux facteurs associés à des facteurs météorologiques qui incluent de nombreux éléments à savoir la quantité de chaleur disponible, rayonnement net et de bilan énergétique à travers de la surface évaporante de notre lixiviat, température de l'air et de notre lixiviat, humidité relative et pression atmosphérique et la vitesse du vent au-dessus du liquide, mais aussi des facteurs physiques liés aux surfaces évaporantes, la profondeur et l'étendue de notre bac et les

mouvements de convections. Les résultats obtenus montrent une importante corrélation entre tous ces éléments dans l'accélération de l'évaporation. Les facteurs essentiels qui ont participé à l'accélération de l'évaporation durant notre étude et compris l'augmentation de la surface d'exposition aux rayonnements solaire par l'emplacement des bacs au-dessus du sol, l'emplacement des plaques de verre d'une manière incliné sur le bac qui absorbe plus de chaleurs et qui empêche la formation des gouttelettes d'eaux sur la plaque en verre et le retour vers notre bac et garder un espacement suffisant pour les mouvements d'air au-dessus de la surface des lixiviats, et l'agitation continue des lixiviats qui inhibent l'apparition de la couche lipidique au-dessus de ces effluents lors de l'évaporation, et qui accélère les mouvements de convection qui permet le transfert de la chaleur dans le liquide facilement.

Cette technique à apparue sa réussite par l'accélération de la vitesse d'évaporation cinq fois par rapport à l'évaporation naturelle par le passage d'une valeur de 0,37 mm/j pour atteindre la valeur de 1,50 mm/j pour notre dernier modèle de bac avec verre inclinée et avec agitation en hiver et une valeur de 10,25 mm/j pour l'essai d'été. En effet, le traitement des lixiviats par évaporation forcée est adaptable au traitement des lixiviats de la ville de Kasba Tadla surtout que les conditions naturelles du site d'étude sont très favorables. La température de la ville et dont la moyenne annuelle varié ou alentour de 35 °C, et durant la période estivale peut atteindre les environs de 52 °C. C'est un facteur qu'il faut exploiter pour augmenter le pouvoir évaporatoire et l'utilisé comme source d'énergie, aussi par l'utilisation des plaque solaires pour le fonctionnement de notre système au lieu de l'énergie électrique surtout ils ont donné les mêmes résultats.

Perspectives

A ce stade notre étude n'a pas permis d'aller au-delà de ces observations, mais elle ouvre des perspectives intéressantes :

- Préparation une fiche technique sur les points forts et les points faibles de la gestion délégué du service de propreté au Maroc ;
- Penser à faire des études socioéconomiques sur le recyclage des DM ;
- Faire des tests de compostage puisque la fraction de la partie fermentescible (MO) dépasse 70% ;
- Déterminer le dimensionnement du réacteur UASB pour faire traiter toute la quantité produite journalièrement ;
- Faire une combinaison entre la technique de UASB avec la technique d'évaporation forcée ;
- Une étude est actuellement en cours pour déterminer la possibilité d'utilisation des gaz produisent par UASB pour garantir des températures très élevée pendant la période hivernale et avoir un rendement d'évaporation important ;
- Détermination de dimensionnement des bassins d'évaporation des lixiviats de la ville de Kasba Tadla d'après notre étude sur la quantification des lixiviats produites ;
- Réutilisation ces déchets dans un autre procédé pour compléter la technique de traitement ;

Références bibliographiques

A

- Aboulam, 2005.** Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tricompostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière. Thèse de l'INPT N° 2216
- ADEME, 1993.** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, France, 1993. Méthode de caractérisation des ordures ménagères, MODECOM TM – Manuel de base – édité par l'Ademe Centre d'Angers, Septembre - Réf 1601 - Coll., « Connaître pour agir », 64p
- ADEME, 2000.** Déchets municipaux 2^{ème} édition. ADEME édition, Paris, 11 pages.
- ADEME, 2005a.** Gestion des déchets ménagers ; Etude de préfiguration de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères ; Rapport intermédiaire.
- ADEME, 2005b.** Mieux connaître les déchets produits à l'échelle du territoire d'une collectivité locale ; Guide Méthodologique ; Version Expérimentale ; 111 pages.
- ADEME, 2006.** Manuel de formation sur la gestion et l'exploitation des décharges contrôlées des déchets ménagers et assimilés, 69 pages.
- AFNOR, 1996.** Déchets : Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés ;Eds AFNOR ; 24 pages.
- Aina, M., Matejka, G., Thonart, P., Hillisgmann, S., 2007.** Caractérisation physico-chimique de l'état de dégradation de déchets stockés dans une décharge sèche (zone semi- aride): site expérimental de Saaba (Burkina Faso). Déchets, Sciences et Techniques n°47 / Juillet-Aout-Septembre 2007
- Ajir A, 2002.** Gestion des déchets solides au Maroc: Problématique et approche de développement.Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, Tunis, (EPCOWM'2002), pp: .740-747.
- Aloueimine, S. O., Matejka, G., Zurbrugg, C., SIDI, M., MEO, 2006 a.** Caractérisation des ordures ménagères à Nouakchott – Partie 1 : Méthode d'échantillonnage. Déchets, Sciences et Techniques n° 44, décembre 2006
- Alvarez-Vazquez, H., Jefferson, B., Judd, S.J., 2004.** Membrane bioreactors vs. Conventional biological treatment of landfill leachate: a brief review, Journal of Chemical Technology and Biotechnology 79, issue 10, 1043-1049

André M. et Hubert S., 1997. Gestion des déchets hospitaliers, Projet DESS "TBH", UTC, 51 pages.

Aye, L., Widjaya, E.R., 2006. Environmental and economic analysis of waste options for traditional markets in Indonesia, Waste Management vol. 26, no. 10, pp. 1180-1191

B

BAPE, 2003. Mémoire déposé aux audiences publiques Par la Direction de santé publique de la RRSSS de Lanaudière, Service de santé environnementale. 33 pages

Belle Émilien 2008:Thèse de doctorat national; Université de Franche-Comté. Évolution de l'impact environnemental de lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydrobiologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Étueffont (Territoire de Belfort – France) 250 pages.

Beylot A, Villeneuve J, 2013.Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: Acomparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. France. Waste Management,n° 33, pp:2781–2788.

Bohdziewicz, J., & Kwarciak, A., 2008. The application of hybrid system UASB reactor-RO in landfill leachate treatment. Desalination, 222(1), 128-134.

Braconnier, R., Chaineaux, J., Triolet, J., Fontaine, J et Salle B., 2008. Mesures du flux d'évaporation de liquides volatils dans des ambiances de travail. INRS – Hygiène et sécurité du travail, vol 212, pp : 61-71.

C

Caron, B, 2004. Principes du compostage - Théories et pratiques. Ph.D. thesis ENGREF Clermont-Ferrand, France.

Carré, M.N, 2012. La gestion des déchets à Buenos Aires : vers l'émergence d'un service « durable » ? », Flux, vol87, pp : 29-38

CE, 2014. Code de l'environnement Version consolidée du code au 22 décembre 2014. Edition : 2014-12-28

Cointreau, S., 2006. Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management; Special Emphasis on Middle- and Lower-Income Countries. Urban papers The World Bank Group WASHINGTON, D.C. 57 pages.

CICR, 2011. Manuel de gestion des déchets médicaux, Comité international de la Croix-Rouge.164 pages.

- Chang J.E., 1989.** Treatment of landfill leachate with an upflow anaerobic reactor combining a sludge bed and a filter, *Water. Sci. Technol.* vol 21, pp : 133–143.
- 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.
- Choo K.H., Lee C.H., 1996.** Membrane fouling mechanism in the membrane-coupled anaerobic bioreactor, *Water Res.* Vol 30 pp: 771–1780.
- Christensen T.H., Kjeldsen P., 1989.** Basic biochemical process in landfills, sanitary landfilling: Process, Technology and environmental impact. Academic press, New York pp: 29- 49.
- Christensen, T.H., Kjeldsen, P., Bjerg, P.L., Jensen, D.L., Christensen, J.B., Baun, A., Albrechtsen, H.-J., Heron, G., 2001.** Biogeochemistry of landfill leachate plumes, *Applied Geochemistry*, vol 16, pp: 659-718
- Christophe, B., 2014.** Traitement des lixiviats: des affluents complexes qui nécessitent un traitement poussé. L'eau, L'industrie, les nuisances, pp : 49-58.

D

- Dahir n ° 1-06-153 du 30 chaoual 1427** portant promu légation de la loi n ° 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination. (B.O. n ° 5480 du 7 décembre 2006).
- Debout, L., 2012.** Réseau mou et intégration urbaine. Particularités du service de gestion des déchets ménagers, *Flux*, 2012/(1), 87, 7-17
- Del Borghi, A., Binaghi, L., Converti, A., and. Del Borghi, M., 2003.** Combined Treatment of Leachate from Sanitary Landfill and Municipal Wastewater by Activated Sludge. *Chem. Biochem. Eng.* vol 4, pp: 277–283.
- DCI, 1992.** Département du commerce, de L'Industrie.
- DE, 1999.** Département de l'Environnement, Rapport sur l'état de l'environnement du Maroc
- DDSWM, 2010.** Development of Domestic Solid Waste Management Schemes for Small Urban Communities in Morocco, 85 pages
- De-Bertoldi, M., Vallini, G., & Pera, A, 1983.** The biology of composting. *Waste Manag Res*, vol 1, pp : 157–176.
- Diop, O., 1988.** Contribution à l'Etude de la Gestion des Déchets Solides de Dakar: Analyse systématique et aide à la décision, thèse de doctorat N°757, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 292 pages.
- DE, 1997.** Directive européenne (99/ 31/ CE) du 26 avril 1999 et de l'arrêté ministériel du 9 septembre 1997].

Di Palma, L., Ferrantelli, P., Merli, C and Petrucci, E., 2002. Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis. *Waste Management* , vol 22 ,pp : 951–955.

DGCL, 1991. Direction Générale des Collectivités Locales - direction de l'eau et de l'assainissement, Maroc. 82pages.

DGCL, 1995. Direction Générale des Collectivités Locale- direction de l'eau et de l'assainissement, Maroc - Collecte et traitement des ordures ménagères au Maroc – Document Technique réalisé pour le Ministère de l'Intérieur Marocain avec le soutien du Ministère français des Affaires Etrangères, 40pages.

DRTA, 2012. Direction régionale de Tadla Azilal, Monographie région 136 pages.

E

Ehrig H., 1989. Leachate quality. Sanitary landfilling: Process, Technology, and environmental impact. T.H. Christensen, R. Cossu & R. Stegmann. London, Academic Press Limited, pp: 213-229.

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

ENDA, 1998. Preceup, Volet recherché capitalisation, Pratiques efficaces de gestion des déchets solides dans les villes d'Asie, une analyse régionale, Siddhi-Enda.

EUPAN, 2008. Document d'orientation européen sur la gestion de la satisfaction client. 109 pages.

Ezequiel J, Ponce-Ortega J M, Betzabe J, Serna-Gonzalez M, El-Halwagi M ,2013. Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste of Mexico, USA, Saudi Arabia. *Waste Management*, n° 33, pp: 2607–2622

F

Farah Naz A and Christopher Q., 2012. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors. *Desalination*, vol 287, pp: 41–54.

Farquhar, 1989. Leachate: production and characterization, *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol 16, pp: 317-325.

Foo K.Y., Hameed B.H., 2009. An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process, *J. Hazard. Mater.* Vol 171, pp: 54-60.

- Foresti E, 2001.** Perspectives on anaerobic treatment in developing Countries. Water Science and Technology, Vol 44, No 8, pp: 141–148
- François, V., 2004.** Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchet ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets, thèse de doctorat N°8-2004, Université de Limoges.
- Fraquar G.J., Rovers S.A., 1973.** Gaz production during refuse composition. Water, Air and Soil Pollution, pp : 83-495.

G

- Gálvez A., Giusti L., Zamorano M., Ramos-Ridao A.F., 2009.** Stability and efficiency of biofilms for landfill leachate treatment, Bioresource. Technol. Vol 100, pp : 4895-4898.
- Graindorge P., 1990.** Contribution à l'étude du traitement des déchets urbains par fermentation méthanique. Thèse de Doctorat, Université de Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier. France
- Giloux, P., 1995.** Les finalités du compostage. Techniques, sciences, méthodes, vol 2 , pp : 111–113.

H

- Hancock, M.D., PH.D (Cantab.), M.I.Chem., E., C.ENG Director., Dee Associates (Business Consultants) Ltd, 2011.** Indoor swimming pools and leisure centres a model to improve operational effectiveness and reduce environmental impact. CIBSE Technical Symposium. Montfort University, Leicester, UK, 13 pages.
- Heyer, K.-U. and Stegmann, R., 2005.** Landfill systems, sanitary landfilling of solid wastes, and longterm problems with leachate, Environmental Biotechnology: Concepts and Applications, Eds H.J. Jördening and J. Winter, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, FRG, doi: 10.1002/3527604286.ch15
- Hoilijoki T.H., Kettunen R.H., Rintala J.A., 2000.** Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature, Water Res. 34 1435-1446.
- Hwang I, Aoyama H, Matsuto T, Nakagishi T, Matsuo T, 2012.** Recovery of solid fuel from municipal solid waste by hydrothermal treatment using subcritical water, Japan. Waste Management. Vol 32, pp : 410–416.

J

- Jalila GHALLOUDI, Abdelmajid BENBOUZIANE, Ghalem ZAHOUR Ahmed FIKRI, 2008.** Education à l'environnement relative aux déchets ménagers Cas de la ville de Casablanca, Maroc Colloque "L'éducation au développement durable, de l'école au campus"

Johnson, Barry, L., 1993. Congressional Testimony ATSDR : Public Health Actions and findings. www.atsdr.cdc.gov/cxcx6.html

K

Kanga K H., Shinb H.S., Parka H., 2002.Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications, *Water Res.* Vol 36, pp: 4023–4032

Kargi F., Pamukoglu M.Y., 2003.Aerobic biological treatment of pre-treated landfill leachate by fed-batch operation, *Enzyme. Microb.Tech.* vol 33, pp: 588-595.

Kaschl A, Römheld V and CHEN Y, 2002.The influence of soluble organic matter frommunicipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils.The Science of the Total Environment, n° 29, pp: 45-57.

Kathirvale, S., Muhud Yunus, M.N., Sopian, K., Samsuddin, A.H., Rahman, R.A., 2003. Modeling the heating value of Municipal Solid Waste, *Fuel.*Vol 82, pp: 1119-1125

Khattabi, H., Aleya, L. et Mania, J., 2002. Lagunage naturel de lixiviat de décharge. *Sciences de l'eau*, Vol 15/1, pp: 411-419.

Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T.H., 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 32, 297-336

Kulikowska D., Klimiuk E., 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition, *Bioresource. Technol.* Vol 99 pp: 5981-5985

Kurniawan, A T., Lo, W. and Chan, G., 2006. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials.* Vol 129, pp : 80-100.

L

Lanini, S., 1998. Analyse et modélisation des transferts de masse et de chaleur au sein des décharges d'ordures ménagères. Thèse de Doctorat N°1412. Institut National polytechnique de Toulouse

Le Coupanec F., Morin D et Peron J J, 1999. Fractionnement et caractérisation des lixiviats de centre d'enfouissement technique de déchets ménagers. Intérêt de la chromatographie liquide haute performance sur gel d'exclusion stérique. *Sciences de l'eau.* Vol 12/3, pp : 529-543.

Lema J.M., Mendez R., Blazquez R., 1988. Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment, *Water. Air. Soil. Pollut.* pp: 223-250.

- Lettinga G, Velsen A F M, Hobma S W, Zeeuw W J and Klapwijk A, 1980.** Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) reactor concept for biological waste water treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol: 22, pp: 699-734.
- Li, W., Zhou, Q., Hua, T., 2010.** Removal of organic matter from landfill leachate by advanced oxidation processes: a review, *International Journal of Chemical Engineering*, vol 2010, issue 4.
- Linde K., Jönsson A.S., Wimmerstedt R., 1995.** Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis, *Desalination* vol 101 pp: 21-30.
- Liu J, Zuo J, Yang Y, Zhu S, Kuang S, Wang K., 2010.** An autotrophic nitrogen removal process: Short-cut nitrification combined with ANAMMOX for treating diluted effluent from an UASB reactor fed by landfill leachate. *Journal of Environmental Sciences*. Vol 22(5), pp: 777–783.
- Loi n° 11-03, 2003.** Relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement Dahir N° 1.03.59 du 10 Rabii I 1424 (12 mai 2003)
- Loi n° 12-03, 2003.** Relative aux études d'impact sur l'environnement Dahir N° 1.03.60 du 10 Rabii I 1424 (12 mai 2003), BO N° 5118 du 19 Juin 2003
LPEE, ONEP, 1999
- Loukidou M.X., Zouboulis A.I., 2001.** Comparaison of two biological treatment process using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment, *Environ. Pollut.* Vol 111, pp: 273–281.

M

- Abdelhadi Makan, Omar Assobhei, and Mohammed Mountadar, 2013.** Effect of initial moisture content on the in-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in Morocco. *Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering* 10:3, 9 pages.
- MBT, 2003.** Mechanical Biological Treatment, Cool Waste Management, a State-of-Art Alternative to Incineration for Residual Municipal Waste , February 2003 Published by the Greenpeace Environnemental Trust Canonbury Villas, London N1 2PN, United Kingdom, 58 pages
- MBULIGWE, S.E, 2002.** Institutional solid waste management practices in developing countries: a case study of tree academic institutions in Tanzania. *Resources, Conservations and recycling*, Vol. 35, pp. 131-146.
- Mbulugwe, 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*. Vol 42, pp: 183-203.
- McArdle; J.L., Arozarena; M.M., Gallagher; W.E., 1988.** Treatment of hazardous waste leachate: Unit operations and costs, *Pollution Technology Review* n° 151, NDC

- Mechanical Biological Treatment, 2003.** Cool Waste Management, a State-of-Art Alternative to Incineration for Residual Municipal Waste , February 2003 Published by the Greenpeace Environnemental Trust Canonbury Villas, London N1 2PN, United Kingdom, 58 pages
- Mejbri R.,Matejka G.,Lafrance P et Mazet M., 1995.** Fractionnement et caractérisation de la matière organique des lixiviats de décharge d'ordures ménagères. Sciences de l'eau. Vol 8, pp : 217-236.
- MI, 1998.** Ministère de l'Intérieur.
- MI, 2013.** Ministère de l'Intérieur. Gestion des déchets ménagers au Maroc.
- MODECOM, 1993.** Méthode de caractérisation des ordures ménagères / 2^{ème} édition, ADEME éditions, Paris, 64 pages.
- KARKOURI. M, 2009.** Etude d'optimisation et d'amélioration de la collecte des déchets ménagers et assimilés dans la ville de Beni Mellal Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Mastère spécialisé en management et Ingénierie des Services d'Eau, d'Assainissement et de Déchet (MISEAD) 106 pages.
- Mohee, R., 2002.** Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; Resources, Conservation and Recycling. Vol 36, pp : 33-43.
- Morvan, B., 2000.** "Méthode de caractérisation des déchets ménagers : analyse sur produit sec." Déchets - Sciences et Techniques. Vol 20, pp : 9-11.
- Mustin, M., 1987.** Le compost. Paris, France.

N

- Nameche, T et Vassel, J L., 1999.** Bilan thermique sous climat tempéré des lagunes aérées et naturelles. Sciences de l'eau, Vol 12/1, pp: 65-91.
- Nasr A., Belhadj Mohamed A., Orfi J., Debissi C and. Ben Nasrallah S., 2008.** Evaporation of a thin binary liquid film covering one plate of a vertical Channel. Revue des Energies Renouvelables.Vol 11, pp: 611-622.
- Neena, C., Ambily, P. S., & Jisha, M. S., 2007.** Anaerobic degradation of coconut husk leachate using UASB-reactor. Journal of environmental biology. Vol 28(3), pp: 611-615.
- Nordtest method, 1995.** Solid Waste, Municipal : Sampling and Characterisation ; NT ENVIR 001, Tekniikantie, FIN-02150 ESPOO Finland ;ISSN 0238-4445, 12 pages.
- Ngnikam, E., 2002.** La maîtrise de la collecte et de traitement des déchets solides dans les pays en développement et réduction des émissions de gaz à effet de serre, rencontre de la coopération technologique nord-sud pour le développement durable et le climat organisées dans le cadre de POLLUTEC, Lyon 25 et 26 Novembre 2002, 22 pages.

Nur Shaylinda Mohd Zin, 2012. Characterization of leachate at matang landfill site, perak, malaysia Academic Journal of Science CD-ROM. ISSN: 2165-6282. Vol 1(2), pp:317-322.

O

Ojeda-Benitz, S., Armijo de Vega, C., Ramirez- Barreto, M.E., 2003. Characterization and quantification of household solid waste in Mexican city, Resources, conservation and Recycling. Vol 39, pp: 211-222.

P

Pearce, D.W, et Turner, R.K., 1994. Economics and solid waste management in the developing world, CSERGE Working Paper WM 94-05.

Peters T.A., 1999. Past and future of membrane filtration for the purification of landfill leachate, Proceedings of the 7th International Landfill Symposium Sardinia, Italy. pp: 335–344.

Poornima, D.G., Manjula, N.R., 2001. "Community participation in waste management - Experience of pilot projet in Bangalore, India." Gouda, Waste. September. 27pages.

Pohland, F.G., Deryien, J.T., Ghosh, S.B., 1983. Leachate and gas quality changes during landfill stabilization of municipal refuse, In: Wentworth R.L. (ed.), Anaerobic digestion, Proceedings 3rd International Symposium, Boston, MA, pp: 185-202.

Pronost R., Matejka G., 2000. Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères. Production, caractérisation, traitement, Environnement & Technique. Vol 196, pp : 25-29.

PATEM, 2004. Programme d'assistance technique pour l'environnement méditerranéen – projet régional de gestion des déchets solides, Rapport Pays- Egypte, préparé par le consortium international GTZ-ERMKGW, janvier 2004, 55pages.

PATEM, 2005. Programme d'assistance technique pour l'environnement méditerranéen – projet régional de gestion des déchets solides, Analyse et recommandations en matière de recouvrement des coûts de la gestion des déchets municipaux en Algérie, avril 2005, 85pages.

PGPE, 2008. Programme de gestion et de protection de l'environnement composante « gestion intégrée des déchets dangereux » étude de la gestion des flux a travers des concepts et bilans des déchets, .44pages.

Project SWA-Tool, 2004. Developpement of a Methodological Tool to Enhance the precision et Comparability of solid waste (SWA-TOOL), European Commission, User Version 57pages.

U

Ushikoshi K., Kobayashi T., Uematsu K., Toji A., Kojima D., Matsumoto K., 2002. Leachate treatment by the reverse osmosis system, Desalination. Vol 150, pp : 121-129.

R

Rapport N° 25992-Mor, 2003. Evaluation du coût de la dégradation de l'environnement, 30 juin, Banque Mondiale.

RGDSM, 2014. Rapport sur la gestion des déchets solides au MAROC, 57 pages.

REEM, 2012. Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc, 246 pages.

Rassam a, Bourkhiss B, Chaouch A, EL Watik L, Chaouki H et Ghannami M, 2012. Caractérisation de lixiviats des décharges contrôlées au Maroc et solutions de traitement : cas de lixiviats de la ville d'al Hoceima. Environnement Science Lib, vol 4, N ° 120204ISSN 2111-4706

Renou S, Poulain S, Gagnaire J, Marrot B et Moulin P., 2008. Traitement des effluents industriels : techniques et procédés lixiviat de centre de stockage: déchet génère par des déchets. L'eau, l'industrie, les nuisances, Vol 310, pp : 37-43.

Renou S et Poulain S., 2008. Procédé innovant de traitement des lixiviats. L'eau, L'industrie, les nuisances. Vol 312, pp : 60-70.

Renou S et Poulain S., 2009. Intégration des procédés membranaires dans le traitement des lixiviats. L'eau, L'industrie, les nuisances. Vol 313, pp : 71-80

Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P., 2008b. Landfill leachate treatment: Review and opportunity, Journal of Hazardous Materials. Vol 150, pp : 468-493.

Robinson, A., Sewell, G., Damodaran, N., David, E., and Kalas Adams, N. 2003. Landfills in developing countries and global warming. Sardinia: 9th International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia.

RMHC, 2016. Royaume du Maroc Haut-Commissariat au Plan RABAT – Maroc statistiques environnementales au Maroc. Projet mis en œuvre par le Plan Bleu, 108 pages.

RMSEM, 2012. Royaume du Maroc Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau et de l'Environnement Programme de gestion et de protection de l'environnement (PGPE) composante Région Nord guide de surveillance des décharges contrôlées Mars 2012, 60 pages.

Rubio J., Souza M.L., Smith R.W., 2002. Overview of flotation as a wastewater treatment technique, Miner. Eng. Vol 15, pp: 139-155.

S

- Sané Y., 2002.** La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution ; AJEAM/RAGEE 2002 ; Vol. 4 N°1 ; pp : 13-22.
- Schlumpf J P., Trebouet D., Quemeneur F., Malleriat J P et Jaouen P., 2001.** Réduction de la DCO dure des lisiers de porc et lixiviats par nanofiltration. Sciences de l'eau. Vol 14/2, pp : 147-155.
- SECE, 2003.** Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement, Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, secteur des déchets solides.
- SENES Consultants Limited, 1999.** Méthodologie recommandée pour la caractérisation des déchets dans le cadre des études d'analyse directe des déchets au Canada, Rapport préparé pour le sous-comité de caractérisation des déchets du CCME ; 64 pages.
- Seghezzo L, 2004.** Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions. Thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 172 pages.
- Shabnam Gholamifard, 2009.** Modélisation des écoulements diphasiques bioactifs dans les installations de stockage de déchets Le 2 février 2009. 225 pages.
- Shaylinda N et Zin M., 2012.** Characterization of leachate at matang landfill site, perak, malaysia Academic. Journal of Science. Vol 2, pp : 317-322.
- Sidi Ould Aloueimine., 2006.** Université de Limoges, Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers a nouakchott (mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision 195 pages.
- Silva A.C., Dezotti M., Sant'Anna Jr G.L., 2004.** Treatment and detoxication of a sanitary landfill leachate, Chemosphere. vol 55, pp: 207–214.
- Souabi S, Touzare K, Digua K, Chtioui H, Khalil F et Tahiri M, 2011.** Triage et valorisation des déchets solides à la décharge publique de la ville de Mohammedia. Technologies de laboratoire. Vol 25, pp: 121-130.
- SPGD, 2012.** Schéma provincial de gestion des déchets. 108 pages.
- Sun H, Yang Q, PENG Y, SHI X, WANG S, ZHANG S, 2010.** Advanced landfill leachate treatment using a two-stage UASB-SBR system at low temperature. Journal of Environmental Sciences. Vol 22(4), pp : 481-485.
- Sung Sung M., Chang D., Lee H.Y., 1997.** Performance improvement of an unstable anaerobic leachate treatment system in an industrial waste landfill, Water. Sci. Technol. vol 36, pp: 333-340.
- Statom, R.A., Thyne, G.D., McCray J.E., 2004.** Temporal changes in leachate chemistry of a municipal solid waste landfill cell in Florida, USA, Environmental Geology. Vol 45, pp: 982-991.

Tabet, M., 2001. Types de traitement des déchets solides urbains évaluation des coûts et impacts sur l'environnement, Revue des Energies Renouvelables. Numéro spécial, Biomasse Production et Valorisation, pp: 97-102.

Tânia F.C.V. S., M. Elisabete F. S., A. Cristina C., Ame'lia F., Isabel S., Sousa M.A., Goncalves C., Alpendurada M.F., Boaventura R and Vilar V., 2013. Multistage treatment system for raw leachate from sanitary landfill combining biological nitrification-denitrification/solar photo-Fenton/ biological processes, at a scale close to industrial Biodegradability enhancement and evolution profile of trace pollutants. water research. Vol 47, pp: 6167 -6186.

Trabelsi, S., 2011. Thèse de doctorat, Université Études de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne "JebelChakir. 227 pages.

Trebouet D, BERLAND A, SCHLUMPF J P, JAOUEN P et QUEMENEUR F, 1998. Traitement de lixiviats stabilisés de décharge par des membranes de nanofiltration. Revue des sciences de l'eau, vol. 11, n° 3, pp°. 365-382.

V

Van Coillie, R., Bermingham, Blaise C., Vézeau, R., Lakshminaraya, J.S.S., 1990. Integrated ecotoxicological evaluation of dump sites. Advance in Environmental Science and Technology. Academic Press of New York. Vol 22(12), pp : 161-191.

Vincon-Leite B., Mouchel J M et Tassin B., 1989. Modélisation de l'évolution thermique saisonnière du lac du Bourget (Savoie, France). Sciences de l'eau. Vol 2,pp: 483-510.

Von Blottnitz, H., Pehlken, A., Pretz, 2001. The description of solid wastes by particle mass instead of particle size distributions. Resources, Conservation and Recycling. Vol 34, pp: 193-207.

W

Wei, Y.S., Fan, Y.B., Wang, M.J., Wang, J.S., 2000. Composting and compost application in China, Ressources, Conservation and Recycling. Vol 30, pp: 277-300.

Wicker, A., 2000. Gestion des déchets dans « Statistiques pour la politique de l'environnement ». 27-28 Novembre 2000, Munich.

www.atsdr.cdc.gov/az/l.html.

X

Xu Y., Yue D., Zhu Y and Nie Y., 2006. Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes. *Chemosphere*. Vol 64, pp: 903–911.

Y

Yamasaki A., Tyaci R. K., Fouda A and. Matsuura T., 1996. Effect of Evaporation Time on the Pervaporation Characteristics through Homogeneous Aromatic Polyamide Membranes. II. Pervaporation Performances for Ethanol/Water Mixture. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol 60, pp: 743-748.

Yan W.M., 1993. Binary diffusion and heat transfer in mixed convection pipe flows with film evaporation. *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol 36, pp : 2115-2123.

Z

Zahrani F, 2006. Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets (CSD) dans les pays en développement. Application à deux CSD : Nkolfoulou (Cameroun) et Essaouira (Maroc). Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 269 pages.

Zaïri, M., Ferchichi, M., Ismail, A., Jenayeh, M., Hammami, H., 2004. Rehabilitation of Yahoudia dumping site, Tunisia, *Waste Management*. Vol 24, pp: 1023-1034.

Zeeman G and LETTINGA G, 1999. The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level. *Elsevier Science Ltd*, Vol: 39, N° 5, pp: 187-194.

Zhang J and Ramanathan V., 1995. Convection-Evaporation Feedback in the Equatorial Pacific. *Journal of Climate*. Vol 8, pp: 3040-3051.

Annexes

Communications :

Communications orales

Communication orale¹

- Participation au : Workshop sur l'environnement marin et développement durable: quels enjeux pour demain? . Par une présentation orale sous thème : « **Technique de traitement de Lixiviat par évaporation forcée** », A l'EST Essaouira, du 20 au 21 décembre 2013

Auteurs : F. BENYOUCEF*, A. EL GHMARI*, A. OUATMANE**

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquees aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : Déchets solides, Ville de Kasba Tadla, lixiviat, Traitement par évaporation

Résumé

Les déchets ménagers sont l'un des plus important rejet au Maroc. Il engendre, en plus de déchets solides comme produit principal, de grandes quantités de sous-produits des rejets liquides. Ces déchets génère d'importants volumes de lixiviat à forte charge organique et contenant des quantités importantes de composés chimiques complexes, qui sont difficiles à dégrader.

Les techniques de remédiation de ces rejets difficilement traitables sont en cours de développement. On traite ces lixiviats par voie biologique de type intensive (les traitement

lagunaires ont largement montré leurs limites). On peut également les traiter par évaporation, afin de réduire la pollution.

Communication orale²

- Participation au : Programme de la Première Edition du Congrès : «TRAITEMENT ET VALORISATION DES DECHETS» Par une présentation orale sous thème : « Gestion des déchets solides à la ville de Kasba Tadla: Problématique et approche de développement », A la faculté des sciences Kenitra, du 02 au 03 Juin 2015

Auteurs : Fatima BENYOUCEF*, Abd errahman ELGHMARI*, Aziz OUATMAN**, Nadia HAOUARI*, Abderrazak EL HARTI*

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquees aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : Gestion des déchets solides, Ville de Kasba Tadla, Tri, Valorisation des déchets ménagers, Lixiviats

Résumé

La production des déchets solides suit la croissance démographique et le développement socio-économique. Il s'agit donc de maîtriser la gestion des quantités des déchets de plus en plus importantes. Il y a plusieurs raisons qui justifient cette gestion. Les déchets constituent une menace pour la santé humaine et l'environnement et principalement pour les populations voisines des décharges publiques, à cause des nuisances olfactives et des émissions gazeuses dont certaines sont toxiques. La connaissance de la composition des ordures ménagères est indispensable pour leur bonne gestion. Elle permet de choisir les techniques et le mode de traitement ou de valorisation convenable et avec une meilleure maîtrise des coûts. Cette étude a pour but est de déterminer l'évolution, la composition des déchets ménagers par triage et les caractéristiques des déchets solides (Taux d'humidité) de la ville de Kasba Tadla et aussi quantifier le volume de lixiviat produit pour bien penser à des techniques de traitement de ces rejets toxique et complexe avant les jetés dans le milieu

naturel en portant l'attention sur les catégories qui provoquent des nuisances à l'environnement et à la santé humaine.

Communication Affichées

Communication Affichées 1

- Participation au : Meeting International sur : LA Valorisation des ressources en eau dans les zones arides et semi arides. Par une présentation affichée sous thème : « **Traitement de lixiviat par UASB: cas de la ville de Kasba Tadla** » A la FST de Beni Mellal Du 26 au 28 Mai 2014

Auteurs : F. BENYOUCEF*, A. EL GHMARI*, A. OUATMANE**

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquees aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : Déchets solides, Ville de Kasba Tadla, lixiviat, Traitement par UASB.

Résumé

Au cours des dernières décennies, en raison de l'accroissement démographique l'environnement a subi une très forte dégradation due essentiellement aux déchets domestiques et industriels.

Les déchets ménagers sont l'un des plus importants rejets au Maroc. Il engendre, en plus de déchets solides comme produit principal, de grandes quantités de sous-produits des rejets liquides. Ces déchets génèrent d'importants volumes de lixiviat à forte charge organique et contenant des quantités importantes de composés chimiques complexes, qui sont difficiles à dégrader.

Les techniques de traitement de ces rejets difficilement biodégradables sont en cours sont en phase d'essai de laboratoire. Les principales voies de traitement biologiques par lagunage lagunaires ont montré leurs limites. Dans notre travail, on a mené des essais de traitements par voie biologique en milieu anaérobie. Il s'agit du mode de traitement par

UASB qui est un traitement dans un réacteur dans des conditions anaérobiques, afin de réduire la pollution.

Communication Affichées 2

- Participation au : la 1^{ère} édition des journées Doctoriales. Par une présentation affichée sous thème : « **Gestion et valorisation des déchets solides: Cas de la ville de Kasba Tadla** » A la FST de Beni Mellal le 10 et le 11 Juin 2014

Auteurs : F. BENYOUCEF*, A. EL GHMARI*, A. OUATMANE**

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquees aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : **Exploitation de Kasba Tadla, Gestion des déchets solides, Valorisation des déchets ménagers**

Résumé

Dans le but de gérer les problèmes de collecte des déchets solides et de nettoyage, la commune urbaine de Kasba Tadla s'est engagée dans la délégation de gestion des services de nettoyage et de collecte des déchets à la société SOS NDD, avec un contrat de gestion des déchets, dont la durée a été fixée pour sept ans il est commencé officiellement le 1er avril 2009, pour répondre aux objectifs d'amélioration et de gestion efficace et obtenir une meilleure qualité du travail effectué au niveau du ramassage et du transport des déchets, propreté des aires d'entreposage des déchets, nettoyage des marchés et lieux publics, et la rapidité d'intervention et l'introduction de nouvelles méthodes d'organisation et de gestion pour avoir un environnement propre .

Cependant, l'analyse de l'état des lieux, objet de cette recherche, montre, en dépit de la nécessité et de l'importance de l'expérience, que la gestion déléguée à elle seule n'est pas

suffisante pour résoudre tous les problèmes liés à ce secteur, en absence évidemment des solutions d'ordre éducationnelle.

Cette étude a pour but de déterminer l'évolution, la composition des déchets ménagers par triage et les caractéristiques des déchets solides (Taux d'humidité) de la ville de Kasba Tadla et aussi quantifier le volume de lixiviat produit pour bien penser à des techniques de traitement de ces rejets toxique et complexe avant les jetés dans le milieu naturel.

Communication Affichées 3

- Participation au : 7ème Conférence Internationale, RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN. Par une présentation affichée sous thème : « Valorisation des Déchets Solides et Traitement des Lixiviats par Evaporation Forcée: Cas de la ville de Kasba Tadla », A la faculté des sciences Marrakech, du 08 au 11 Octobre 2014

Auteurs : F. BENYOUCEF*, A. EL GHMARI*, A. OUATMANE**

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquees aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : Valorisation des déchets solides, Ville de Kasba Tadla, lixiviats, Traitement par évaporation

Résumé

Ce travail entre dans le cadre de la valorisation des déchets ménagers de la ville de Kasba. Il peut montrer l'importance de triage et valorisation de ces rejets Les résultats obtenus durant le triage réalisé a montré que les déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla constituent une source de matière première moyenne (plastiques, verreries, papiers...). Cette étude nous a permis aussi de faire un suivi au tonnage journalier et mensuel des déchets produits.

Ces déchets génèrent d'importants volumes de lixiviat à forte charge organique et contenant des quantités importantes de composés chimiques complexes, qui sont difficiles à dégrader. Au cours de ce travail nous avons effectué le suivi des quantités produites de lixiviats.

Les techniques de remédiation de ces rejets difficilement traitables sont en cours de développement. On traite ces lixiviats par voie biologique de type intensive (les traitements lagunaires ont largement montré leurs limites). On peut également les traiter par évaporation, afin de réduire la pollution.

Cette étude a pour but de démontrer l'efficacité de traitement de lixiviat par la technique d'évaporation suivant différente manière. D'autres essais sont en cours de réalisation toujours dans le cadre d'aller plus loin dans le domaine de traitement des lixiviats par évaporation forcée.

Communication Affichées 4

- Participation au : la 2^{ème} édition des journées Doctorales. Par une présentation affichée sous thème : « PROBLEMATIQUE DES DECHETS MENAGERS A LA VILLE DE KASBA TADLA ET TAUX DE SATISFACTION CLIENT » A la FST de Beni Mellal le 26 au 28 Mars 2015

Auteurs : F. BENYUCEF*, A. EL GHMARI*, A. OUATMANE**

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquées aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : Déchets ménagers, Taux de satisfaction client, Kasba Tadla

Résumé

Le développement socio-économique et l'accroissement démographique que connaît la ville de KASBA TADLA se sont accompagnés par l'augmentation de la quantité et de la qualité des déchets solides produits essentiellement par les ménages. Cette évolution a eu pour

corollaire la multiplicité et l'intensité des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement en général. La production des déchets ménagers à la ville de KASBA TADLA est d'environ 33 tonnes/jour, soit 0.27 tonne/hab./an. Ces déchets sont constitués essentiellement de la matière organique (74 %), du papier (3%), du plastique (9 %), du métal (1%) et du verre (0,5%). L'approche de développement de la gestion des déchets ménagers se base sur la planification à court, moyen et long terme. La définition claire du rôle des différents intervenants dans ce domaine : l'instauration des mécanismes de financement et de recouvrement des coûts, l'utilisation de technologie propre pour réduire les déchets à la source et la mise en place d'une politique permanente d'éducation et de sensibilisation relative à la gestion des déchets ménagers ont été adoptés pour répondre aux exigences du client. Le suivi et l'analyse de la situation actuelle de ce secteur reflètent le taux de satisfaction du client et les citoyens au niveau des services de collecte, du balayage et du transport des déchets.

Communication Affichées 5

- Participation au : BIOADH 2015 5ème Colloque Bio adhesion, Biocontamination des Surfaces Par une présentation affichée sous thème : « PROBLEMATIQUE DES LIXIVIATS ET TRAITEMENT PAR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET): CAS DE LA VILLE DE KASBA TADLA », A la Faculté des Sciences et Techniques Beni Mellal, du 05 au 07 Mai 2015

Auteurs : BENYUCEF Fatima*, EL GHMARI Abderrahmene*, OUATMANE Aziz**, HOUARI Nadia*, EL HARTI Abderrazak *

(*) Equipe de télédétection et SIG appliquées aux Géosciences et à l'environnement. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM, E mail : f.benyoucef@yahoo.fr

(**) Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources. Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal, BP 523 000 BM

Mots clés : Caractéristique des déchets ménagers, Région de Kasba Tadla, Triage des déchets ménagers, quantification des lixiviats, Traitement par UASB.

Résumé

D'après les résultats obtenus durant cette étude nous sommes arrivé à montre que les déchets ménagers de la région étudiée sont toujours en augmentation. La production de ces déchets est de l'ordre de 11787 tonnes durant l'année 2013, soit 0,26695203 tonne/hab./an. Ces déchets sont constitués essentiellement de la matière organique (74 %), du papier (3%), du plastique (9 %), du métal (1%) et du verre (0,5%).

Les quantités des lixiviats produites mensuellement au niveau de la région varient entre un maximum de 130921 litre pendant le mois d'Août 2013 et un minimum de 21880 litres pendant le mois Décembre 2013. L'analyse physico-chimique des lixiviats de la région montre une forte concentration de matières organiques (DCO est de l'ordre de 26720 mgO₂/l) et une forte acidité (pH =4,49), d'où l'importance de traitement de ces effluents par une technique efficace et adaptable aux conditions climatiques de la zone d'étude à savoir la technique de UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) avant le rejet direct dans l'environnement. Le traitement des lixiviats par la technique d'UASB nous a permis d'avoir un abattement de 94% de DCO et un passage du pH vers la neutralité (pH=6.87).

Tableau 32: Evolution des températures moyennes journalières durant la période entre Novembre 2013 et Octobre 2014 (station de Kasba Tadla)

2013						2014						
JOURS	NOV E	DEC E	JAN V	FEV R	MAR S	AVR I	MA I	JUI N	JUI L	AOU T	SEPT	OCT O
1	18,0	9,7	10,6	12,0	12,1	14,5	24,3	22,1	27,8	25,0	27,7	25,9
2	22,5	10,4	11,5	12,9	14,5	10,8	26,0	23,0	22,6	24,9	26,7	28,7
3	21,7	12,0	11,7	11,3	13,7	11,0	25,2	23,6	22,7	26,2	28,4	28,3
4	20,6	10,7	11,1	11,3	13,0	14,4	25,3	24,8	24,6	27,0	27,3	25,4
5	19,8	16,3	14,4	12,0	13,5	17,8	27,2	27,4	26,6	31,7	27,9	22,8
6	20,1	15,7	13,4	13,1	14,6	20,3	24,3	21,7	23,8	29,5	26,5	22,5
7	18,9	14,7	13,3	13,7	17,9	21,2	27,0	22,1	25,2	28,8	26,2	21,8
8	17,0	14,1	15,4	11,3	20,5	23,4	26,2	23,9	28,7	27,6	25,7	22,5
9	18,5	11,9	15,5	11,7	19,4	22,6	24,9	23,8	31,1	27,9	26,6	22,2
10	17,5	12,8	16,3	10,6	16,5	23,4	25,6	22,1	31,0	29,0	26,6	24,4
11	17,3	13,9	13,4	9,7	13,6	24,1	27,6	25,3	28,5	29,3	25,2	25,1
12	18,1	14,7	14,3	11,2	13,9	21,1	29,3	29,8	27,7	28,5	26,6	20,8
13	17,5	11,9	10,0	14,5	12,1	22,2	30,5	30,4	28,1	28,3	27,8	18,5
14	17,7	13,0	11,2	15,6	12,1	24,7	30,0	31,0	29,2	29,3	27,1	17,1
15	19,1	13,1	10,9	12,7	13,8	20,8	33,7	26,3	32,0	29,5	27,3	21,7
16	11,6	12,7	10,9	14,5	15,1	20,2	26,0	23,6	33,6	30,2	26,5	23,3
17	11,1	11,8	11,6	8,4	16,9	20,8	20,8	23,9	32,2	29,7	25,3	25,5
18	8,1	11,9	9,2	9,6	16,4	19,6	20,7	24,0	29,8	29,1	24,3	25,4
19	12,1	11,8	10,7	10,3	17,1	17,7	21,9	22,9	28,1	28,5	23,3	27,9
20	13,2	10,4	11,0	11,0	12,7	18,1	20,2	22,3	27,5	31,3	23,3	26,4
21	10,9	9,1	10,5	10,7	15,5	16,2	20,1	22,8	27,8	30,2	23,2	26,8
22	10,3	10,1	8,3	12,4	14,2	16,6	20,3	22,3	28,1	28,4	23,1	27,4
23	15,5	10,9	11,6	13,4	15,3	18,3	18,9	23,8	27,1	27,3	22,0	24,1
24	15,3	10,9	9,7	12,5	16,4	19,2	18,7	22,5	24,9	30,1	22,0	24,0
25	11,7	10,6	9,9	11,3	17,6	19,9	18,9	23,6	24,5	32,2	23,2	20,8
26	11,6	13,9	11,9	13,0	11,5	21,5	19,4	24,5	26,2	31,8	22,8	22,6
27	12,5	13,7	11,6	11,7	12,5	22,6	20,4	27,1	25,3	33,5	22,7	24,4
28	12,7	10,7	13,1	13,4	11,9	23,1	20,9	26,8	26,1	32,2	22,5	25,6
29	15,7	9,7	7,1		9,8	22,5	23,3	28,1	27,2	33,9	24,1	23,9
30	15,3	9,0	8,0		12,5	23,8	25,5	28,6	27,9	29,4	23,3	22,1
31		9,8	7,9		13,0		24,1		28,6	28,2		22,1

Tableau 33: Humidité moyenne journalière de la ville de Kasba Tadla durant la période entre Novembre 2013 et Octobre 2014

2013						2014						
JOUR S	NOV E	DEC E	JAN V	FEV R	MAR S	AVR I	MAI	JUI N	JUIL	AOU T	SEP T	OCT O
1	42,5	63,5	59,5	82	71,5	69,5	57,5	50,5	36	53,5	54	48,5

2	28,5	62,5	55	77,5	/	81,5	53,5	38	47,5	51,5	66,5	44
3	39	55,5	54	80	74,5	78,5	49,5	29,5	50	50,5	56,5	32,5
4	51	58,5	63	80	64	67,5	45,5	35	48,5	57,5	57,5	43
5	47,5	61,5	47	74	61,5	61,5	40	33,5	46	40	49	49,5
6	52,5	60	49,5	58,5	60,5	60	51,5	63,5	56	42,5	48	53,5
7	65,5	60,5	50	77	51,5	53,5	51	54,5	50	43	52,5	51
8	72	50,5	36	77,5	46	51	45	47	49,5	47,5	56	50
9	63	57,5	40,5	73,5	58,5	57,5	48,5	55,5	39	55	50	49,5
10	60,5	51,5	61,5	78	59	51,5	49,5	54,5	38	56	51,5	43,5
11	44	52,5	73	66	79	55,5	/	42,5	36	51	50	49
12	45	37	57,5	67	77,5	52,5	26,5	48,5	43	52,5	53,5	58,5
13	56,5	56	75,5	63	71	50,5	27	30	47,5	45,5	45,5	55
14	65,5	64	68	62	77,5	50	28	32	41,5	48,5	50	65
15	53	60,5	57,5	71,5	62,5	58,5	22,5	44	34,5	41,5	47	48
16	70	67	75	72	58,5	66,5	50	60,5	35,5	42	49	47
17	68,5	81,5	87	91	53,5	67	62	62	42,5	43,5	60	37,5
18	77	71	88,5	82	60,5	70	55,5	59,5	51	49,5	60	45,5
19	70	72	88,5	73	55,5	71	59	59,5	46,5	53,5	58,5	25,5
20	74,5	65,5	80,5	68	87,5	57,5	60	55	41	36	54,5	18,5
21	64,5	65,5	83,5	70,5	72,5	63	53	53	47,5	35	54,5	21,5
22	77,5	64,5	86	65,5	68,5	59	41	58,5	46	39	53,5	19,5
23	87,5	64,5	77,5	62	66	60	49	48	47,5	53,5	47,5	23,5
24	89,5	61,5	68,5	76	58,5	60,5	50,5	51	57,5	40,5	48,5	30
25	81	69,5	72	67	53	53,5	49	48	57,5	42,5	53,5	42,5
26	57,5	90	71	65,5	66	45	57	50	53,5	39,5	56,5	31,5
27	62,5	72,5	77,5	57,5	62	42,5	47,5	51	55	31	56	26
28	67,5	90	77,5	64	73,5	43,5	50	45,5	53	38	56	21,5
29	64	61,5	93,5		85	50,5	50,5	41	47	38,5	53,5	34
30	65	60,5	82,5		69,5	56	44	41,5	43,5	50	54,5	37
31		62,5	90,5		78		47,5		45,5	49,5		31

Tableau 34: L'évolution des précipitations journalière de la ville de Kasba Tadla durant la période de Novembre 2013 et Octobre 2014

2013						2014						
JOUR	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MA	JUI	JUI	AOU	SEPT	OCTO
S	E	E	V	R	S	I	I	N	L	T		
1	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	1,8	0
2	0	0	0	0	0	19,3	0	0	0	0	0	0
3	0	0,6	0	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	7,3	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1,5	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0,6
11	0	0	0	0	5,3	0	0	0,4	0	0	0	0,4
12	0	0	0	0	11,8	0	0	2,4	0	0	0	0
13	0	0	1,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0

Annexes											2017	
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,6
15	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0
16	3,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2,7	5,6	5,6	10,5	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0,1	0	22,9	3,1	1,6	0	0	0	0	0	0	0
19	3,6	2,4	10,8	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0
21	0	0	0	0	0	5,6	0	0	0	0	0,8	0
22	6,2	0	7,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	2,7	0	2,9	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
24	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
28	0,1	3,8	0	0	8,9	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	29,9		8,9	0	0	0	0	0	0	0,2
30	0	0	6,6		0	0	0	0	0	0,2	0	0
31		0	4,7		0		0		0	0		0

Tableau 35: Evolution de la force du vent maximale instantanée quotidienne en (m/s) à la ville de Kasba Tadla durant la période entre le mois de Mars 2014 et Octobre 2014

2014									
JOURS	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	
1	6	7	12	12	9	10	11	7	
2	5	14	14	11	10	8	9	14	
3	/	12	8	10	8	9	10	10	
4	8	7	6	11	10	8	7	9	
5	/	7	7	19	11	9	10	7	
6	/	6	12	8	10	7	7	7	
7	7	5	16	9	8	10	7	6	
8	7	8	7	11	6	9	8	6	
9	8	6	7	10	8	8	8	8	
10	9	7	7	8	8	7	11	7	
11	8	6	8	11	7	8	8	11	
12	13	6	12	26	8	8	6	10	
13	5	7	11	13	9	10	10	8	
14	11	14	18	14	7	7	8	8	
15	8	8	19	10	10	9	7	6	
16	6	5	12	8	8	7	9	6	
17	6	6	13	10	14	10	8	6	
18	12	7	9	12	8	12	9	7	
19	/	9	11	12	9	12	/	12	
20	7	14	9	7	6	8	21	8	
21	5	16	12	9	/	9	19	6	
22	4	6	9	10	14	8	11	6	
23	6	6	10	12	9	6	9	8	
24	8	8	8	12	10	7	8	10	
25	11	9	10	8	8	11	10	6	
26	8	11	12	6	9	10	9	5	
27	9	8	12	8	8	16	8	6	
28	10	11	10	8	8	16	8	8	
29	12	7	9	8	7	14	8	15	

30	6	8	8	9	7	18	6	7
31	5		10		11	8		10

Tableau 36: Allure de Direction du vent maximale quotidienne -en rose de 36- à la ville de Kasba Tadla durant la période entre le mois de Mars 2014 et Octobre 2014

2014								
JOURS	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO
1	28	28	36	36	26	26	20	34
2	26	22	28	36	36	36	26	22
3	/	28	26	28	28	18	28	26
4	36	36	28	26	26	26	26	36
5	/	2	28	18	28	36	26	26
6	/	36	28	26	36	26	32	36
7	2	36	28	22	36	36	28	26
8	8	36	30	26	6	28	30	18
9	4	30	22	36	26	24	28	26
10	28	36	28	36	20	28	26	34
11	20	6	26	18	28	26	28	26
12	8	6	28	14	26	26	18	28
13	32	6	26	24	28	36	28	30
14	8	36	28	36	28	26	28	28
15	36	36	26	28	36	26	22	2
16	8	26	22	26	28	28	28	28
17	28	18	26	20	24	26	28	28
18	36	28	28	24	28	28	28	18
19	/	26	26	28	26	26	/	18
20	24	28	26	26	18	28	28	28
21	28	28	28	26	/	26	28	36
22	36	36	28	36	18	26	28	6
23	36	24	36	30	20	22	28	26
24	36	28	36	28	28	28	30	28
25	4	36	36	36	24	18	36	26
26	36	36	36	34	20	18	28	10
27	26	36	36	28	30	18	26	4
28	26	36	36	26	20	28	36	28
29	28	28	36	36	26	10	36	10
30	26	6	36	28	24	28	36	36
31	28		36		28	20		30

Planches



Planche 1: Décharge sauvage au Maroc



Planche 2: Les décharges contrôlées au Maroc



Enquête avec les chiffonniers en 2012



Enquête avec les chiffonniers en 2015

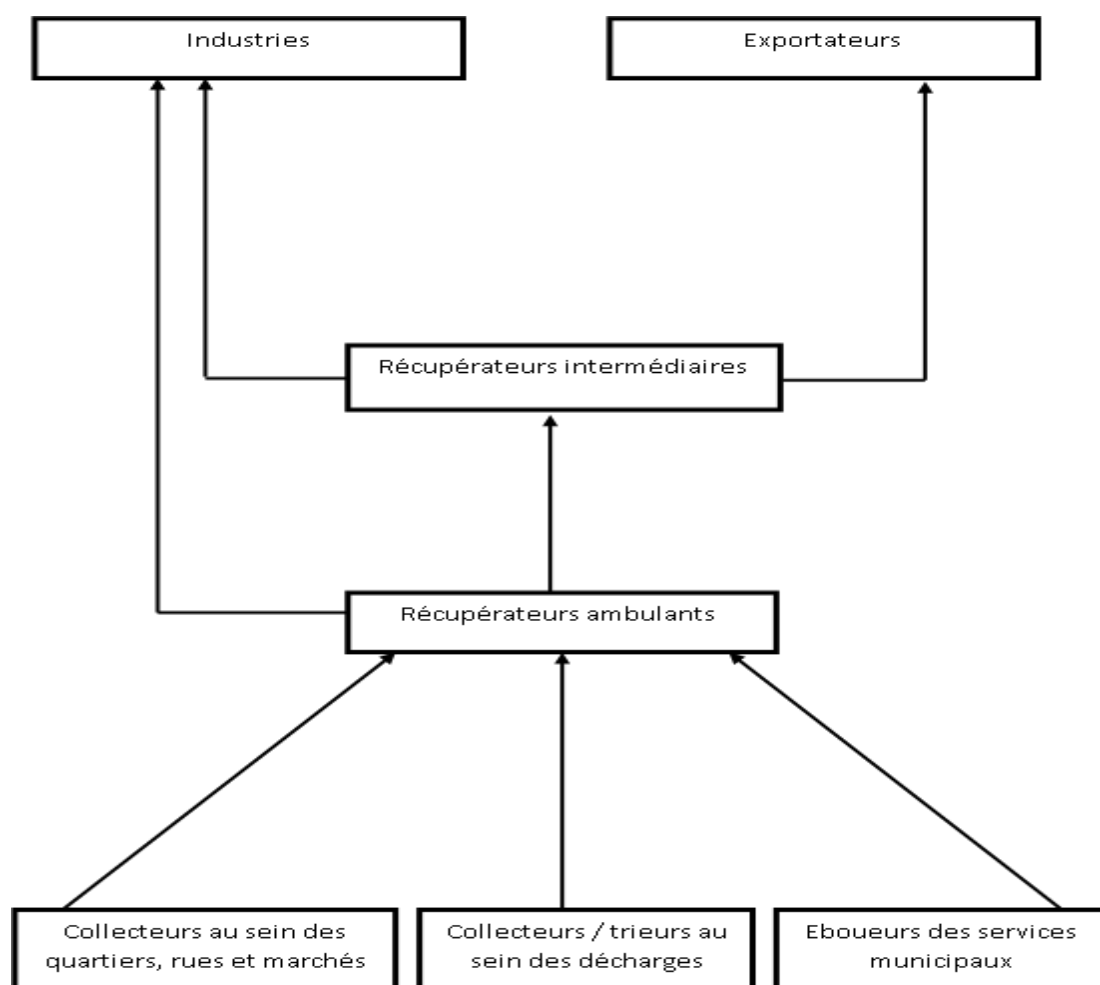
Planche 3: Enquête sur terrain sur matières récupérables à la décharge de KASBA TADLA**Planche 4: Schéma organisationnel du secteur informel de récupération des déchets à Kasba Tadla**



Planche 5: Eléments récupérables de la décharge de la ville de Kasba Tadla



Planche 6: Chauffage du lixiviat sur plaque chauffante



Planche 7: Chauffage à 145 °et le dosage par le sel de Mohr



Planche 8: La décantation et la pèse de la matière grasse sèche



Planche 9: Protocol expérimental de la technique de UASB



Planche 10 : Confirmation de la production du biogaz durant le traitement des lixiviats par UASB



Planche 11 : Echantillonnage des lixiviats pour les analyses



Planche 12 : Production de biogaz au cours de traitement des lixiviats par UASB



Planche 13 : Installation des bassins d'évaporation des lixiviats



Planche 14 : Couche lipidique au-dessus des bassins d'évaporation des lixiviats



Planche 15 : Epaisseur de la couche lipidique varie entre 1 et 5 mm



Planche 16 : Refus après évaporation des lixiviats