UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire
« Espace, Cultures et Développement »

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Chaire UNESCO en Sciences, Technologie et Environnement

Thèse

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi

Spécialité: Géographie et Gestion de l'Environnement

Option: Environnement, Santé et Développement

Présentée et soutenue par :

Alda A. S. YEMADJE

le 07/10/2015

DECHARGES INCONTROLEES DANS LES ARRONDISSEMENTS D'ABOMEY-CALAVI ET DE GODOMEY : IMPACTS SUR LES SOLS, LES EAUX ET LA SANTE HUMAINE

Sous la direction de :

Patrick A. EDORH

Pr en Toxicologie de l'Environnement, Professeur Titulaire, FAST / UAC

Membres du Jury :

Président	:	**Pr HOUSSOU S. Christophe,** Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Rapporteur	:	**Pr EDORH A. Patrick,** Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
	:	**Pr BABA Gnon,** Université de Kara (Togo)
Examinateurs	:	**Dr AINA P. Martin**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
	:	**Dr CLEDJO Placide A. G. F**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Sommaire

Dédicace ……... 3
Sigles et acronymes …… 4
Remerciements ……..... 7
Liste des tableaux ……. 11
Liste des figures ……... 13
Liste des planches ……..... 15
Liste des photos…… 16
Résumé ……..... 18
Abstract……... 19
Introduction générale……..... 20

Première partie : Cadre théorique…….. 23
Introduction partielle……..…… 24
Chapitre I : Problématique, hypothèses, objectifs et clarification des concepts …..... 25

1-1- Problématique……..... 25
1-2- Hypothèses de travail et objectifs de recherche……..... 29
1-3- Clarification des concepts……..... 29

Chapitre II : Revue de littérature…… 36
2-1- Production des déchets……. 36
2-2- Gestion des déchets solides ménagers……..... 38
2-3- Caractéristiques des décharges incontrôlées……... 54

Conclusion partielle…… 71

Deuxième partie : Cadres biophysique et humain et Méthodologie de recherche…… 72

Introduction partielle……. 73

Chapitre III: Cadre de recherche…… 74

3-1- Situation géographique ……... 74

3-2- Cadre biophysique……..…….... 76

3-3- Cadre humain…… 86

Chapitre IV: Méthodologie de recherche ……. 96

4-1- Cadre, schéma et population de recherche…….. 96

4-2- Collecte des données……..……..... 97

4-3- Traitement des données et analyse des résultats……..... 123

Conclusion partielle…… 137
Troisième partie : Résultats et discussions……. 138
Introduction partielle…… 139
Chapitre V: Gestion des déchets solides ménagers et caractéristiques des sites de décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey…….. 140
5-1- Gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements…… 140
5-2- Caractéristiques des sites de décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey……... 162
5-3- Discussion……..... 177
Chapitre VI: Evaluation de la contamination des sols, des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharges……... 195
6-1- Caractéristiques physico-chimiques des sols…… 195
6-2- Evaluation de la pollution des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharges incontrôlées……. 209
6-3- Discussion……. 222
Chapitre VII : Etude épidémiologique et suggestions……... 234
7-1- Etude épidémiologique……..... 234
7-2- Gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey: opportunité ou menace ?..... 238
7-3- Evaluation des impacts à partir de la matrice de Léopold…… 243
7-4- Suggestions……... 246
7-5- Discussion……. 253
Conclusion partielle…… 256
Conclusion générale…….. 259
Références bibliographiques……... 262
Annexes……... 287
Table des matières……... 352

Dédicace

A

- *mon époux*

Saturnin T. CHOUBIYI,

Qui n'a cessé de m'accompagner, d'être toujours à mes côtés pour me consoler quand il fallait en donnant du goût et du sens à notre vie de foyer quand bien même présente j'étais absente.

Reçois ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.

- *mes enfants,*

Pour leur patience sans fin, leur sens de compréhension et leur sagesse lorsque j'allais sur le terrain, quand je revenais tard à la maison ou absente.

Ce travail est un témoignage de mon attachement et de mon amour pour vous.

Sigles et acronymes

ABE	**:**	Agence Béninoise pour l'Environnement
ADEME	**:**	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFNOR	**:**	Association Française de Normalisation
AGRIPLAST	**:**	Agriculture Plastique
ANGed	**:**	Agence Nationale de Gestion des Déchets
ANOVA	**:**	Analyse de la variance
AREHN	**:**	Agence Régionale de l'Environnement de Haute Normandie
Art	**:**	Articles
ASECNA	**:**	Agence de Sécurité pour la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
ATSDR	**:**	Agency for Toxic Substances and Disease Registr
BUAC	**:**	Bibliothèque de l'Université d'Abomey-Calavi
CAMES	**:**	Conseil Africain et Malgache pour l'Enseignement Supérieur
CEFREDAPE	**:**	Centre Francophone de Recherche Partenariale sur l'Assainissement, les Déchets et l'Environnement
CENATEL	**:**	Centre National de Télédétection et de Couvert Forestier
CeRPA	**:**	Centre Régional pour la Promotion Agricole
CET	**:**	Centre d'Enfouissement Technique
CIFRED	**:**	Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement durable
CLIS	**:**	Commissions Locales d'Information et de Surveillance
CNRC	**:**	Conseil National de Recherches au Canada
COSGAC	**:**	Collectif des Structures non gouvernementales de la Gestion des ordures et d'assainissement de la Commune d'Abomey-Calavi
CREPA	**:**	Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement
CSD	**:**	Centre de Stockage des Déchets
CSDD	**:**	Centre de Stockage des Déchets Dangereux
CSDU	**:**	Centre de Stockage pour Déchets Ultimes
DCO	**:**	Demande Chimique en Oxygène
DECAM	**:**	Développement Communautaire et Assainissement du Milieu

DEPOLIPO	**:**	Déclaration de Politique de Population
DGAT	**:**	Département de Géographie et Aménagement du Territoire
DHAB	**:**	Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base
DSM	**:**	Déchets Solides Ménagers
DST	**:**	Direction des Services Techniques
EPAC	**:**	Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
FAST	**:**	Faculté des Sciences et Techniques
FLASH	**:**	Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
FSA	**:**	Faculté des Sciences Agronomiques
GARDIEN	**:**	Groupe d'Action et de Recherche pour le Développement des Initiatives Endogènes et Novatrices
GES	**:**	Gaz à effet de serre
GPS	**:**	Global Position System
GTVD	**:**	Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets
HTA	**:**	Hypertension Artérielle
IGN	**:**	Institut Géographique National
IITA	**:**	Institut International d'Agriculture Tropicale
INSAE	**:**	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
ISDND	**:**	Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
IST	**:**	Infections Sexuellement Transmisibles
LABEE	**:**	Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale
LEDUR	**:**	Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales
LERGC	**:**	Laboratoire d'Essais et de Recherches en Génie Civil
LES	**:**	Lieu d'Enfouissement Sanitaire
LSTE	**:**	Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau
MEDECOM	**:**	Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères
MEHU	**:**	Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme.
MSP	**:**	Ministère de la Santé Publique
MST	**:**	Maladies Sexuellement Transmissibles
NF	**:**	Norme Francaise
NTK	**:**	Azote Total Kjeldahl
OMS	**:**	Organisation Mondiale de la Santé

ONG	**:**	Organisation Non Gouvernementale
PCI	**:**	Pouvoir Calorifique Inférieur
PCUG3C	**:**	Projet de Protection de la Communauté Urbaine du Grand Cotonou face aux Changements Climatiques
PD	**:**	Pays Développés
PDM	**:**	Partenariat Pour le Développement Municipal
PEBD	**:**	Polyéthylène Basse Densité
PED	**:**	Pays En Développement
PEHD	**:**	Polyéthylène Haute Densité
PET	**:**	Polyéthylène Transparent
PGPE	**:**	Programme de Gestion et de Protection de l'Environnement
PGUD	**:**	Projet de Gestion Urbaine Décentralisée
pH	**:**	Potentiel d'Hydrogène
PI	**:**	Pays Industriel
PNUD	**:**	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	**:**	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PP	**:**	Polypropylène
PS	**:**	Polystyrène
PUGEMU	**:**	Projet d'Urgence de Gestion Environnementale en Milieu Urbain
PVC	**:**	Polychlorure de Vinyle
PVD	**:**	Pays en Voie de Dévelopement
RGPH	**:**	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
RNIE	**:**	Route Nationale Inter-Etats
SERHAU-SA	**:**	Service d'Etudes Régionales d'Habitat et de l'Aménagement Urbain-Société Anonyme
SONEB	**:**	Société Nationale des Eaux du Bénin
SPI	**:**	Syndrome Pelvien Inflammatoire
UAC	**:**	Université d'Abomey-Calavi
UNB	**:**	Université Nationale du Bénin
UNEP	**:**	United Nations Environment Program

Remerciements

Cette thèse de doctorat n'aurait pu être réalisée sans l'appui financier du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique qui a mis à ma disposition une bourse d'étude.

Que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'initiation de ce programme reçoivent notre reconnaissance et nos sincères remerciements.

Aussi, voudrions-nous exprimer notre immense gratitude et notre reconnaissance aux acteurs de ce travail notamment à :

- Michel BOKO, Professeur Titulaire à la FLASH, pour les remarques et les conseils prodigués lors de la rédaction du mémoire de DEA et de la thèse ;

- Brice SINSIN, Docteur Ingénieur en Agronomie Foresterie, Professeur Titulaire (CAMES), pour l'ardeur, l'assiduité au travail et le sens du travail bien fait qu'il m'a inculqué depuis la maîtrise ;

- Patrick EDORH, Docteur en Toxicologie de l'Environnement, Professeur Titulaire FAST/UAC, mon Directeur de thèse qui a su me conseiller et me guider dans le choix du thème de recherche, qui m'a permis de rentrer en contact avec d'autres institutions scientifiques pour réaliser ce travail. Ceci a permis d'acquérir de nouvelles connaissances et d'avoir une vision transdisciplinaire des questions de gestion des déchets solides ménagers. Nous le remercions vivement pour sa patience, ses conseils et surtout pour les efforts qu'il déploie pour promouvoir la recherche scientifique;

- Martin P. AINA, Maître de Conférences EPAC/LSTE/UAC, pour avoir accepté le déroulement du stage dans son laboratoire et la qualité des conditions de travail mises à notre disposition, pour avoir guidé nos premiers pas dans la réalisation des analyses de laboratoire, dans le domaine de la gestion et de la valorisation des déchets, puis pour son grand humanisme qui m'a beaucoup marqué ;

- Christophe S. HOUSSOU, Professeur Titulaire à la FLASH, pour son soutien, ses conseils et exhortations ;

- Crépin ZEVOUNOU Maître Assistant des Universités CAMES, pour l'aide qu'il m'a accordé pour la réalisation d'une partie de mes travaux de recherche au laboratoire d'Essais et de Recherches en Génie Civil ;

- Gnon BABA, Professeur titulaire, doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Kara pour son orientation et le rôle de facilitateur qu'il a joué au niveau du Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé ;

- Kissao GNANDI, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lomé, pour son accueil au sein du Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé, son aide, sa disponibilité pour des discussions sur le travail et surtout pour les documents qu'il a mis à notre disposition ;

- Dismand HOUINATO, Professeur Titulaire de Neurologie, pour son soutien financier, moral, matériel, scientifique, son précieux enseignement et son encouragement ;

- Marcel HOUINATO, Docteur Ingénieur, Maître de Conférences à la FSA/UAC pour son soutien financier, sa disponibilité pour les échanges, ses conseils utiles et instructifs ;

- Pierre DOSSOU-YOVO, Docteur en Biotechnologie Alimentaire, Maître Assistant FAST/UAC pour la faveur accordée dans le cadre de l'analyse d'une partie des travaux dans son laboratoire ;

- Claude DJOGNINOU, pour ses conseils, ses encouragements, ses suggestions dans le choix du thème de recherche.

- Nelly KELOME, pour son extrême courtoisie, son soutien et ses conseils.

Nos remerciements les plus sincères vont au président du jury qui a bien voulu accepter de présider cette soutenance de thèse.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury qui m'ont fait un grand honneur en acceptant d'évaluer ce travail.

C'est également le moment d'exprimer tous nos remerciements :

- à Moursarlou KORIKO, pour son accueil et le rôle de guide qu'il a joué lors de mes séjours à Lomé.

- au Docteur Euloge OGOUWALE, Maître de conférences à la FLASH, pour ses conseils et ses orientations ;

- à toute l'équipe du CIFRED et particulièrement à Gratien BONI, Eugenie KEKE, Armelle HOUNKPATIN, Patient GUEDENON, Modeste GOUISSI, Victorin DOUGNON, Sabine MONTCHO, Bernard SOSSOU, Luc KOUMOLOU et Jacques HOUEGNON ;

- aux responsables et aux membres du COSGAC pour leur disponibilité lors du recensement des dépotoirs sauvages, pour les informations qu'ils ont données, et particulièrement à ceux qui m'ont accompagnés sur le terrain sans oublier Claude AHLA le président du COSGAC pour son soutien, et sa promptitude lors des travaux de terrain.

- à tous les collègues et amis du Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (Flora AGBOMENOU, Justine DEGUENON, Mohamed DAOUDA, Charles TETE, Nestor DANSOU, Reine MAHOUGNON, Berny's, Sandrine, Jolias, Christiane , Nadia), du Laboratoire d'Essais et de Recherches en Génie Civil (Francis, Hugor, Patrick, Florentine), du laboratoire de Gestion, de Traitement et de Valorisation des Déchets de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé (Lankondjoa KOLANI et Komla ABBE) et du Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales (David BALOUBI, Benjamin ALLAGBE, Toussaint VIGNINOU, Aboubakar KISSIRA) pour leurs conseils, leur soutien, leur collaboration et leurs aides sur le terrain ;

- aux Messieurs Ambroise AHOKOU, David BALOUBI, Gabriel DEGUENON, Ulbad Polycarpe TOUGAN et Kwamivi Patrick N. SEGBEAYA pour le travail fastidieux de lecture apporté aux articles et au mémoire de thèse ;

- à Alexandrine HOUINATO épouse CHATIGRE, pour la disponibilité et l'accompagnement reçu pour le traitement statistique des données d'enquête;

- à Justin AZANKPAN et son épouse, pour leur soutien, leur aide, leur encouragement et leurs conseils ;

- à Fabrice YEMADJE et son épouse, pour leurs aides surtout sur le plan financier et matériel ;

- au Médecin chef d'Abomey-Calavi pour le rôle de facilitateur qu'il a joué lors des enquêtes dans les centres de santé ;

- à Abel, Gédéon, Ismael, Christian, Lobéda, Richard, Gisèle, Judith, Amour, Inès, Virginie, Hurbert, Francis, Dieu-donné, Prisca, Charluberte, Christiane, Rouslande et Georges qui n'ont ménagé aucun effort pour la réalisation de la collecte des données sur le terrain.

Nos remerciements vont également à l'endroit de :

- tout le personnel de la bibliothèque de l'Université pour leur collaboration dans la collecte des données, leur encouragement et leur soutien ;
- tout le personnel de la Mairie d'Abomey-Calavi notamment Charlemagne ALAGA pour les informations qu'il m'a permis d'avoir ;
- tous les enseignants du DGAT et de l'EDP, qui ont assuré ma formation.

Nous ne saurions terminer sans remercier :

- ma mère, qui n'a cessé de me soutenir et de m'encourager durant le curcus scolaire et académique ;
- mon père, pour ses conseils et son encouragement ;
- ma belle famille, en particulier Vincent CHOUBIYI et son épouse, pour leur soutien morale et leurs conseils ;
- mes frères et sœurs en particulier puis de façon générale mes tantes et mes oncles des familles YEMADJE et HOUINATO pour leur soutien et leurs différentes prières ;

Enfin, nous rendons hommage et exprimons notre reconnaissance à tous ceux qui ont participé de loin ou de près, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail.

Liste des tableaux

Tableau I	**:**	Masse volumique, humidité et PCI des déchets solides ménagers dans quelques pays…….	59
Tableau II	**:**	Composition du biogaz selon ses origines……..	63
Tableau III	**:**	Centres de recherche et informations recueillies……	103
Tableau IV	**:**	Répartition du nombre de ménages à enquêter……...	106
Tableau V	**:**	Répartition de la taille de l'échantillon des cibles secondaires retenues……...	111
Tableau VI	**:**	Taille des ménages pour la campagne de caractérisation par quartier……	112
Tableau VII	**:**	Cadre de référence de l'évaluation des impacts……..	136
Tableau VIII	**:**	Ratio des déchets solides ménagers par saison dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey……	140
Tableau IX	**:**	Densité des déchets par saison……	141
Tableau X	**:**	Humidité des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey……...	141
Tableau XI	**:**	Pouvoir calorifique inférieur des DSM dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey …..……	142
Tableau XII	**:**	Rapport carbone /azote (C/N) selon les saisons……..	143
Tableau XIII	**:**	Types de poubelles utilisés par les ménages des arrondissements de recherche……	146
Tableau XIV	**:**	Temps de séjours des poubelles dans les concessions par arrondissement……	148
Tableau XV	**:**	Motifs des heures d'évacuation des déchets dans les arrondissements de recherche…….	149
Tableau XVI:		Lieux d'évacuation des déchets par les ménages……	161
Tableau XVII:		Densité des déchets par site de décharge……	172
Tableau XVIII	**:**	Teneurs moyennes des paramètres chimiques des lixiviats et minéralisâts des éléments extra-fins des sites de décharges……	174
Tableau XIX	**:**	Effets régions et niveaux de prélèvement des paramètres généraux des lixiviats des sols……...	199
Tableau XX	**:**	Effets régions et niveaux de prélèvement des paramètres (DCO, DBO5 et NTK) des lixiviats des sols……..	202
Tableau XXI	**:**	Effets régions et niveaux de prélèvement des métaux (Cu, Ni Pb et Cd) des minéralisâts des sols……	205
Tableau XXII	**:**	Concentrations moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles prélevées……	209

Tableau XXIII : Données piézométriques et distances des puits par rapport aux dépotoirs…….. 212
Tableau XXIV : Influence de la profondeur des puits sur la qualité physico-chimique de l'eau des puits……. 213
Tableau XXV : Variation de la qualité physico-chimique de l'eau en fonction de la distance……... 216
Tableau XXVI : Effet de la zone sur les propriétés physico-chimiques des eaux de puits……. 219
Tableau XXVII : Maladies liées aux déchets déclarées par les ménages selon leur distance par rapport aux sites de décharges…… 234
Tableau XXVIII : Fréquences des maladies enregistrées dans les centres de santé ……...……. 236
Tableau XXIX : Matrice d'évaluation des impacts liés aux décharges incontrôlées sur les sols et les eaux …… 244
Tableau XXX Matrice d'évaluation des impacts liés aux décharges incontrôlées sur la santé des populations…… 245
Tableau XXXI : Valeurs limites des paramètres étudiés au niveau des lixiviats des décharges, des sols, des eaux superficielles et souterraines…… 322
Tableau XXXII : Masse minimale de tamisât nécessaire en fonction de la dimension d'ouverture des mailles du tamis……... 322

Liste des figures

Figure 1	**:**	Production des déchets solides par kilogramme, par habitant et par jour dans quelques PD et PED …….....	37
Figure 2	**:**	Schéma simplifié du processus d'incinération des déchets	49
Figure 3	**:**	Evolution des maladies chez les récupérateurs à Katmandu…….	67
Figure 4	**:**	Situation géographique des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey ……..	75
Figure 5	**:**	Unités géomorphologiques de la Commune d'Abomey-Calavi …	78
Figure 6	**:**	Régime pluviométrique du secteur de recherche de 1984 à 2014 …….....	79
Figure 7	**:**	Evolution mensuelle de la température de 1984-2014……..	80
Figure 8	**:**	Evolution des moyennes mensuelle de l'humidité relative sur la période de 1984-2014……	81
Figure 9	**:**	Bilan climatique de la station de Cotonou Aéroport……...	82
Figure 10	**:**	Réseau hydrographique de la Commune d'Abomey-Calavi…….	83
Figure 11	**:**	Sols de la Commune d'Abomey-Calavi ……...	84
Figure 12	**:**	Evolution de la population de la Commune d'Abomey-Calavi de1979 à 2013……	86
Figure 13		Evolution de la population des arrondissements de la Commune d'Abomey-Calavi de1979 à 2013……..	87
Figure 14	**:**	Site de décharges sélectionnées dans les arrondissementss d'Abomey-Calavi et Godomey……..	108
Figure 15	**:**	Technique de prélèvement linéaire des échantillons des déchets ……...	113
Figure 16	**:**	Schéma descriptif et synthétique du protocole de tri et de caractérisation des déchets ……..	114
Figure 17	**:**	Répartition des puits sélectionnés pour l'étude d'impacte des sites de décharges sur les eaux souterraines …….....	116
Figure 18	**:**	Répartition des lieux de prélèvement des eaux superficielles ……	117
Figure 19	**:**	Répartition des points de prélèvement des échantillons des sols dans les zones de recherche……...	119
Figure 20	**:**	Répartition par taille des DSM dans le sarrondissement de recherche……	143
Figure 21	**:**	Composition des DSM des arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey …….....	

144
Figure 22 : Présence ou non de poubelle dans les ménages.……..... 145
Figure 23 : Distance effectuée par les ménages pour atteindre les sites de décharges incotrôlée…….. 150
Figure 24 : Répartition des sites de décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey……... 163
Figure 25 : Emplacement des sites de décharges dans les arrondissements d'abomey-Calavi et de Godomey…….. 164
Figure 26 : Répartition des déchets par taille et par décharge incontrôlée dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey…… 170
Figure 27 : Composition des déchets des décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey …… 171
Figure 28 : Humidité des déchets sur les décharges dans les arrondissements de recherche……... 173
Figure 29 : Synthèse de l'état de l'environnement par le modèle PEIR……... 176
Figure 30 : Profils des sols de la zone témoin et des sites de décharges sélectionnés…… 196
Figure 31 : Indice de placité et teneur en eau des sols……. 197
Figure 32 : Evolution des paramètres (pH, conductivité et oxygène dissous) selon les sites et les niveaux de prélèvement de sol…….. 200
Figure 33 : Variation des teneurs des paramètres (DCO, DBO5 et NTK) des lixiviats de sols en fonction des sites et du niveau de prélèvement.. 203
Figure 34 : Variation des teneurs en métaux (Cu, Ni, Pb et Cd) des minéralisâts des sols en fonction des istes et des niveaux de prélèvement…… 207
Figure 35 : Evolution des teneurs en conductivité, DBO5 et en métaux (Ni, Pb) en fonction des profondeurs des puits……. 215
Figure 36 : Evolution de la conductivité, de l'oxygène dissous, de la DCO, du NTK et du Nickel dans les eaux des puits en fonction de la distance des puits par rapport aux sites de décharges …….. 218
Figure 37 : Teneurs moyennes de la conductivité, de la DCO, de la DBO5, du NTK, du Cu et du Ni des eaux des puits en fonction des sites de localisation des puits.…… 221
Figure 38 : Fréquence mensuelle des maladies liées aux déchets enregistrées dans les centres de santé…… 237
Figure 39 : Maladies liées aux déchets enregistrées dans les centres de santé par sexe…….. 238

Liste des planches

Planche I : Poubelles remplies de déchets dans les arrondissements de recherche…….. 146

Planche II : Apport de déchets sur des dépotoirs sauvages dans les quartiers des arrondissements de recherche…….. 149

Planche III : Retrait des poubelles par les charretiers au niveau des ménages dans les arrondissements…….. 152

Planche IV : Charrette remplie de déchets en train d'être convoyés sur des décharges incontrôlées……... 153

Planche V : Déchets convoyés sur des sites de décharges dans les arrondissements de recherche……. 154

Planche VI : Récupérateurs ambulants dans les quartiers des arrondissements de recherche……. 155

Planche VII : Objets récupérés par les Gankpogblégblé dans les quartiers des….. 156

Planche VIII : Valorisation des déchets par le réemploi…… 158

Planche IX : Valorisation des déchets par la réutilisation…… 159

Planche X : Valorisation des déchets par recyclage…… 160

Planche XI : Entretien des sites de décharges dans les arrondissements de recherche……... 166

Planche XII : Pratiques endogènes utilisées dans les arrondissements de recherche pour empêcher l'érection des sites de décharges……. 167

Planche XIII : Récupérateurs d'objets sur les sites de décharges dans les arrondissements de recherche……... 168

Planche XIV : Objets récupérés sur les sites de décharges dans les arrondissements de recherche…….. 169

Planche XV : Aspect des puits dans les arrondissements de recherche……... 211

Planche XVI : Test d'évaluation de la combustion des briquettes……. 242

Planche XVII : Niveaux de la table de tri…….. 323

Planche XVIII : Etapes de caractérisation des déchets par taille et par catégorie… 324

Liste des photos

Photo 1 : Poubelle en bidon étanché remplie de déchets à Zogbadjè …… 146
Photo 2 : Poubelles en plastique et sacs en lin remplies de déchets à Godomey 146
Photo 3 : Poubelle installée à l'intérieur de la concession près des récipients de stockage de l'eau servant aux travaux domestiques…… 147
Photo 4 : Apport de déchets sur un dépotoir sauvage par un membre d'un ménage à Cococodji…… 149
Photo 5 : Apport de déchets sur un dépotoir sauvage par un membre d'un ménage à Tokpa-Zoungo……... 149
Photo 6 : Retrait des poubelles par les charretiers chez les ménages abonnés à Cocotomey ……..... 152
Photo 7 : Déversement des déchets des poubelles dans la charrette à traction humaine par les charretiers…… 152
Photo 8 : Charrette remplie de déchets et en train d'être convoyés vers un site de décharge incontrôlée à Godomey…….. 153
Photo 9 Charrette remplie de déchets et en train d'être convoyés vers un site de décharge incontrôlée à Agamadin……... 153
Photo 10 : Déchets convoyés sur un site de décharge à Abomey-Calavi pour être déversés……... 154
Photo 11 : Déchets convoyés vers un site de décharge à Tokpa-Zoungo et en train d'être déversés…… 154
Photo 12 : Récupérateur ambulant dans un quartier de Godomey…… 155
Photo 13 : Récupérateur ambulant dans un ménage à Godomey…….. 155
Photo 14 : Récupérateur ambulant à Agori……. 156
Photo 15 : Point de regroupement des objets récupérés à Tokan…….. 156
Photo 16 : Récupération des vêtements par les charretiers sur un dépotoir à Abomey-calavi…….. 158
Photo 17 : Atelier de réparation des objets plastiques à Abomey-Calavi……. 158
Photo 18 : Réutilisation des sachets pour attiser le feu dans un ménage à Abomey-Calavi……... 159
Photo 19 : Oreillers fabriqués avec des haillons par un récupérateur à Tokpa-Zoungo……..... 159
Photo 20 : Marmites recyclées dans un atelier de fonderie dans le marché de Tokpa-Zoungo……..... 160
Photo 21 : Cage fabriquée à l'aide des fils de fer extraits des vieux pneus……. 160

Photo 22 Site de décharge brûlé à Agori…… 166
Photo 23 Nettoyage d'un site de décharge à Sèmè par une structure de collecte 166
Photo 24 Emblème du culte zangbéto au niveau d'un dépotoir à Agori à Abomey-Calavi…….. 167
Photo 25 Construction de haie autour d'un dépotoir à Houédonou à Godomey.. 167
Photo 26 Un jardinier en train de prélever les déchets extra-fins sur une décharge à Zogbadjè……. 168
Photo 27 Jardin au pied d'une décharge à Godomey…… 168
Photo 28 Récupérateurs enfants sur un site de décharge à Tokpa-Zoungo……..... 168
Photo 29 Récupérateur adulte sur un site de décharge à Godomey……. 188
Photo 30 Objets récupérés par des récupérateurs enfants…… 169
Photo 31 Nettoyage des objets par un récupérateur à Abomey-Calavi…… 169
Photo 32 Submersion d'un site de décharge dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi……..... 198
Photo 33 Puits couvert à moitié avec des feuilles de tôles dans l'arrondissement de Godomey…… 211
Photo 34 Puits laissé à ciel ouvert dans l'arrondissement d'Abomey-calavi…….. 211
Photo 35 Mélange du char avec le liant……. 241
Photo 36 Briquettes mises en boulette…….. 241
Photo 37 Briquettes séchées à l'air libre…… 242
Photo 38 Essai des briquettes (papier/carton) pour la combustion…… 242
Photo 39 Essai des briquettes (débris charbon) pour la combustion…… 242
Photo 40 Essai des briquettes (mélange papier et débris charbon) pour la combustion…….. 242
Photo 41 Table de tri…….. 323
Photo 42 Maille 100 mm…….. 323
Photo 43 Maille 20 mm……..... 323
Photo 44 Maille > 8 mm……... 323
Photo 45 Maille < 8 m……..... 323
Photo 46 Numérotation des sacs et pesage……... 324
Photo 47 Tri des déchets par taille ……..... 324
Photo 48 Tri des déchets par catégorie ……..... 324
Photo 49 Pesage des déchets triés……..... 324

Résumé

La présente recherche vise à évaluer l'impact des sites de décharges incontrôlées sur la qualité des sols, des eaux et leurs nuisances sur la santé des populations des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. Ces deux arrondissements connaissent un accroissement démographique important depuis les années 1980. Cet état de choses engendre un certain nombre de problèmes dans le domaine de la gestion des déchets solides ménagers. Ces problèmes se traduisent par une augmentation accélérée de la production de ces déchets et l'occupation des espaces non occupés à proximité des lieux d'habitation qui servaient des sites de dépôt des déchets. Ceci a pour conséquence la prolifération des décharges le long des plans d'eau, des bas-fonds et les anciennes carrières de sable.

Pour memer cette recherche, après l'état des lieux, 6 sites de décharges incontrôlées ont été sélectionnés, 27 échantillons de sol, 3 échantillons d'eau de surface et 21 échantillons d'eau de puits ont été prélevés. L'analyse granulométrique des échantillons de sols a été réalisée selon la norme NFP 94-056. Des analyses physico-chimiques des échantillons ont été aussi effectuées. Les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel SAS 9.2 et Epi info version 3.3.2.

Il ressort de cette étude qu'il existe 142 importants sites de décharges incontrôlées dont 34 à Abomey-Calavi et 108 à Godomey. 46,36 % des sites étaient installés dans les bas-fonds et plans d'eau de Godomey. Par contre à Abomey-Calavi, 76,47 % des sites se trouvent sur la terre ferme ($p < 0,01$). Les superficies de ces sites varient entre 9,8 et 2943,7 m² avec des hauteurs entre 0,3 et 12 m. Leur distance par rapport aux premières habitations est comprise entre 0 à 30 m. L'analyse des paramètres physico-chimiques des lixiviats des déchets extra-fins des sites de décharges révèle une pollution en matières organiques oxydables (DCO = 291,2 mg/l et 425 mg/l respectivement dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de Godomey), en plomb et en cuivre (respectivement 520 et 10,03 mg/l dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi puis 4,42 et 4,21 mg/l dans celui de Godomey). Par contre celle des sols et des eaux ont présenté une contamination au cadmium en profondeur du sol et une pollution superficielle au plomb des sols de Godomey (713 mg/l). Par rapport aux eaux, elles ont connu une pollution essentiellement organique (eaux superficielles : DCO = 1549 mg/l, DBO5 = 149,7 mg/l et NTK = 6 mg/l ; eaux de puits : DCO = 11,66 et 13,25 mg/l puis DBO5 = 5,88 et 7 mg/l respectivement dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de Godomey). Ces diverses pollutions ont été remarquées au niveau des sols des sites de décharges et des eaux près de ces sites. Aussi l'enquête épidémiologique auprès des ménages et dans les centres de santé a montré que les maladies liées aux déchets sont plus courantes dans les ménages riverains aux décharges. Les plus fréquentes sont: le paludisme (28.07 % et 36.48 %), les affections respiratoires (6,58 % et 22,96 %), la céphalée (12,72 % et 7,55 %), les gastro-entérites (13,16 % et 11,95 %) repectivement dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. La matrice de Léopold a permis de relever que l'ampleur des impacts se ressent plus au niveau du sol et des eaux que sur la santé humaine.

Le problème des décharges incontrôlées dans les arrondissements d'étude surtout celui de Godomey tel qu'il se pose avec acuité, est d'une urgence évidente et nécessite que des actions promptes soient engagées.

Mots-clés: Abomey-Calavi, Godomey, décharge incontrôlée, santé humaine, pollution des sols et des eaux.

Abstract

The current research aims to assess the impact of waste or landfills discharges on the quality of soil, water and the health of the population of Abomey-Calavi and Godomey. The Districts of Abomey-Calavi and Godomey of Benin had recorded a great population growth since 35 years. This creates several environmental problems as solid waste management characterized by rapid increase of waste production and the occupation of the vacant spaces close to residential areas. This study aims to assess the impact of uncontrolled dumpsites on the quality of soil, water and human health. Then, after characterization of landfills, six sites of uncontrolled discharges were selected, 27 soil samples, three surface water samples and 21 samples of well water were collected. The particle size analysis of soil samples was carried out according to the NF P 94-056 standards. Physico-chemical analysis of the samples was also made. The collected data were analyzed using SAS software 9.2 and Epi Info Version 3.3.2. It appears from this study that there are 142 main uncontrolled landfills, including 34 in Abomey and 108 Godomey. 46.36% of the sites were located in the lowlands and water Godomey plans. As against to Abomey, 76.47% of the sites are on land ($p < 0.01$). The area of these sites varies between 9.8 and 2943.7 m² with heights between 0.3 and 12m. Their distance from the first houses ranged from 0 to 30m. The leachates generated by the landfill flows into water bodies or seeps into the ground. The physico-chemical analysis of these leachates reveals pollution with organic matter, lead and copper. The leachate generated by these uncontrolled dumpsites flow into water bodies or infiltrate into the ground. Analysis of physico-chemical parameters of leachate extra-fine waste from dumpsites reveals pollution by oxidizable organic matter (COD = 291.2 mg / l and 425mg / l, respectively, in the districts of Abomey-calavi and Godomey), lead and copper (respectively 520 and 10.03 mg / l in the district of Abomey and 4.42 and 4.21mg / l in the district of Godomey). Nevertheless, soil and water showed contamination by cadmium in depth and surface, and a lead pollution of soils in Godomey (713mg / l). Moreover, the water samples were essentially contaminated by organic pollution (surface water: COD = 1549 mg / l, BOD5 = 149.7 mg / l and NTK = 6 mg / l; well water: COD = 11.66 and 13 25 mg / l and BOD5 = 5.88 and 7 mg / l, respectively, in the district of Abomey-Calavi and Godomey). These various pollutants were observed in the soil and water located near to the dumpsites. The epidemiological survey carried out in the households and in the hospital showed that households inhabitant close to waste discharge were most affected by waste-related diseases. The most frequent diseases were: uncomplicated and severe malaria (28.07% and 36.48%), lung affections (6,58% and 22,96%), headache (12.72% and 7.55%), and gastroenteritis (13,16% and 11.95%) respectively in the districts of Abomey-Calavi and Godomey. The matrix of Leopold has identified the magnitude of the impact is felt more at the soil and water on human health. The problem of uncontrolled discharge in the study area especially in the District of Godomey is of obvious emergency and therefore requires prompt solutions.

Key words: Abomey-Calavi, Godomey uncontrolled dumpsites, human health, soil and water pollution.

Introduction générale

Avec une consommation toujours plus grande et plus diversifiée partout dans le monde, la production des déchets ne cesse d'augmenter. La croissance démographique et le développement des techniques de production des produits variés contribuent énormément à l'augmentation tant qualitative que quantitative des déchets (Citeretse, 2008). Ainsi, la question de la gestion des déchets est devenue de plus en plus complexe aussi bien dans les pays du Nord que ceux du Sud. La gestion des déchets est mieux maîtrisée dans les pays du Nord, tandis que dans les pays du Sud elle s'avère plus préoccupante. Ceci est dû au fait que les moyens organisationnels et financiers des sociétés n'ont pas suivi l'évolution des besoins qui s'accumulent et sollicités par d'autres urgences, les responsables se contentent d'une gestion minimale en l'occurrence, la pré-collecte (De Vasconcelos Barros, 2003).

Dans les villes africaines en l'occurrence les capitales, la quantité importante de déchets produits ne cesse d'augmenter depuis 1960 à nos jours et risque d'atteindre pour l'an 2015, 100 à plus de 300 % de la production initiale (Kapepula, 1996). Cette situation peut s'expliquer par la croissance démographique spectaculaire et quasi exponentielle qu'ont connue ces villes avec des taux de croissance proches du double de la moyenne mondiale : de 3,5 à 6,2 à Yaoundé (Cameroun) entre 1977-2001, 4 ,8 % entre 1988 et 2000 à Niamey (Niger) (Wéthe et *al.*, 2003). A cela s'ajoute le développement économique qui a pour corollaire une augmentation de la consommation et de la production des déchets par habitant (PNUE, 2001). En effet, le manque d'outils nécessaires, l'insuffisance des ressources financières, la pauvreté et l'incivisme des populations font que les villes africaines surtout celles sub-sahariennes n'arrivent pas à gérer de façon efficace leurs déchets. La pratique traditionnelle d'évacuation des déchets par rejet dans la nature est plus adoptée. Ainsi, les dépotoirs sauvages se multiplient dans les quartiers, le long des artères et sur les voies publiques. Ils constituent une véritable agression sur la santé des populations et l'environnement notamment en saison pluvieuse qualifiée de période à hauts risques. Ils sont aussi une source de prolifération des insectes, des accidents d'enfants et des toxines spécifiques (Sharholy et *al.*, 2007).

La République du Bénin comme tous les autres pays de l'Afrique de l'Ouest connaît ces problèmes. Le taux d'urbanisation au Bénin de 26,5 % en 1979 est passé à 38,9 % en 2002 (INSAE, 2002) et à 43,50 % en 2013 (INSAE, 2013). Cette croissance des villes du Bénin a entraîné d'énormes difficultés dans la gestion des déchets ménagers. L'organisation de la pré-collecte et de la collecte des déchets dans les quartiers de villes ou villages et leur élimination n'est que peu assurée. Parmi les villes du Bénin, seule la ville de Cotonou s'essaie à trouver une solution à la question de la gestion des déchets. Après l'installation des bacs à ordures publics et la création des sites de regroupement, c'est le centre de tri de Hêvié devenu progressivement dépotoir sauvage, et ensuite le site d'enfouissement technique de Ouèssè dans la Commune de Ouidah installé depuis septembre 2006 qui accueillent aujourd'hui des tonnes de déchets produits à Cotonou. Si le mécanisme mis en place n'est pas encore irréprochable, du point de vue de la pollution et du potentiel économique offert par les déchets, un effort est fait. Dans les autres villes, le mode de traitement des déchets se résume à la mise en décharge pêle-mêle ou sur les sites de décharge qui restent encore non aménagés. Au nombre de ces villes, il y a les agglomérations de Godomey et d'Abomey-Calavi qui abritent plus de deux tiers de la population de la Commune d'Abomey-Calavi (Baloubi, 2013). Dans ces agglomérations urbaines en plein essor démographique, aucune politique de gestion adéquate des déchets n'a été adoptée jusqu'à nos jours (COSGAC, 2007). Les infrastructures telles que les bacs à ordures, les points de regroupement et les décharges finales sont inexistantes (Allasani, 2007). Les dépotoirs sauvages sont créés un peu partout soit par les ONG de pré-collecte qui n'ont nulle part où déverser les ordures, soit par les populations elles-mêmes. Cette situation aggrave l'insalubrité, renforce et expose la population à de multiples maladies surtout en saison des pluies (Yêmadjè, 2009). En ce moment où la gestion des déchets doit s'inscrire dans la perspective d'un développement durable dont les principes de base mettent en avant un environnement viable (coûts de dégradation de l'environnement), un maintien du capital naturel (rejets éco-compatibles) et la biodiversité, des mesures pour une gestion efficace et durable des déchets n'ont pas eu le dessus sur les pratiques de l'incivisme dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. C'est pour apporter des éléments de réponse que ce travail intitulé : **«**

Décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey : Impacts sur les sols, les eaux et la santé humaine » fait l'objet de cette recherche**.**

Après l'introduction, la première partie présente le cadre théorique à travers :

- la problématique, les objectifs et les hypothèses de la thèse ;
- la clarification des concepts et la revue de la littérature.

La deuxième partie expose les fondements physiques et humains de la prolifération des décharges incontrôlées et la méthodologie de recherche.

La troisième partie présente les résultats et les discussions. Cette partie a permis de cerner d'une part l'état de la gestion des déchets solides ménagers et la problématique des sites de décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey puis d'autre part, de faire ressortir l'influence des sites de décharges incontrôlées sur la qualité des sols, des eaux et la santé des populations.

PREMIERE PARTIE :

CADRE THEORIQUE

Introduction partielle

Les liens entre décharges, environnement et problèmes sanitaires ont été abordés par plusieurs auteurs. Certains auteurs (Rassam et *al.*, 2012 ; Djorfi et *al.*, 2010 ; Mehdi et *al*., 2007 ; Dermont, 2008 et Aina, 2006) ont mis en évidence la pollution générée par les lixiviats des décharges sur les eaux des puits, les eaux superficielles à proximité des décharges, le sol et l'air. Les différentes recherches antérieures et les réflexions sur cette problématique ont permis d'enrichir la première partie de l'étude. Cette partie a été structurée en deux chapitres. Le premier chapitre présente la problématique, les hypothèses, les objectifs et la clarification des concepts. Dans le deuxième chapitre, il s'est agi de faire le point des connaissances des travaux effectués sur les différents aspects du sujet et d'orienter la recherche.

Chapitre I : Problématique, hypothèses, objectifs et clarification des concepts

1-1- Problématique

L'élimination des déchets constitue un défi que l'humanité relève depuis des millénaires (Murray, 1995). Dans les pays en développement, elle constitue la plus grande difficulté que rencontrent les autorités municipales. Il suffit de traverser certaines rues des pays africains pour constater les manifestations du problème: amoncellements de déchets, détritus le long des routes, ruisseaux bloqués, sites d'enfouissement menaçant la santé dans les secteurs résidentiels, et élimination inadéquate des déchets toxiques (Onibokun, 2002). La situation est très alarmante dans les quartiers populaires et ceux d'habitations spontanées (Sané, 2002). Les dépotoirs et les décharges brutes constituent ainsi, l'exutoire final de tous les types de déchets sans considération aucune de leur nature, ni de leur degré de toxicité ou de leur dangerosité. Ce type d'élimination de déchets, bien que présentant une solution en l'absence de politique adéquate est caractérisé par les grandes nuisances qu'il génère, et qui entraînent des conséquences néfastes non seulement sur les eaux de surface et souterraines, les sols mais aussi sur la qualité de l'air et sur le cadre de vie en général (Moulay, 2010). En effet, ce mode de traitement des déchets qui demeure le moyen le plus utilisé dans les pays en développement surtout ceux africains est lié à la faiblesse des moyens financiers mis en œuvre pour leur prise en charge et à l'absence d'expérience et de technicité nécessaires dans ce domaine. Il est dû aussi en grande partie au rythme de croissance démographique de leurs villes qui engendre des besoins dans tous les domaines de manière que la gestion des déchets a toutes les chances de passer après d'autres priorités comme l'eau, la santé, l'éducation, l'éclairage, le transport, etc (Sané, 2002). Les villes béninoises présentent des similitudes. Elles ont connu une urbanisation rapide. La décennie 1980-1990 a été marquée par une urbanisation intense de 6 à 8 % par an du taux d'urbanisation dans les principales villes telles que Cotonou, Porto-Novo et Parakou (Aboki, 2010). En 1992 et 2002, le phénomène d'urbanisation a atteint la Commune Abomey-Calavi. En 2002, elle est devenue la deuxième Commune la plus densément peuplée du Bénin. Avec une population de 60.415 habitants en 1979 (INSAE**,** 1988), la Commune d'Abomey-Calavi se retrouve à 126.507 habitants en 1992 (INSAE**,** 1994) et à 307.745 habitants

en 2002 (INSAE, 2004). De 1979 à 1992, soit treize ans d'écart, la population de cette Commune a plus que doublé. Entre 1992-2002, cette population a presque triplé. Les arrondissements de Godomey et d'Abomey-Calavi sont les plus touchés par cette croissance démographique rapide. Ces deux arrondissements comptent 214.897 habitants pour une population totale de la Commune qui s'élève à 307.745. L'arrondissement de Godomey se trouve en tête et concentre seul plus de la moitié de la population de la Commune soit 153.447 habitants (INSAE, 2002) ; tandis que celui d'Abomey-Calavi abrite une population de 61.450 habitants (INSAE, 2002). Cette croissance rapide qu'ont connue ces arrondissements s'est accompagnée d'une production très importante de déchets. En 2007, la production moyenne de déchets a été estimée à 124 tonnes par jour, soit 45.260 tonnes cette année (COSGAC, 2007). Cette production est évaluée en moyenne à 213 tonnes par jour soit 77.958 tonnes pour l'année 2012 (Yêmadjè, 2013). Dans l'intervalle de 6 ans, la quantité de déchets produits dans la Commune a presque doublé. En effet, cette production est plus importante dans les deux arrondissements à forte croissance démographique que sont Abomey-Calavi et Godomey qui ont généré plus de la moitié des déchets générés par la Commune en 2012.

Avec cette impressionnante quantité de déchets générée, le mode de gestion des déchets reste encore traditionnel. La pré-collecte est limitée au ramassage des ordures par les ménages ou porte-à-porte par les strucutres de pré-collecte. La collecte est inexistante. Le mode de traitement adopté est essentiellement la mise en décharge pêle-mêle. Les structures de pré-collecte et les ménages évacuent les déchets sur les parcelles non viabilisées, dans les trous de fortune et les bas-fonds (Kèkè, 2002 ; Ajahi, 1994). Il résulte de cette situation la présence de dépôts sauvages un peu partout dans les quartiers des arrondissements de recherche.

Avec l'extension de l'occupation de l'espace et l'importance du nombre d'habitants au kilomètre carré, les parcelles non viabilisées qui servaient des lieux de dépotoirs des déchets sont devenues rares. Dès lors les populations ne trouvent plus d'espaces pour déverser leurs déchets. La conséquence directe de cette situation est la ruée de ces populations à partir de 2005 vers les bas-fonds, les plans d'eau et les anciennes carrières pour déverser les déchets (Sagbohan, 2011 ; Yêmadjè, 2009 ; Dossou, 2005).

215 grands dépotoirs sauvages ont été identifiés dans la Commune en 2012 dont 54 dans les bas-fonds et les anciennes carrières de sable. Le phénomène est très accentué dans les deux arrondissements les plus densément peuplés où près de 2/3 des dépotoirs s'y trouvent (Yêmadjè, 2013). Ces sites de décharges, n'ont fait objet d'aucune étude d'impact préalable apportent quotidiennement leurs lots de nuisances aux plans environnemental et sanitaire tels que :

- des nuisances olfactives : les déchets constitués majoritairement des putrescibles se décomposent et dégagent des odeurs pestilentielles. Aussi, les ordures ayant séjourné longtemps sur les décharges entraînent d'autres réactions chimiques telles que la fermentation anaérobie, qui produit du biogaz (Nyassogbo, 2005). L'incinération des déchets sur les dépotoirs libère aussi des odeurs nauséabondes et toxiques;
- des nuisances visuelles : l'image d'une agglomération envahie par les dépotoirs sauvages qui séjournent à ces endroits durant des mois voire des années bloquant parfois la circulation ou les circuits naturels d'évacuation des eaux pluviales (Yêmadjè, 2009). Aussi, les fumées qui se dégagent des décharges lors du brûlage des déchets des dépotoirs, les tessons de bouteilles et de la cendre envahissent les lieux d'habitation.
- la pollution des sols : les effluents issus des dépotoirs chargés des substances carbonées et minérales s'écoulent directement dans les plans d'eau ou s'infiltrent dans le sol pour contaminer ces derniers. Le sol étant le point d'intersection de plusieurs domaines : l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère, sa contamination affecte d'autres composantes de l'environnement comme la flore, les eaux souterraines et l'air (Piedrafita et Mariav, 2007).

Le problème est d'autant plus critique du fait que les dépotoirs sauvages sont souvent à proximité des concessions ou s'amplifie au niveau des anciennes carrières de sable, des bas-fonds, du lac Nokoué et des lagunes. Cet état de choses entraîne le comblement des plans d'eau et par conséquent l'inondation, la détérioration des eaux superficielles et souterraines, l'eutrophisation qui menace la vie des écosystèmes aquatiques par asphyxie (Belle, 2008). La nappe phréatique ressource principale en eau dans les arrondissements de cadre de recherche constitue le principal réservoir à

partir duquel la majorité de la population est approvisionnée en eau de boisson. Plus de 70 % de la population de la Commune d'Abomey-Calavi s'approvisionne en eau par les puits et forages des nappes souterraines (Dégbey et *al*., 2010) . La consommation d'une eau contaminée par les organismes pathogènes intestinaux, qu'ils soient bactériens, viraux ou parasites peut induire l'apparition des maladies d'origine microbienne (fièvres typhoïdes, dysenteries bacillaires, diarrhées et gastro-entérites.

Les études réalisées par l'OMS montrent que les deux tiers des habitants des pays en développement sont exposés à des risques importants pour la santé, notamment à cause du manque de système d'évacuation des ordures ménagères (OMS, 1997). La présence de déchets d'hôpitaux sur les décharges est également une source potentielle de maladies graves comme l'hépatite ou d'infections pour les récupérateurs surtout les enfants qui déambulent sur les décharges pieds nus ou peu protégés. Ces problèmes d'inefficacité dans la gestion des déchets en l'occurrence au niveau de l'élimination des déchets soulevés, nous amènent à procéder à une recherche pour évaluer les impacts des dépotoirs d'ordures sur l'environnement et la santé afin d'amener les différents acteurs à prendre conscience du problème et à trouver une solution plus efficace et durable pour la gestion des déchets dans ces arrondissements.

C'est dans cette optique que la présente thèse fonde ses préoccupations sur les questions suivantes :

- Comment se présente l'état actuel de la gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey ?
- Les éléments qui caractérisent les sites de décharges présentent-ils des risques pour les sols, les eaux superficielles et souterraines puis la santé des populations ?
- Les décharges incontrôlées contaminent-elles les sols, les eaux superficielles et souterraines puis portent-elles atteinte à la santé des populations des arrondissements d'étude ?

C'est pour apporter des éléments de réponse à ces questions que la recherche sur : **« Décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey : Impacts sur les sols, les eaux et la santé humaine »** a été ménée. Des hypothèses et objectifs sous-tendent cette recherche.

1-2- Hypothèses de travail et objectifs de recherche

1-2-1-Hypothèses de travail

Cette recherche est basée sur les hypothèses ci-après :

- La gestion actuelle des déchets solides participe en grande partie aux problèmes d'insalubrité qui règnent dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey ;
- les éléments qui caractérisent les sites de décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey constituent des sources de pollution pour les sols, les eaux superficielles et souterraines, puis de nuisances pour la santé des populations ;
- les décharges incontrôlées contaminent les sols, les eaux et portent atteinte à la santé des populations.

Pour vérifier ces hypothèses, des objectifs ont été fixés.

1-2-2-Objectifs de recherche

1-2-2-1- Objectif général

L'objectif global de la présente recherche est d'évaluer l'impact des décharges incontrôlées sur les sols, les eaux et la santé des populations des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey.

1-2-2-2- Objectifs spécifiques

De façon spécifique, il s'agit de :

- décrire l'état actuel de gestion des déchets solides et particulièrement des décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey;
- déterminer les caractéristiques des décharges incontrôlées de ces arrondissements;
- montrer l'influence des décharges incontrôlées sur la qualité des sols, des eaux et la santé des populations.

1-3- Clarification des concepts

Un terme n'a de sens que s'il est employé dans un contexte donné. Pour ce faire, il est nécesaire d'expliciter certains concepts et de les mettre dans le contexte employé dans la présente recherche afin de leur donner un sens pour une meilleure compréhension du document. Ainsi, six concepts fondamentaux ont été choisis pour être expliqués.

1-3-1- Déchet

Paru au XIVième siècle, le mot « déchet » vient étymologiquement du verbe « déchoir » et exprime une notion générale de dépréciation. L'usage courant qualifie le déchet comme un produit rejeté parce que sans possibilité reconnue d'utilisation ; déversé à la poubelle et confié à la benne à ordures, il est destiné à la disparition par ensevelissement dans une décharge ou par destruction crématoire dans une usine d'incinération. C'est une chose qui ne sert plus à rien, qui encombre. Mis au pluriel, le déchet est ainsi défini : « Débris, restes d'aliments qui sont impropres à la consommation ou à l'usage; matériaux rejetés comme n'ayant pas une valeur immédiate ou laissés comme résidus d'un processus ou d'une opération. Produits incombustibles et inutiles du métabolisme des cellules vivantes, destinés soit à être rejetés (gaz carbonique, excréta, urine, sueur …), soit, chez les végétaux surtout, à être accumulés à l'écart de la circulation générale (latex, oléorésines, alcaloïdes, etc.)».

Le dictionnaire Larousse (2010), apporte comme définition « ce qui tombe d'une matière qu'on travaille, déchet de laine. Perte, partie irrécupérable de quelque chose : cageots de fruits où il y a du déchet.

Pour Pichat, 1995, le terme déchet traduit la diminution de la valeur d'un bien, d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en un moment donné.

Selon Maystre et Viret (1995), les déchets peuvent être perçus sous l'angle économique, juridique et environnemental.

Sous l'angle économique d'après Fromageau (1993), les déchets ne doivent pas seulement être considérés inutiles mais plutôt comme une ressource potentielle. Selon Laurencie (2002), n'est déchet que ce qui n'est plus récupérable ou valorisable. Ainsi, ce que les uns considèrent comme déchets, peut servir de matières premières aux autres pour la fabrication d'autres produits voire des biens ; car les résidus des uns font le bonheur des autres. En effet, un objet considéré comme tel en un lieu et à une période donnée peut ne pas l'être sous d'autres cieux. Pour Bertolini (1996), le déchet est un produit dont la valeur d'usage et la valeur d'échange sont nulles pour son détenteur ou propriétaire.

Par rapport à la définition juridique, il est distingué une conception subjective et une conception objective de la définition. Selon la conception subjective, un bien devient un déchet lorsque son propriétaire a la volonté de s'en débarrasser. Il demeure sien tant qu'il n'a pas quitté la propriété de cette personne ou l'espace qu'elle loue. Ce bien devient une propriété de la municipalité ou d'un tiers lorsqu'il est déposé sur la voie publique ou dans une poubelle, car par cet acte son propriétaire peut avoir clairement signifié sa volonté d'en abandonner tout droit de propriété. Par rapport à la conception objective, un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de la valeur économique du bien. Ainsi, le détenteur d'un bien est soumis à la réglementation et il ne peut se décharger de ses responsabilités envers la gestion de ce déchet sous prétexte de sa valeur économique. C'est alors toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se débarraser (Tabarly, 2007).

En ce qui concerne la définition environnementale, selon le Code de l'Environnement (art. L541-1), un déchet est « 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 ». Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions.

Dans la présente recherche, le terme déchet désigne tous biens abandonnés mis à la poubelle et destinés à l'évacuation.

1-3-2- Gestion des déchets

Du latin *gestio*, le concept de gestion se réfère à l'action et à l'effet de gérer ou d'administrer.

- Gérer, c'est prendre des mesures conduisant à la réalisation d'une affaire ou d'un souhait quelconque.
- Administrer, c'est gouverner, diriger, ordonner ou organiser.

Le terme gestion concerne donc l'ensemble des procédures effectuées pour résoudre un problème ou réaliser un projet. Il désigne également la direction ou l'administration d'une entreprise ou d'une affaire.

Selon Gouhier (2005 et 2000), la gestion des déchets consiste en la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets. Habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine. La gestion des déchets va de la collecte au transport et aux différentes méthodes de gestion actuellement disponibles (Ackermann, 1997).

Dans cette recherche le mot gestion est la manière de gérer. Sur cette base la gestion des déchets est définie comme l'ensemble des mesures ou dispositifs mis en place pour résoudre le problème des déchets solides ménagers. Elle regroupe toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations.

L'accent est mis ici sur les mesures prises ou les dispositifs mis en place dans les arrondissements de Godomey et d'Abomey-Calavi pour résoudre les problèmes liés aux déchets solides ménagers.

1-3-3- Décharge

D'après le dictionnaire de l'environnement une décharge est est le lieu où s'effectue le déversement des déchets. Elle peut être une décharge brute ou controlée.

La décharge brute est une décharge publique ou privée, de déchets de toute nature dans des conditions sans aucune autorisation et aucun respect des normes de sécurité de l'environnement (Nada, 2010). Dans ce cas la décharge est dite sauvage ou finale. C'est alors une décharge incontrôlée où l'on dépose des déchets (industriels et/ou ménagers) à ciel ouvert, sur le sol, et surtout en dehors de toute règle particulière et au mépris des impacts sanitaires et environnementaux. Ce terme est également utilisé au Canada avec la définition suivante : lieu délimité où on dépose ou a déposé des déchets sans gestion adéquate du processus d'évacuation de ces détritus, sans surveillance hydrogéologique ou sans remplissage de terre progressif ou remblayage.

Par rapport à la décharge contrôlée, c'est un lieu où sont accumulés les déchets suivant certains procédés techniques qui respectent une réglementation destinée à éviter les nuissances. C'est le cas d'un centre d'enfouissement technique, conçue pour le

stockage de déchets en minimisant les risques de pollution ou contamination de l'environnement

Dans la présente recherche, elle renvoie aux tas de déchets qui sont constitués de manière spontanée par les ménages ou les structures de pré-collecte dans les arrondissements de Godomey et d'Abomey-Calavi.

1-3-4- Environnement

Le mot environnement d'origine anglaise, est un néologisme récent dans la langue française. Entre le Xème et le XVIIème siècles, il est employé pour exprimer le fait d'environner et d'entourer, de virer, de tourner, de faire le tour, de mettre autour. Il est défini à ce moment selon Le Petit Robert comme l'ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques et biologiques), culturelles et sociologiques dans lesquelles les organismes vivants se développent. Cette définition évoque le milieu et les ressources naturelles biotiques (faune, flore) et abiotiques (air, eau, sol) et leurs interactions réciproques, les aspects caractéristiques du paysage et les biens qui composent l'héritage culturel. George ajoutera volontiers en 1970 que l'environnement a un sens voisin de milieu géographique comportant à la fois le milieu naturel et le milieu humain construit par l'homme ainsi que tout ce qui affecte le comportement de l'homme. En d'autres termes, c'est la prise en considération du milieu physique dans un cadre social.

En 1972, le mot environnement fait son entrée dans le grand Larousse de la langue française. Il est défini comme « ensemble des éléments naturels ou artificiels qui conditionnent la vie de l'homme ».

Selon Dauphiné (1979), l'environnement présente trois caractéristiques principales:

- C'est un élément donné (par la nature) ;
- C'est un produit de l'homme (transformation du milieu) ;
- C'est un ensemble perçu (perception du milieu selon les différentes cultures).

En dehors de l'approche de Dauphiné, une autre approche intéressante est celle de Merlin Durand Dastès (1989), qui soutient que « l'environnement est un système, c'est-à-dire un ensemble cohérent d'éléments qui agissent et réagissent les uns sur les autres ».

Pour Makoutodé (2007), l'environnement est l'ensemble caractérisé par la biosphère, la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère. C'est tout ce qui nous entoure, qui agit sur l'homme et sur lequel l'homme agit. C'est également un système de relations où les interactions mettent en jeu constamment des équilibres et des déséquilibres potentiels.

La loi n°98-030 du 12 février 1999 portant loi cadre sur l'environnement en République du Bénin définit l'environnement comme l'ensemble des éléments naturels et artificiels ainsi que les facteurs économiques, sociaux et culturels qui influent sur les êtres vivants et que ceux-ci peuvent modifier.

La notion d'environnement a beaucoup évolué au cours des dernières décennies. L'environnement est défini comme l'ensemble des composants naturels de la planète terre comme l'eau, l'air, l'atmosphère, les végétaux, les roches, les animaux et l'ensemble des phénomènes et interactions qui s'y déroulent, c'est-à-dire comme tout ce qui entoure l'homme et ses activités.

Dans le cadre de la présente recherche, l'environnement désigne l'ensemble des composants naturels de la planète terre. Il prend en compte le sol, les eaux de surperficielles et souterraines qui subissent des impacts négatifs de la pratique de mise en décharge incontrôlée qui a des répercussions sur la santé des populations.

1-3-5- Santé

Il n'est pas aisé de définir la santé. Les définitions diffèrent selon le moment et le regard que l'on adopte. Jadis, la santé est considérée comme l'état contraire de la maladie. C'est l'état de l'organisme bon ou mauvais. S'occuper de l'accès à la santé revenait à organiser de véritables luttes contre les maladies.

Pour Lerich en 1936, « La santé, c'est la vie dans le silence des organes ».

En 1946, l'OMS a défini la santé comme un état de complet bien-être physique mental et social et qui ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité.

L'OMS fait référence à la notion de bien-être pour définir la santé. Le bien-être, selon l'OMS, peut être considéré comme la satisfaction des besoins et l'accomplissement des capacités physiques, intellectuelles et spirituelles. Ainsi, pour être en « bonne santé », les besoins fondamentaux doivent être satisfaits.

Il s'agit par exemple des besoins :

1- nutritionnels : pouvoir manger et boire en quantité suffisante ;

2- sanitaires : propreté et hygiène ;
3- éducatifs : instruction et éducation en lien avec la culture ;
4- sociaux : être en phase dans la société dans laquelle on vit ;
5- affectifs.

Etre en bonne santé, c'est également pour l'OMS « être capable d'optimiser son équilibre de vie en développant au maximum et harmonieusement toutes ses ressources ». Pour maintenir cet état tout être humain doit vivre dans un cadre de vie facilitant son épanouissement en l'absence de tout facteur perturbateur, cause de tension d'agression usant son organisme, altérant ses facultés de récupération et détruisant sa résistance.

Pour la présente recherche, la définition retenue est celle selon laquelle la santé est considérée comme l'état contraire de la maladie. C'est l'état de l'organisme bon ou mauvais.

1-3-6- Impact

L'impact est une perturbation engendrée par une action sur les composantes d'un milieu. L'impact représente les effets sur le milieu résultant d'un niveau de pollution (de l'air, de l'eau ou du sol) dépassant le niveau admissible (Poutrel et Wasserman ,1977).

Selon George (1978), l'impact est l'ensemble des changements (positifs ou négatifs) dans la santé et le bien-être des humains qui découlent d'un effet environnemental, y compris la santé des écosystèmes dont dépend la survie humaine.

Pour Bachelet (2012), l'impact est la situation finale à la suite de l'action.

Dans la présente étude, le mot impact désigne l'ensemble des modifications négatives de l'environnement et de la santé dues aux polluants contenus dans les déchets des décharges incontrôlées.

Chapitre II : Revue de littérature

La problématique de la thèse est basée sur la gestion des déchets solides ménagers et plus particulièrement les décharges incontrôlées et leurs nuisances sur l'environnement puis sur la santé des populations. Il a donc semblé important d'aborder des éléments de contexte général tels que la production des déchets ménagers, les dispositifs de gestion des déchets, avant d'approfondir les sujets relevant plus directement du travail de recherche comme les caractéristiques des décharges incontrôlées et leurs nuisances sur les sols, les eaux et la santé des populations.

2-1- Production des déchets

La production des déchets a accompagné l'homme dès son apparition sur terre et leur élimination s'est faite de façon naturelle (Aboulam, 2005). Depuis, l'expansion démographique, l'augmentation des produits de consommation, la diminution de la durée de vie des biens et des produits, ainsi que la concentration des populations et le type d'habitations ont aggravé la situation en causant un changement radical dans la qualité et la quantité des déchets (Dotreppe, 1986). Ainsi, les déchets sont devenus encombrants et qu'il fallait collecter, cacher ou enterrer (Chalmin et Gaillotchet, 2009). Selon Ziadat et Mott (2005), cette augmentation du flux des déchets solides, varie d'un continent à un autre, d'un pays à un autre, d'une ville à l'autre et au sein d'une même ville, d'un quartier à l'autre. Thonart et Diabaté (2005), abondant dans le même sens ont notifié que dans les villes des pays en développement, la production annuelle moyenne de déchets d'un habitant se situe entre 180 et 240 kg et est de 1,5 à 2,5 fois moins que dans les pays industrialisés. Selon Charnay (2005), cette production est comprise entre 1,4-1,9 kg/hab/j dans les pays industrialisés, alors qu'elle est beaucoup plus faible ; 0,21-0,90 kg/hab/j dans les pays en développement. Pour Sotamenou (2012), la production des déchets au Sud ne dépasse guère 1 kg/hbt/jour. Cet auteur justifie ce faible taux de production des déchets par le faible niveau de vie qui caractérise ces pays. Ces informations se vérifient pleinement à travers les données du Eurostat (2012) sur la production des déchets solides par habitant et par jour dans certains pays développés et en développement (Figure1).

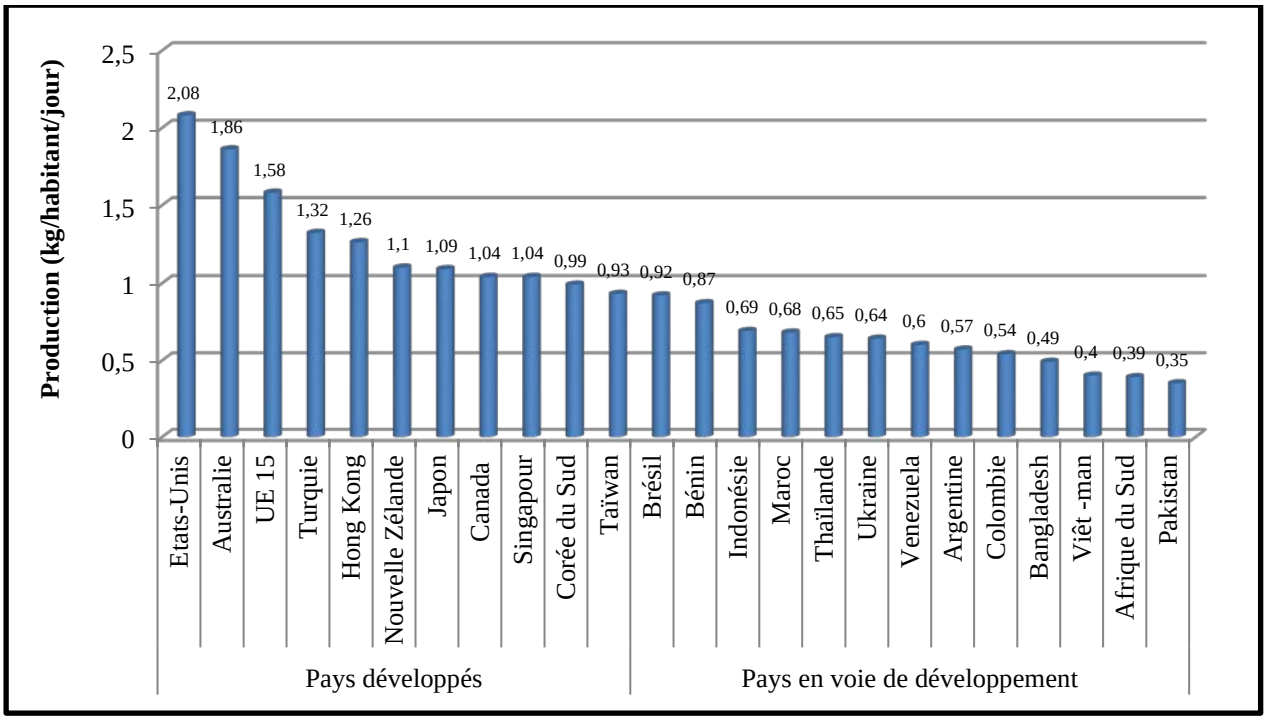

Figure 1: Production des déchets solides par kilogramme, par habitant et par jour dans quelques PD et PED

Source: *Eurostat, mars 2012.*

La figure 1 montre que plus on est riche, plus on produit de déchets. De la figure 1, il ressort que la production de déchets la plus élevée (2,08 kg/hbts/j) est réalisé par les États-Unis, suivis par ordre d'importance de l'Australie, de l'UE 15 et la Turquie, tous des pays développés. Sotamenou (2005), avait fait presque les mêmes remarques. Il a noté que les Etats-Unis sont les plus gros producteurs de déchets avec un ratio de 2,07 kg/hab/jour suivis du Canada, de la Norvège, de la Finlande, des Pays-Bas et de l'Autriche. Les pays en développement produisent peu de déchets avec en tête le Brésil pour une production de 0,92 kg/habt/jour ; contrairement aux données de Eurostat (2012) où le Brésil était en tête avec une production de 0,92 kg/habt/jour.

Pour Mezouari (2011), la production de déchets dépend essentiellement, du niveau de vie de la population, de la saison, du mode de vie des habitants, du mouvement des populations pendant la période des vacances, les fins de semaines, les jours fériés et du climat. Une étude réalisée par Chang et *al* en 1993 aux Etats-Unis ont conclu que la production des déchets est positivement corrélée avec le revenu, la richesse, l'âge et le climat.

Il est à souligner que les statistiques en matière de production de déchets dans les pays en développement notées par les auteurs sont souvent basées sur des recensements non exhaustifs de la population, l'évaluation sommaire de la quantité des déchets collectés et des estimations. Ce sont des compilations des résultats de plusieurs études. Cette situation peut s'expliquer par la méthode de gestion des déchets dans ces pays qui est basée surtout sur la collecte irrégulière et la quasi absence des sites appropriés pour le traitement. Dans le cas des arrondissements de recherche, les données sur la production des déchets sont rares et celles disponibles fournies par (COSGAC) sont basées sur des estimations. Pour le présent travail, ces données sont plus fiables car issues des résultats des campagnes de collecte, recommandées par MEDECOM dans une étude de caractérisation des déchets.

2-2- Gestion des déchets solides ménagers

La gestion des déchets est toute opération relative à la pré-collecte, à la collecte, au transport et au traitement y compris le contrôle de ces opérations (ANGed, 2012). De nombreux écrits existent sur cette thématique. D'après la littérature existante, la gestion des déchets se résume en quatre grandes phases : la pré-collecte, la collecte, le transport et le traitement.

2-2-1- Pré-collecte des déchets

La pré-collecte ou la collecte primaire est la première phase de la gestion des déchets. Elle est l'opération intermédiaire avant la collecte. C'est l'ensemble des opérations qui consiste à évacuer les ordures ménagères depuis le logement jusqu'au lieu de collecte par les structures de pré-collecte ou les ménages vers les points de stockage (Ngnikam et Tanawa, 2006). Plusieurs travaux de recherche ont signalé qu'il existe deux modes de pré-collecte: la pré-collecte par apport volontaire et la pré-collecte porte à porte.

2-2-1-1- Pré-collecte par apport volontaire

La pré-collecte par apport volontaire est le ramassage des déchets des domiciles par les habitants (la ménagère ou un des enfants de la famille) pour les déposer au niveau d'un site de transit (Abdelkader, 2012). Ce système n'existe pratiquement plus dans les pays développés. Il peut être retrouvé dans les habitations isolées plus souvent pour les matériaux recyclables qui sont convoyés vers les déchetteries pour la valorisation. Par

contre, il reste très répandu dans les villes des pays en développement (Charnay, 2005). C'est le cas par exemple de:

- l'Amérique Centrale particulièrement au Port au Prince en Haïti où les déchets ramassés dans les habitations sont évacués directement dans les bennes publiques ou sur les dépotoirs sauvages dans le cas où les bennes publiques sont éloignées des habitations ou n'existent pas (Bras, 2010). Cet auteur a noté que les bennes mises en place au lieu de servir pour la propreté de la ville, constituent encore une source de pollution du moment où les déchets sont versés à côté de ces dispositifs ;
- la Côte-d'Ivoire où la population achemine les déchets à l'aide de sacs poubelles, de sachets, de paniers, de brouettes ou de tout autre contenant vers un espace de regroupement, le plus souvent sur des terrains vagues sans protection et au milieu des résidences des populations (Bah, 2011) ;
- la République du Bénin où la majorité des populations assurent directement le transport de leurs ordures au point de stockages (brousse, bas-fonds, bennes publiques, espaces vides, au bord des rails, au bord des voies Inter-Etat, le long des plans d'eau, les lieux publics, les caniveaux) (Ali, 1995 ; CREPA, 2011 ; Gantin, 2011 ; Topanou, 2012). C'est le cas de Bembéréké où les enfants, les domestiques et les femmes transportent les déchets vers les dépotoirs sauvages en dépit de la présence de bacs de collecte (PNUD, 2011). Ali (1995) a notifié aussi qu'à Parakou, les déchets sont évacués au bord des grandes voies, le long des cours d'eau, sur les parcelles non habitées, aux alentours des jardins par les ménages ou la voirie. Cet auteur a souligné que pendant la saison pluvieuse, les ménages profitent des eaux de ruissellement qu'ils qualifient de camions poubelles pour se débarrasser des ordures. Dans la Commune d'Abomey-Calavi, une grande partie de la population pratique la pré-collecte par apport volontaire. Les ménages convoient leurs déchets vers les bas-fonds, dans la brousse, les espaces non occupés situés à proximité des habitations (Yêmadjè, 2009 ; Dossou, 2005 ; Kèkè, 2002 ; Adjahi 1994). Yêmadjè (2013) a noté que ce système est très développé dans les zones rurales et dans les zones marécageuses. Cette situation se justifie par la présence d'espaces naturels libres, des bas-fonds, la quasi absence des structures de pré-collecte et du manque des moyens

financiers. Pour Allasani (2007), c'est cette situation qui est à l'origine du non abonnement d'une bonne partie de la population, soit un taux de couverture de 32 %.

2-2-1-2- Pré-collecte porte à porte

La pré-collecte porte-à-porte qualifiée encore de domiciliaire est toute opération où un intervenant public ou privé vient au domicile de l'habitant recueillir ses déchets (Tini, 2003). Pour Abdelkader (2012), cette pratique est fréquente dans les pays industrialisés et est réalisée par des moyens lourds mais se fait dans les pays en développement essentiellement au niveau des centres administratifs et des quartiers résidentiels d'un certain standing de vie. Topanou (2012) a signalé que c'est le premier mode de collecte des déchets dans les pays industrialisés. Elle s'effectue avec les bennes tasseuses, les camions à bennes couvertes ou non, les camions multi-bennes lèves containers...) qui nécessite de gros investissements. Les déchets sont pré-collectés par des ripeurs au domicile de l'usager ou sur les pavillons et transférés vers les centres de traitement et les déchetteries selon les types de déchets. Fazz (2002) a souligné que dans certains pays en développement des engins lourds sont aussi utilisés. Il a cité des camions bennes largement utilisés dans ces pays, les camions à multi-bennes (Sénégal), les bennes compacteuses (Maroc, Sénégal). Pour Bovea et *al*, (2007), l'utilisation de ces moyens lourds est en voie de disparition dans les pays en développement. (Hounkpatin, 2009 ; Gbèdo, 2010 et Gbinlo, 2010) ont signalé que cette situation est à l'origine de l'échec de la pré-collecte porte-à-porte confiée à la voirie et aux services techniques. Ainsi, la pré-collecte porte-à-porte est prise en charge par le secteur informel : comités de quartiers, associations, micro-entreprises, etc… (Daura et Kagu, 1997 et Gbèdo, 2010). Bah, (2011) dans ses travaux de recherches a notifié qu'il existe deux types d'intervenants informels: ceux qui sont organisés (les ONG, associations des jeunes, des femmes, comités de quartiers, etc.) et qui sont payés régulièrement par les ménages puis ceux qui opèrent occasionnellement de manière individuelle. Sané, (2002) a relevé que les engins servant à la pré-collecte porte-à-porte par les structures organisées sont de taille peu modeste, et se résument à des charrettes à deux ou trois roues à traction humaine et des brouettes. Les déchets pré-collectés par les structures sont acheminés vers des sites de transfert, des sites

intermédiaires, des centres de regroupement ou des décharges sauvages autorisés ou non par la municipalité. Ces sites sont souvent sur des terrains non encore occupés, sans protection et au milieu des résidences des populations (Alouémine et *al.*, 2005).

D'après plusieurs auteurs, ces pratiques sont très développées dans les pays africains. Edoh (2007) après ses travaux axés sur les difficultés matérielles dans la gestion des ordures ménagères au Togo précisément à Lomé, a remarqué que la pré-collecte porte-à- porte est assurée par plusieurs associations ou ONGs. Le matériel le plus utilisé par ces derniers est la charrette à traction humaine. Il a également notifié qu'avec ces moyens, ces structures pré-collectent les déchets auprès des ménages à une fréquence moyenne, généralement de l'ordre de deux fois par semaine contre une taxe mensuelle fixée à 1500 F CFA par mois et par concession. Les déchets pré-collectés au niveau du lieu de production sont convoyés vers les dépotoirs intermédiaires ou la décharge finale. Pour cet auteur, ces méthodes ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients dont les responsables de gestion locale doivent avoir conscience pour choisir la solution la mieux adaptée aux conditions spécifiques de la ville. Par contre Ngnikam (2002) a signalé qu'à Yaoundé (Cameroun), la pré-collecte porte-à-porte est faite par les camions qui déversent directement les déchets sur la décharge ou dans l'usine de compostage de la ville. Ndoye (1998) a souligné que dans cette ville une contribution mensuelle de 500 F CFA est apportée par les foyers de trois personnes et 1000 F CFA pour les foyers de plus de trois personnes. A Cotonou (Bénin), les acteurs de la pré-collecte sont essentiellement des ONGs. Elles pré-collectent les déchets porte-à-porte et les transportent vers les points de regroupement désignés à cet effet. Ces ONGs offrent leur service aux ménages moyennant des frais d'abonnement mensuel dont le montant est déterminé par une grille de tarification bien étudiée en fonction de la zone d'habitation (Gantin, 2011). Cette tarification varie de 1.500 à 2.500 F CFA suivant le standing de la zone, le nombre de poubelles à enlever et le nombre de fréquences au niveau du ménage (Yaï, 2011). Par contre dans la Commune d'Abomey-Calavi, le prix d'abonnement mensuel varie entre 500 et 2.500 F CFA et peut atteindre 4.000 F CFA. Cette tarification dépend des standings, du nombre d'habitations dans chaque concession et des établissements (Yêmadjè, 2009). Le passage des charretiers a généralement lieu deux fois par semaine. Les charretiers

transportent les ordures dans des charrettes à deux ou à trois roues ou des véhicules (bâché et camion benne) et les acheminent vers les bas-fonds, les anciennes carrières de sable, le long des plans d'eau, les trous perdus et les espaces libres (Yêmadjè, 2009 ; Allassani, 2007 ; Dossou, 2005 ; Kèkè, 2002 ; et Adjahi, 1994). Selon ces auteurs cette situation qui prévaut dans cette Commune peut se justifier par l'inexistence des services de la voirie municipale et la décharge finale.

En ce qui concerne la pré-collecte porte-à-porte individuelle, beaucoup d'auteurs ont mis l'accent sur les récupérateurs ambulants. Contrairement aux structures de pré-collecte, qui ramassent tout le mélange des déchets, ces derniers font un tri et s'intéressent essentiellement aux déchets réutilisables et recyclables. Cette forme de pré-collecte est répandue dans les pays en développement. De Lavergne et Julien (2005) ont noté qu'aujourd'hui, près de 2 % de la population des pays en développement, seraient impliqués dans l'activité de récupération. D'après Koledzi (2011), cette activité est très répandue en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud. Au Phnom Pen (Cambodge) les récupérateurs ambulants parcourent de longues distances souvent plus de 10 km quotidiennement, en marchant plus 7 h par jour. Ils achètent les déchets recyclés aux foyers et les transportent dans des sacs avec un poids considérable de 15 à 35 kg pour les revendre plus cher à leur « waste dealer ». Ils sont reconnus à partir de leurs cris signalant leur présence dans le voisinage. Tini (2003) a mentionné qu'à Niamey, l'activité de récupération est exercée par deux ethnies qui sont les Haoussa et les Djerma. Les objets récupérés sont des emballages qui peuvent être conditionnés (bouteille en verre et en plastique, emballages en matières plastiques, cartons, papiers d'emballage), des produits recyclables après transformation (métaux, aluminiums, papiers, matières plastiques, caoutchoucs), des produits dégradables pouvant être transformés en compost pour amender des sols de culture. Cet auteur a précisé que cette activité alimente l'artisanat local en matière première et participe ainsi à la réduction des déchets mis en dépotoir ou en décharge (environ 7 % de la production totale quotidienne). Au Maroc, les récupérateurs travaillent pour la plupart la nuit ou tout du moins avant le passage du camion du service municipal. Les produits les plus recherchés sont: les plastiques, les cartons, le fer, le cuivre, les objets en aluminium, le verre etc (El Bari, 2012).

Au Bénin, cette activité est surtout pratiquée par les femmes appelées "Gohoto" (acheteur de bouteilles) et les hommes "Gankpogblégblé" (métal usé). Ces derniers circulent dans les quartiers de villes et villages pour acheter les déchets recyclables. Pour ce qui concerne les femmes, elles crient "gohoto" (acheteur de bouteilles) pour attirer l'attention des ménages de leur présence dans le quartier. Munies de panier sur la tête, elles passent de von en von pour acheter les bouteilles en verre et en plastique, des boîtes de canette (Topanou, 2012). Les prix varient selon la taille, la qualité, la couleur, l'état de la bouteille et de la demande sur le marché. Quant aux hommes, ils sont généralement, des Nigériens ou des Ghanéens. Avec leur pousse-pousse, ils passent dans les vons des quartiers de ville ou villages en criant "gankpogblégblé" (métal usé) pour signaler aussi aux ménages leur passage. Ils achètent les produits au kilogramme. Les produits achetés par ces derniers sont: les ferrailles, les objets en aluminium, des plastiques, des batteries usées, des fils électroniques, les vieux véhicules, les vieux engins et vélos (Gantin, 2011).

2-2-2- Collecte et transport

La collecte consiste à enlever les déchets stockés au niveau des centres de transit ou sites de regroupement ou dans les lieux d'habitation et les acheminer vers les centres de traitement ou d'élimination (Tini, 2003). Elle se fait généralement par des entreprises publiques ou privées avec des engins lourds et nécessite beaucoup d'investissements (Topanou, 2012). Dans le même ordre d'idée, Ben Ammar (2006) a noté que ces opérations absorbent une part considérable des budgets municipaux. En faisant une comparaison des frais de collecte dans les pays industriels et les pays en voie de développement, cet auteur a souligné que ceux des pays en développement sont plus élevés. Ils dépassent 70 % du total des dépenses alors qu'ils représentent 60 à 70 % dans les pays industrialisés. Cette vision est partagée par Fazz (2002) qui a notifié que c'est cette étape qui absorbe la plus grande part du budget octroyé à la gestion des déchets domestiques dans les pays en développement. Ce dernier estime entre 2/3 et 3/4 du budget. Pour cet auteur, c'est ce qui est à l'origine de la quasi-inexistence de l'étape de la collecte dans les villes de certains de ces pays. Ben Ammar (2006) a aussi évoqué cette situation. Il a mentionné que dans les pays en

développement, la collecte des déchets est rarement performante et n'est faite que dans certains quartiers privilégiés (centres commerciaux, zones touristiques, quartiers résidentiels de haut standing). Par ailleurs Charnay (2005) a souligné que cette collecte est de type classique ou traditionnel. Le tri sélectif n'est que très rarement envisagé. C'est ce type de collecte que Guerrero (2012) a qualifié de type « tout venant ». Il a fait ressortir dans ces travaux que ce type de collecte est généralisé en Amérique latine et les Caraïbes. Toguyeni (2006) a signalé aussi que dans la ville d'Abidjan, toutes les catégories de déchets pré-collectées sont déposées sans aucune distinction sur les sites de transfert. Diabagaté (2008) a souligné que le transport de ces déchets à la décharge n'est pas quotidien et la fréquence des véhicules de collecte est imprévisible dans la ville. Cette pratique est également remarquée au Cameroun précisément dans la ville de Yaoundé. Dans cette ville, tous les types de déchets sont déposés aux points de transit puis ramassés et transportés jusqu'à la décharge (Zurbrugget Ahmed, 1999). Ce système de collecte répandu dans la plupart des pays en développement est aussi pratiqué dans certaines villes du Bénin. Par exemple dans la ville de Cotonou, tous les types de déchets sont acheminés vers les points de regroupement identifiés, conçus et aménagés à cet effet. A ces lieux, les déchets sont enlevés périodiquement par les structures intervenant dans la zone qui les convoient directement vers le site de décharge de Hêvié où les déchets sont triés pour une valorisation. Mais actuellement, les déchets sont envoyés vers le Lieu d'Enfouissement Sanitaire (L.E.S) situé à Ouessè dans la Commune de Ouidah où ils sont enfouis directement (Yaï, 2011). Il a ajouté que ce travail en chaîne n'a pas permis aux responsables de la ville de venir à bout de leur combat contre la prolifération des décharges sauvages dans la ville. Tout comme la ville de Cotonou, celle de Porto-novo suit les mêmes étapes pour la collecte des déchets. Les déchets collectés aux points de regroupement sont transférés vers le Centre d'Enfouissement Technique de Takon encore non aménagé (CREPA, 2011). Dans les villes comme Djougou et Dassa-Zoumè, c'est la voirie urbaine qui assure la collecte (CREPA, 2011). Les travaux réalisés par le PNUD en 2011 ont relevé que dans la plupart des cas, notamment à Cotonou, le transport se fait dans de mauvaises conditions. Les camions sont sans couvertures adéquates et les déchets s'envolent au gré du vent sur une longue distance avec des odeurs nauséabondes.

2-2-3-Traitement ou mode d'élimination des déchets

L'élimination des déchets constitue un défi que l'humanité relève depuis des millénaires (Murray, 1995). Ainsi, dès l'an 500 avant Jésus-Christ, la cité-État d'Athènes avait décrété que les déchets devaient être transportés au-delà des murs de la ville pour y être éliminés (Sotamenou, 2005). Dès lors, tous les pays du monde utilisent une ou plusieurs pratiques pour se débarrasser de leurs déchets. Selon Nayheli (2012), le choix du mode de traitement dépend en grande mesure des moyens financiers des pays de même que la disponibilité de terres pour traiter les volumes de déchets générés. Alouémine (2006) a ajouté que ce choix dépend aussi de la nature des déchets, des conditions et ressources disponibles (matérielles et financières). Pour Charnay (2005), le choix d'un procédé de traitement dépend de plusieurs paramètres dont la composition et la production quotidienne de déchets, les installations préexistantes, le potentiel recyclable des déchets, les investissements à prévoir et les orientations politiques. Il a aussi souligné qu'aucune technique n'est universelle et applicable en toutes conditions.

Ces techniques de traitement étant diverses, la littérature a identifié les trois les plus utilisées dans le monde: la valorisation, l'incinération et la mise en décharge.

2-2-3-1- Valorisation

Le concept de valorisation des déchets est né de l'idée que l'entreprise doit considérer ses déchets comme une ressource à exploiter et non comme des rebuts dont il faut se débarrasser. Cette notion est apparue dans les années 1949 en France mais la loi n'a été votée qu'en 1992 (Pico et *al*, 2006). Selon Topanou (2012), elle offre une deuxième vie aux déchets. Elle ne concerne que la fraction « utile » du gisement qui s'apprécie par le potentiel « matière » des déchets soit le potentiel « énergétique ». Ces deux grandes familles de valorisation ont été distinguées dans la littérature.

- **Valorisation matière**

La valorisation matière est tout traitement de déchets permettant le réemploi, la réutilisation et le recyclage (ADEME, 1993).

- **Réemploi et réutilisation**

Une telle valorisation des déchets consiste à faire un tri primaire. Les objets triés sont utilisés tels quels, sans aucune transformation (de Lavergne et Julien, 2005). Selon Bernache-Pérez et *al* (2001) puis Gbèdo (2010), ces formes de valorisation nécessitent un tri manuel par les acteurs de la filière avant et pendant la collecte ou sur les décharges. Pour de Lavergne et Julien, (2005), le tri opéré dans les pays en développement n'est pas le même que celui observé dans les pays industrialisés. D'après la littérature, ces formes de valorisation sont observées à travers le monde mais ont une grande ampleur dans les pays en développement.

Par rapport au réemploi, ADEME (2012) a noté que c'est une opération par laquelle un bien usagé conçu et fabriqué pour un usage particulier est utilisé pour le même usage sans recours à des opérations autres que de la maintenance légère: nettoyage, lavage, aseptisation. Dans son ouvrage il a été donné comme exemple la consigne des bouteilles à nouveau remplies après leur nettoyage. Il est noté l'utilisation des vieux jouets et les vieilles chaussures réparés et embellis pour la vente dans les marchés d'occasion locaux (de Lavergne et Julien, 2005). Dans toutes les Communes du Bénin, les sacs et sachets plastiques sont réemployés pour effectuer d'autres achats, les bouteilles en plastique ou en verre sont nettoyées et servent à la contention des produits alimentaires (huile, sel, piment écrasé, des produits de la pharmacopée etc.); ou la commercialisation des savons liquides, des jus et bissapes de baobab… (CREPA, 2011).

En ce qui concerne la réutilisation, ADEME (2004) a précisé que c'est une forme particulière de réemploi sans recours. D'après cette même source la réutilisation est l'utilisation d'un déchet pour un usage différent de son premier emploi. Elle consiste à faire à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance. A titre d'exemple il est noté l'utilisation à Antananarivo (Madagascar) des pneus de voiture pour protéger la coque des barques, des sachets déjà utilisés et de vieux pneus pour faire des pots de fleur ou pour fabriquer des jouets pour les enfants (de Lavergne et Julien, 2005). Au Bénin, l'ONG « Qui dit mieux » réutilise les déchets plastiques souples pour fabriquer des objets tels que des sacs, des poupées, des tortues, des essuie-pieds, des tapis pour support de machine (Rapport PDM, 2002; CREPA, 2001).

Des colporteurs aussi utilisent de vieux pneus, des chambres à air pour créer des chaussures, des puisettes. Certains ménages mettent des tessons de bouteille sur les clôtures pour la sécurité de leur maison.

- **Recyclage**

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets (industriels ou ménagers) qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui composaient un produit similaire arrivé en fin de vie, ou des résidus de fabrication (Ouédraogo, 2010). Il consiste à remplacer totalement ou partiellement une matière première en réintroduisant un déchet dans le cycle de production pour fabriquer de nouveaux produits (Boulanger, 2011**).** Il a une série d'avantages : usage rationnel et préservation des ressources naturelles de la planète, économie de matières premières, économie d'énergie et diminution de la quantité des résidus à éliminer (Pico, 2006). Tevea Ote Honu, (2011), dans le même ordre d'idées a mentionné que la fabrication d'un nouvel objet à partir de matières issues du recyclage diminue les émissions de gaz à effet de serre. Dans ce même journal, il a été noté à titre d'exemple que le fait de refondre des canettes en aluminium nécessite deux fois moins d'énergie par rapport à l'extraction du minerai de base de ce métal qu'est la bauxite. De plus, il a été noté qu'une tonne d'acier permet d'économiser 1,92 tonnes de minerais de fer et une tonne de verre, 0,66 tonne de sable plus 0,1 tonne de calcaire. Boulanger (2011) a précisé que de nombreux critères sont à prendre en compte pour juger de la pertinence du recyclage. Ainsi, il a noté qu'il est important d'établir ce que l'on appelle l'écobilan avant de prétendre le recyclage de tout déchet.

Dans les pays développés, les déchets de consommation les plus couramment recyclés sont les canettes en aluminium, le fer, les boîtes de conserve, les bombes aérosols, les bouteilles en plastique PEHD et PET, les bouteilles et pots en verre, le carton, les journaux et les magazines. Les autres types de plastiques (PVC, PEBD, PP et PS) sont aussi recyclables mais peu collectés (Boulanger, 2011). Dans le journal du tri de Tevea ote honu (2001), il a été noté que les canettes en aluminium peuvent être recyclées en mobilier, en cadre de vélo, en encadrement de fenêtre ou en d'autres objets en aluminium. Les boîtes de conserve peuvent être recyclées en nouvelles boîtes de conserve pour l'alimentation animale ou transformées en objets métalliques comme de

la tôle, des tire-bouchons ou des décapsuleurs, des chariots de supermarché, etc….Les cartons peuvent notamment être recyclés en nouveaux cartons, en emballage pour des œufs, etc… Le PEHD recyclé devient des arrosoirs, du mobilier de jardin, des tuyaux, des pots de fleurs, etc…

En ce qui concerne les pays en développement, les déchets servant au recyclage sont: les boîtes de canettes, de conserves, les boîtes en plastique, les sachets, les cartons, les papiers, les vêtements, les chaussures, les bouteilles en verre, en plastiques et les objets en fer. Parmi ces matériaux, certains sont exportés et d'autres sont recyclés au niveau local. C'est le cas de l'aluminium, notamment les flacons de types spray (déodorants, insecticides, …) et les canettes qui sont utilisées par la forge et la fonderie pour fabriquer des ustensiles de cuisine au Burkina Faso dans la ville de Ziniare (Thiombiano, 2009). A Fada N'Gourma, l'aluminium est aussi utilisé dans la fabrication des ustensiles de cuisine, le fer pour créer le foyer de thé et les plastiques pour fabriquer les pavés, les tabourets et les sacs etc… (Rapport, Sandec/Eawag, 2006). A Djenné au Mali, les déchets en plastique sont transformés en briques, en pavés et en sacs (Galan, 2010). Au Bénin, l'aluminium est exploité dans la création des lampes (lampions), des foyers (crepporte) et des ustensiles de cuisine (marmites, les cuillères, les louches). Le centre AGRIPLAST de l'ONG DECAM-Bethesda recycle les plastiques durs, souples et les sachets pour fabriquer des tuyaux ou des pavés et autres objets (CREPA, 2011).

Néanmoins, il existe également le recyclage dit « organique ». Il consiste après compostage ou fermentation, à produire des composts ou engrais (compostage) ou du biogaz (méthanisation).

❖ Valorisation énergétique

La valorisation énergétique consiste à récupérer le pouvoir calorifique des déchets et à le transformer en électricité et/ou en chaleur. Cette valorisation se fait principalement par l'incinération.

▪ Incinération

L'incinération est une technique de transformation par l'action du feu. C'est l'action de détruire par le feu, de réduire en cendres. Appliquée aux déchets, elle est le mode

d'élimination des déchets par le feu. L'incinération est un traitement thermique des déchets solides par combustion avec production de gaz et de combustion chauds. Elle consiste à brûler les ordures dans un four spécialement adapté à une température d'environ 850°C en libérant de la chaleur et de la vapeur, des effluents gazeux (fumées), des mâchefers (30 %) et des cendres volantes (Kaibouchi, 2004). C'est une méthode qui permet d'utiliser le potentiel énergétique des déchets solides ou les calories contenues dans ces déchets en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour, par exemple, chauffer des immeubles ou produire de l'électricité (Louai, 2009). Pour Keller (2009), elle occupe une place importante dans la gestion des déchets. Elle permet de récupérer l'énergie de déchets dont la valorisation « matière » ne s'avère pas ou plus possible. D'après cet auteur, le processus d'incinération des déchets est continu et est souvent interrompu par des incidents. Il a présenté ce processus comme le montre la figure 2.

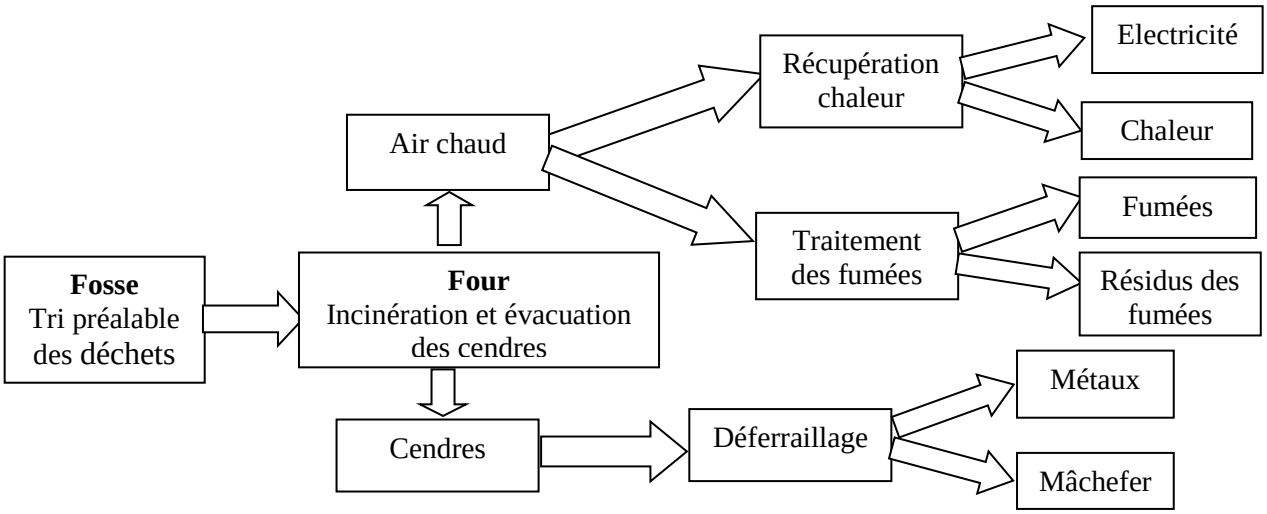

Figure 2: Schéma simplifié du processus d'incinération des déchets

Source: *Keller, 2009*

Selon Boondooa (2011), cette forme de valorisation présentée par la figure 2, permet de réduire les déchets de 90 % en volume et est une alternative à la mise en décharge et une méthode complémentaire au recyclage. Il ajoute que là où l'enfouissement des déchets engendre une pollution des sols par des métaux lourds et des émissions de gaz à effet de serre comme le méthane, leur utilisation comme combustible dans une centrale permet de les transformer en énergie avec un taux d'efficacité de plus de 60 %

voire près de 100 % en cas de cogénération (valorisation thermique et électrique combinée), avec un impact neutre en terme d'émissions de CO_2 d'origine fossile. Mais les CLIS ont noté la pollution aux dioxines (Dietmann, 2008). Elles se demandent le bénéfice exact : l'intérêt écologique à long terme face aux intérêts économiques à court terme. Pour Sotamènou (2005), l'avantage de l'incinération est de pouvoir récupérer de l'énergie, mais avec l'inconvénient de générer beaucoup de nuisances et d'être inefficace en tous points de vue, lorsque le taux d'humidité des déchets est supérieur à 40 %. Il déduit que cette situation fait que l'incinération n'est pas courante dans les pays en développement par rapport aux pays industrialisés où elle est très répandue. Il a notifié que les principaux pays impliqués dans ce type de valorisation sont : l'Allemagne, la France, la Belgique, les Pays-Bas et les pays du nord de l'Europe comme le Danemark et la Suède. Boondooa (2011) a souligné que dans ces pays, la valorisation énergétique des déchets dépasse souvent 40 % voire 50 %.

Dans les pays en développement, l'incinération est généralement le deuxième mode de traitement des déchets ménagers, après la mise en décharge. Mais le choix de l'incinération comme filière de traitement des déchets est peu retenu dans les pays du Sud à cause de la difficulté de combustion due à la nature même des déchets, de l'investissement et également des frais élevés de fonctionnement (Rand, 2000). Pour preuve, Moldes et Cendon (2007), ont évoqué les échecs de cette pratique au Nigéria et en Tanzanie. Néanmoins, il existe ce mode de traitement dans certains de ces pays mais il est souvent appliqué pour les déchets d'hôpitaux. Par ailleurs, il est rencontré dans ces pays d'autres pratiques classiques d'incinération. Il s'agit du brûlage à l'air libre des déchets. C'est un comportement assez fréquent dans les pays en développement (PNUD, 2011).

2-2-3-2- Mise en décharge

La mise en décharge désigne le dépôt de déchets sur la surface terrestre ou leur enfouissement notamment dans des décharges spécialement conçues (Matejka, 1994 et Rinke, 1999). Brula et *al* (1995) l'ont définie comme "une réinsertion" dans le milieu naturel, et ce dans les meilleures conditions possibles, des déchets qui n'ont pas fait l'objet d'autres traitements de valorisation ou d'élimination. Mettre les déchets en décharge a été la méthode de traitement la plus répandue dans le monde. Cette pratique

a été longtemps la solution de facilité, la moins coûteuse et la plus répandue pour traiter les déchets. Elle était le principal mode d'élimination des déchets en Europe (Senat, 1998). D'après cette même source cette pratique est considérée en dernier recours à partir de 1992 dans les pays européens. Par contre, dans les pays en développement, elle demeure la principale technique de traitement. Les déchets sont mis en décharge à plus de 90 % (Charnay, 2005). Plusieurs auteurs ont mis l'accent sur deux types de techniques de mise en décharge : la mise en décharge traditionnelle et celle moderne.

❖ Mise en décharge traditionnelle

Historiquement, elle a été la première destination des déchets. Cette technique consiste à déverser les ordures à même le sol ou de les enfouir dans des trous appelés fosses ménagères (Matejka, 1994 et Rinke, 1999). Elle est qualifiée de « sauvage ». Elle renvoie aux tas de déchets qui sont constitués de manière spontanée par les ménages (Bras, 2010). C'est une décharge non autorisée qui se crée en dehors de tout respect des normes de sécurité de l'environnement (Zahrani, 2006). Selon Nada (2010), la décharge traditionnelle est de loin la moins coûteuse. Elle reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays en développement. Pour preuve, Thonart (2001) a identifié 85 décharges sauvages dans treize pays en développement. D'après un audit de la banque mondiale, réalisé par Johannessen et Boyer (1999) sur 97 décharges en Afrique, en Asie et en Amérique Latine, 11,374 % bénéficient d'équipements plus ou moins corrects. Pour Aina (2006), la grande majorité des décharges en Afrique sont des décharges sauvages choisies pour des facilités d'accès. Diabaté (2010), a notifié que les dépôts sauvages prolifèrent dans les rues, le long des ruisseaux ou marigots en Côte-d'Ivoire. Diabagaté (2006) a fait la même remarque à Abobo-Baoulé. Il a noté que les ordures ménagères sont déposées sur les dépotoirs sauvages (parcelles sommairement ou pas du tout mises en valeur, rigoles et caniveaux). Par rapport au Sénégal précisément à Médina, Djigo (2005) a rapporté que les habitants creusent des trous ou déversent leurs ordures dans les maisons inondées en guise de moyens de remblai. Cette pratique est également observée au Bénin. Les populations utilisent leurs déchets pour remblayer les bas-fonds, les anciennes carrières de sable et les

rigoles creusées par les eaux de ruissellement. A cet effet, il n'est pas rare d'entendre que Cotonou est construit sur ses propres déchets, et l'évidence est qu'il continue d'en être ainsi à ce jour où l'extension de la ville se poursuit dans les bas-fonds avec pour conséquences des inondations fréquentes (PNUD, 2011). Dossou (2005), Kèkè (2002), et Adjahi (1994), dans leurs travaux de recherche ont relaté les mêmes faits dans la Commune d'Abomey-Calavi. Ils ont souligné que les ordures ménagères sont déposées sur les espaces non encore occupés, dans les caniveaux, dans les marécages, dans les rues inondées et les anciennes carrières de sable pour boucher les trous. Yêmadjè (2009) a ajouté que la méthode d'enfouissement traditionnelle est également pratiquée dans la Commune en l'occurrence dans les quartiers marécageux dans le but de remblayer leurs parcelles pour construire des maisons ou les rendre accessibles. Cet auteur a également relaté que le mode de traitement des déchets se limite essentiellement aux dépotoirs sauvages.

Pour Diabaté (2010), cette technique traditionnelle employée depuis des siècles est devenue aujourd'hui de plus en plus complexe, hétérogène plus ou moins dégradable. Elle provoque des dangers immédiats ou lointains incalculables sur l'environnement de l'homme (les pollutions, les mauvaises odeurs...) et leur santé. Il a notifié que pour ces raisons, il a été interdit depuis la fin du XXe siècle de recourir aux décharges sauvages au profit des décharges modernes qui sont mises en place dans des conditions très contrôlées afin de maîtriser leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine. Sénat (1998) confirme cette guerre aux décharges sauvages en soulignant que depuis 1992, les décharges sauvages étaient au centre de toutes les polémiques liées au traitement des déchets et la situation en dix ans s'est radicalement transformée en Europe. Dès lors, la décharge moderne est le mode de traitement adopté pour mieux gérer les déchets.

❖ Mise en décharge moderne

Les décharges modernes qualifiées encore de décharges contrôlées, rebaptisées CET (Centre d'Enfouissement Technique) ensuite CSDU (Centre de Stockage pour Déchets Ultimes) ou ISDU (Installation de Stockage des Déchets Ultimes) sont des lieux où les déchets sont accumulés sous des épaisseurs déterminées, séparés par des couches de terre (Canpam, 2007). Pour Fall (2002), les déchets y sont répandus en couches

successives sur un terrain dont les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques et l'aménagement permettent de limiter au maximum les risques de nuisance ou de pollution. Evoluant dans le même ordre d'idées, Daouda (2012) a notifié que ces centres sont installés sur des terrains imperméables ou rendus imperméables et reçoivent des déchets ménagers et des déchets industriels banals qui sont des déchets non dangereux. Boulanger (2011) a noté que ce mode de traitement est axé sur des méthodes de rétention des lixiviats telles que des couches d'argile ou des bâches plastiques. Les déchets entreposés sont compactés et recouverts pour éviter d'attirer les souris, les rats et éviter l'éparpillement. En France, il existe trois types de décharges ::

- CSDU de classe I qui accueillent des déchets industriels dangereux. La plupart de ces déchets doivent subir une stabilisation avant enfouissement.
- CSDU de classe II qui accueillent des déchets ménagers et assimilés (déchets non dangereux). On les qualifie de ISDND: Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux;
- CSDU de classe III qui accueillent des déchets inertes du bâtiment ou des travaux.

Ce mode de traitement est utilisé dans la gestion des déchets dans les pays industrialisés depuis la mise en vigueur de la loi de 1992 (Sénat, 1998). Par contre dans les pays en développement, elle est destinée à toutes les catégories de déchets sans distinction aucune. Aussi, dans ces pays surtout en Afrique, il existe peu de véritables décharges contrôlées. Les quelques-unes qui existent souffrent de plusieurs maux (Fall, 2002). Selon Aina (2006), ces décharges ne sont pas des solutions pour l'environnement. Elles ne respectent pas les réglementations d'installation d'une décharge moderne. Les déchets ne subissent pas un pré-traitement. Ils sont enfouis sans distinction aucune et ouverts aux récupérateurs. Aussi, parfois elles ne répondent pas aux réalités des pays et par conséquent sont mal gérées.

Parmi ces modes de traitement, l'accent est mis sur la décharge traditionnelle pour la suite de la synthèse bibliographique. Cette dernière partie va prendre en compte les caractéristiques des décharges incontrôlées et leurs nuisances sur les plans environnemental et sanitaire.

2-3- Caractéristiques des décharges incontrôlées

2-3-1- Fonctionnement d'une décharge

Les décharges incontrôlées ont des entrants : les déchets et les eaux (eaux de pluie et / ou eaux usées domestiques) et des sortants : le lixiviat et le biogaz. Mais, la particularité de ces derniers est que les entrants et les sortants ne sont pas maîtrisés (Wastesum, 2010*)*. Pour Matejka (1994) et Rinke (1999), ces décharges contiennent d'énormes masses de déchets en constante évolution qui sont susceptibles de déséquilibrer le milieu naturel. Pohland (1996) a notifié que ces décharges fonctionnent comme de gigantesques bioréacteurs dans lesquels des réactions biologiques et chimiques ont lieu simultanément. Ces auteurs expliquent les différentes réactions en signalant que :

- les matières biodégradables mises en décharge font l'objet d'une évolution biologique sous l'action des bactéries aérobies puis des bactéries anaérobies;
- en l'absence de dispositions particulières, l'eau s'écoule à travers la masse des déchets, produits des lixiviats en se chargeant de substances chimiques ou biologiques;
- des réactions chimiques ou physiques conduisent à la destruction partielle de la matière et à la solubilisation de certaines espèces ou à leur transformation en gaz.

2-3-2-Caractéristiques des déchets entrants

La connaissance du gisement des déchets est un élément clé de la politique de gestion des déchets. Cette connaissance est indispensable au renforcement des actions de prévention comme à la mise en place des équipements de traitement nécessaires à une extraction toujours plus poussée de la part valorisable des déchets (ADEME, 2005). Brunner et Ernst (1986) ont souligné que la caractérisation des déchets n'est pas universelle du fait qu'elle dépend de l'objectif de l'étude et des moyens disponibles pour sa réalisation. Ils ont suggéré une caractérisation suivant des paramètres divisés en trois groupes : matériaux (papier, verre, métaux, etc.); paramètres physiques, chimiques ou biologiques (masse volumique, teneur en eau, biodégradabilité et la composition élémentaire (carbone, mercure, etc.). Ces auteurs ont notifié que la détermination de tous ces paramètres n'est pas toujours nécessaire. Ils ont noté qu'il

est suffisant d'analyser un seul groupe spécifique pour répondre à une question donnée sur la gestion des déchets. Ngnikam et *al.*, (1997) ont identifié quatre paramètres essentiels : la densité, le degré d'humidité, le pouvoir calorifique, le rapport des teneurs en carbone et azote (C/N).

2-3-2-1- Tri par taille des déchets

Les études réalisées sur des déchets utilisent la répartition granulométrique comme caractéristique du déchet. Cependant, cette séparation par la taille est souvent réalisée avant toute autre analyse ; ce qui permet de séparer les fractions spécifiques (François, 2004). C'est un indicateur majeur de l'état de dégradation du déchet. Suivant l'objectif de l'étude, différentes granulométries sont considérées pour le tri par taille des déchets. (Von Blottnitz et *al.*, 2001) ont utilisé quatre granulométries distinctes: grosse (>100 mm), moyennes (< 100 et > 20 mm), fines (< 20 et > 8 mm) et extra fines (< 8 mm souvent du sable). Toutefois, certaines études définissent les grosses par une taille comprise entre 100 mm et 300 mm (ADEME, 2005 b) et recommandent un tri visuel des hétéroclites (> 300 mm). D'autres granulométries ont été utilisées dans certaines études comme les diamètres de 40 et 80 mm (François, 2004). Il est parfois opportun de déterminer cette caractéristique des déchets particulièrement quand il est envisagé d'installer des séparateurs mécaniques ou d'optimiser la séparation magnétique des déchets ferreux basés sur la connaissance des tailles des composants (Project SWA-Tool, 2004).

2-3-2-2- Composition des déchets

La gestion efficace des déchets ne peut s'inscrire dans une vision durable que par la composition des déchets permettant d'optimiser le mode de gestion et de promouvoir éventuellement la création de filières de valorisation de la matière. Ceci contribue non seulement à la salubrité de l'environnement mais aussi peut jouer un rôle significatif dans la lutte contre la pauvreté grâce à la récupération des différents matériaux et à leur vente par les récupérateurs particulièrement dans les PED (Aye, 2006 ; Zaïri et *al*, 2004). Selon ADEME (2005), la connaissance de la composition des déchets est essentielle afin d'apprécier les possibilités de valorisation, de prévoir la capacité des installations, les impacts sur l'environnement et d'anticiper sur les difficultés futures.

Cette agence a identifié treize principales catégories de déchets. Elle les a répartie selon les fractions suivantes : putrescibles, papiers, cartons, textiles, textiles sanitaires, plastiques, combustibles non classés, incombustibles non classés, verre, métaux, composite et des fines. Cependant, pour des objectifs spécifiques visés par la caractérisation, certains auteurs se limitent à quelques unes de ces catégories. Ainsi, Buenrostro et Bocco (2003) ont donné la composition des déchets suivant sept (7) catégories, Mohee, (2002) en a défini huit alors que Thogersen (1999) s'est intéressé à l'étude de deux catégories de déchets : les fermentescibles issus des refus de cuisine et les emballages. D'après Mohee (2002), la composition des déchets varie d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre et même d'un quartier à l'autre.

2-3-2-3- Densité

La densité met en évidence la relation qui existe entre la masse des ordures et le volume qu'elle occupe. Sa connaissance est d'une grande importance pour le choix des moyens de collecte et de stockage. Dans la littérature, elle est aussi désignée par la masse volumique. Pour Koledzi (2011) l'origine de cette équivalence est du fait qu'en anglais le mot mass-density, qui désigne la masse volumique, est souvent réduit à density. Loudjani (2009) a souligné que la densité ou la masse volumique n'a un sens que si on définit les conditions dans lesquelles on la détermine. Ainsi, cet auteur a mentionné qu'on peut avoir une densité en poubelle, en benne, en décharge, en fosse, etc. Il a noté que dans les villes algériennes, la densité en poubelle varie entre 0,22 - 0,30, en benne entre 0,45 - 0,55 et en décharge entre 0,28 - 0,32. Selon Charnay (2005), la valeur de la masse volumique peut varier en fonction des pays. Dans les pays industrialisés, elle oscille entre 100 et 200 kg/m^3 et est de 130 à 500 kg/m^3 dans les pays en développement. Par rapport à la densité, CREPA (2006) a signalé qu'elle est comprise entre 0,17 et 0,1 dans les pays en développement et est fortement supérieure à celle des déchets des pays industrialisés de l'ordre de 0,1. Pour cet auteur, plusieurs facteurs expliquent cet état de choses. Il a évoqué entre autres:

- la grande proportion de matières organiques fermentescibles et par conséquent de la faible part des emballages (papiers, plastiques, etc.) ;
- l'importante teneur en eau des déchets et l'effet des pluies ;

- une proportion élevée de sable, de cendres résultant de la cuisson des aliments et/ou du chauffage, ainsi que de cailloux et graviers en raison des voies non recouvertes.

Plusieurs auteurs ont obtenu des valeurs différentes de densité ou de la masse volumique selon les pays structurés par leur étude. Le tableau I présente la variabilité de la masse volumique dans quelques pays.

2-3-2-4- Humidité

L'humidité est un paramètre déterminant pour fixer les conditions d'exploitation d'une décharge (Aina, 2006), le taux de dégradation d'un déchet ou les modes de traitement des déchets (Gachet, 2005). Elle oriente souvent les choix de valorisation des déchets, tels que le compostage, la méthanisation ou l'incinération (Topanou, 2012). Loudjani (2009) a précisé que les ordures ménagères renferment une quantité d'eau qui est celle contenue dans leurs composants, de sorte que la teneur en eau globale varie essentiellement en fonction des proportions respectives de ces composants, des saisons, des latitudes, de l'origine géographique et sociale des populations. Ben Ammar (2006) a mentionné que l'humidité des ordures dans les pays industrialisés oscille entre 25 et 35 % ; par contre dans les pays en développement, elle est souvent très élevée et est de l'ordre de 60 à 80 %. Il justifie cet état de choses par l'importance de la fraction organique putrescible qui compose les déchets de ces pays. Pour Loudjani (2009), la variation de ces taux d'humidité dépend aussi des conditions de stockage. Il a relaté que l'humidité des ordures fraîches et stockées à l'abri des intempéries varie entre 35 et 40 % en Europe, avec un maximum en été et un minimum en hiver (60 et 62 %). Pour les grandes villes Algériennes, il a noté une variation entre 65 et 70 % et plus de 70 % pour les pays tropicaux. Pour les ordures non protégées, exposées aux intempéries, il a signalé que l'humidité peut atteindre des valeurs extrêmes. Le taux d'humidité des déchets peut chuter à moins de 10 %. Ce phénomène est surtout observé dans les régions désertiques. Il s'observe aussi dans certains pays où l'activité de récupération est développée. C'est le cas de Nouakchott en Mauritanie où le taux d'humidité est de 11 % (Aloueimine et *al*, 2005).

Quelques taux d'humidité trouvés dans divers pays sont présentés dans le tableau I.

2-3-2-5- Pouvoir calorifique inférieur

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des ordures ménagères est la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids d'ordures brutes. En règle générale, plus la teneur en eau est élevée, plus le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) est faible (Ben Ammar, 2006). Les principaux constituants dont l'apport dans le pouvoir calorifique inférieur est déterminant sont les plastiques, le cuir, le caoutchouc, les textiles, le bois, le papier et le carton avec un apport de 30, 21, 18, 13 et 9 % respectivement (Kolezdi, 2011). C'est un paramètre essentiel pour définir l'habilitation des déchets au traitement par incinération. Sa valeur diminue avec l'augmentation de la teneur en eau dans les déchets (Aloueimine et *al*, 2005). Pour Ngnikam (2002) sans apport extérieur d'énergie, les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un pouvoir calorifique inférieur à 1200 kcal/kg. Loudjani, (2009) a souligné que pour un PCI inférieur à 1500 Kcal/Kg, l'incinération n'est pas recommandée. D'après Alouémine (2006), c'est ce qui fait que l'option d'incinération des déchets n'est pas souvent le choix le plus adapté (techniquement et économiquement) pour le traitement dans la majorité des PED, où le PCI est en moyenne de l'ordre de 1000 kcal/kg contrairement aux pays industrialisés où sa valeur est élevée. D'après Cointreau-Levine (1997), les valeurs des PCI des PI se situent dans la gamme de1500-2700 kcal/kg. Cependant, dans de rares cas, le PCI peut atteindre 1600 voire plus de 2700 kcal/kg dans les PED (Georgieva et Varma, 1999 ; Abu-Qudais, 1997 ; Abu-Qdais, 2000 ; Aloueimine et *al.*, 2005). En Mauritanie à Nouakchott, Aloueimine a trouvé en 2006 un PCI élevé qui équivaut à 2652 kcal/kg largement supérieur à la moyenne dans les PI. Il a justifié cette valeur élevée de PCI par la faible humidité (11 %) et un taux relativement important des plastiques (20 %). Le tableau I donne quelques valeurs de PCI des déchets dans quelques pays.

Tableau I: Masse volumique, humidité et PCI des déchets solides ménagers dans quelques pays

Pays	Auteurs	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	Humidité (%)	PCI < (kcal/kg)
Ile Maurice	Mohee,2002	-	48	4498
Maroc	Charnay,2005 et Wicker,2000	350	60-70	1000
Tanzanie	Mbulgwe et Kassenga, 2004	390	31	-
Mauritanie	Aloueimine et al. 2005-b	410	11	2652
Burkina Faso	Folléa et al,2001	-	40-60	-
Chine	Wei et al 2000	-	60-80	-
Liban	El fadel et al.2002	-	60-75	-
PED	Cointreau-levine, 1997	250-500	40-80	800-1100
PI		100-170	20-30	1500-2700

Source: *Alouémine, 2006 et Topanou, 2012.*

2-3-2-6- Rapport des teneurs en carbone et azote

Le rapport C/N a été choisi comme critère de qualité des produits obtenus par le compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets. Ce paramètre mesure la qualité des ordures ménagères pour leur valorisation en tant qu'amendements organiques. Il permet d'apprécier aussi l'aptitude des ordures ménagères au compostage que la qualité du compost obtenu (Loudjani, 2009). D'après Topanou (2012) ce rapport varie suivant le standing. Il a signalé que la différence est essentiellement due à la teneur en azote Kjeldahl significativement différente selon le standing.

2-3-3- Caractéristiques des sortants: Lixiviat

2-3-3-1- Lixiviat : genèse et composition

Les lixiviats du centre de stockage, appelés "jus de décharges" résultent de la percolation, au travers du massif de déchets, de l'eau contenue dans les déchets et celle apportée par les précipitations (Renou et *al*., 2008). Il y a aussi la présence des eaux de ruissellement qui entrent dans les alvéoles de stockage (Trabelsi, 2012; Thonard,

2002). Au niveau des dépotoirs sauvages, ces eaux peuvent être aussi des eaux usées domestiques surtout les eaux de vaisselle, de lessive et de cuisine (Yêmadjè, 2009). Ces eaux qui percolent dans les déchets favorisent la biodégradation des matières organiques fermentescibles et produisent alors des lixiviats qui se chargent des substances organiques et/ou minérales provenant des déchets ou des sous-produits. D'après plusieurs auteurs la compréhension de la genèse des lixiviats implique non seulement la connaissance de la nature des déchets enfouis et le mode d'exploitation du centre de stockage des déchets (hauteur des déchets, surface exploitée, compactage…), mais aussi l'étude des interactions entre l'eau et les déchets. Pour (Trabelsi, 2012; Renou et *al.*, 2008; Aina, 2006), les mécanismes de la genèse des lixiviats sont de natures biologique et physico-chimique et sont très complexes. Ces auteurs ont mentionné que les déchets enfouis servent de substrats aux micro-organismes hétérotrophes (bactéries, levures, champignons) responsables de la dégradation de la fraction organique fermentescible. Les effets de cette activité microbiologique peuvent être multiples, directs ou indirects et déclencher des phénomènes physico-chimiques secondaires. Il en résulte alors une modification des conditions du milieu (pH, température, potentiel d'oxydoréduction). (Trabelsi, 2012 ; Renou et *al.*, 2008) ont souligné que suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats sont à distinguer: les lixiviats jeunes (< 5 ans), les lixiviats intermédiaires (5 à 10 ans) et les lixiviats stabilisés (> 10 ans). La gamme de la composition des lixiviats d'ordures ménagères est très large et parfois contradictoire à long terme. C'est la conclusion à laquelle sont parvenus plusieurs auteurs en étudiant plusieurs sites (Daouda, 2012 ; Frascari et *al*, 2004 ; Christensen et *al.*, 2001). En effet, les lixiviats d'une vieille décharge sont donc globalement moins chargés que ceux d'une jeune décharge mais plus difficiles à traiter. Hormis l'évolution dans le temps, la composition des lixiviats dépend évidemment de la nature des déchets enfouis, de la présence ou l'absence de la matière organique fermentescible, des variations climatiques saisonnières (humidité, évapotranspiration, précipitation …), conjuguées au mode d'exploitation du site (Renou et *al.*, 2008). Ces auteurs ont aussi souligné qu'au cours des nombreuses études menées sur la caractérisation des lixiviats des centres de stockage, plus de 200 familles de composés organiques ont pu être

identifiées. Dans la littérature, d'autres auteurs ont relevé des types de polluants classiques. Ces polluants sont entre autres: la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biologique en Oxygène (DBO5), le Carbone Organique Total (COT), la matière azotée et phosphorée (azote organique, NH4+, NO^{3-}, NO^{2}-, phosphore total, $PO4^{3}$-), la conductivité, les métaux lourds (Fe, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Hg, Ag), le pH sert à ces types de polluants, les micropolluants organiques (hydrocarbures, phénols, pesticides et solvants), les AGV et les organismes pathogènes (coliformes totaux) (Rodriguez et *al.*, 2000 ; Lagier et *al.*, 2001 ; François, 2004 ; Renou et *al.*, 2008). Pour Lagier (2000), certains de ces paramètres sont communs à tous les lixiviats quel que soit le stade de dégradation (concentration élevée en chlorure, sodium, potassium et forte alcalinité); tandis que d'autres dépendent de l'évolution de la bioactivité de la décharge et sont généralement très élevés pendant les premières phases (matière organique, azote organique, Ca^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}).

2-3-3-2- Biogaz : origine et composition

Le biogaz est un gaz combustible, mélange de gaz carbonique et de méthane additionné de quelques autres composants (Rigaud et *al.*, 2008). D'après ces auteurs, le biogaz peut être produit dans tous les endroits où sont stockés et accumulés les déchets fermentescibles (centres de stockage des déchets et des digesteurs à fermentation de déchets organiques) totalement ou partiellement privés d'aération continue. Le processus de sa production est naturel et il est observé par exemple dans les marais (gaz de marais) et dans les centres d'enfouissement des déchets municipaux. Mais il peut être aussi provoqué artificiellement dans des enceintes appelées "digesteurs" où l'on introduit à la fois les déchets organiques solides ou liquides et les cultures bactériennes. Tchouate et *al.*, (2003), ont signalé que la décomposition des matières organiques sur ces lieux s'opère en quatre principales étapes sous l'action de bactéries spécifiques. Il s'agit de :

- l'hydrolyse par laquelle les macromolécules qui constituent la matière organique se décomposent en petites molécules solubles, à l'origine du jus de fermentation : par exemple, la cellulose est transformée en sucres solubles tels que le glucose ou le cellobiose ;

- l’acidogenèse: les molécules simples (monomères) sont transformées sous l’effet des bactéries en acides de faible poids moléculaire (acide lactique et acides gras volatils) et des alcools tels que l’éthanol. Du bicarbonate et de l’hydrogène moléculaire sont produits,
- l’acétogenèse : C’est ici qu’interviennent des bactéries réductrices acétogènes et des bactéries sulfato-réductrices pour transformer certains produits issus des phases précédentes (acides gras volatils et alcools) en H_2, CO_2 et acétate. En présence de sulfate, l’hydrogène sulfuré (H_2S) est aussi généré lors de cette étape de transformation;
- la méthanogène : dernière phase au cours de laquelle l’acétate (CH_3COO-), l’hydrogène et le bicarbonate (HCO^{3-}) sont convertis en méthane par des micro-organismes méthanogènes. Cette dernière est l'étape durant laquelle le biogaz est produit. **(**RECORD, 2009) a notifié que le biogaz qui est généré contient principalement du méthane combustible (CH_4), du gaz carbonique inerte (CO_2) et en moindre proportion des quantités variables d'eau, d'azote, d'hydrogène sulfuré (H_2S), d'oxygène, d'aromatiques, de composés organo-halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds. Il ressort aussi de cette source que la qualité d’un biogaz est directement influencée par les paramètres liés à sa production (nature, composition et degré de compactage des déchets, taux d’humidité, température, pH, …). Selon CSE (1993), le biogaz contient aussi d'autres produits intermédiaires de fermentation (alcools, acides, esters) générés par la dégradation de la matière organique. Cette source a fait ressortir aussi que la proportion des deux principaux gaz qui composent le biogaz dépend de la nature du substrat, et précisément de la proportion Carbone-Hydrogène-Oxygène-Azote (CHON)). Ainsi, un substrat riche en C et H produit une forte proportion de méthane, jusqu'à 90 % et un substrat moyennement riche, comme la cellulose, produit un biogaz contenant typiquement 55 % de méthane et 45 % de gaz carbonique. Pour APESA (2009), les éléments composant le biogaz varient en fonction des sources de production et peuvent dépendre aussi du procédé de production de la nature et de la quantité de matières résiduelles enfouies, des conditions atmosphériques et les caractéristiques propres aux lieux de stockage (topographie, hydrogéologie, etc.).

Quelques exemples de compositions pour les cas les plus classiques ont été indiqués dans le tableau II.

Tableau II: Composition du biogaz selon ses origines

Composants	Décharge d'ordures ménagères (MO 80%) production naturelle sans aspiration	Décharge d'ordures ménagères (MO 80%) production forcée avec aspiration	Décharge d'ordures ménagères (50%) production forcée avec aspiration	Ordures ménagères triées (en digesteur)
CH_4 % vol	50 - 58	30- 55	25 - 45	50 - 60
CO_2 % vol	25 - 34	22 - 33	14 - 29	38 - 34
N_2 % vol	18 – 2	26 - 6	49 - 17	5 - 0
O_2 % vol	1- 0	8 - 2	8 - 5	1 - 0
H_2O % vol	4 (à 30°C)	4 (à 30°C)	4 (à 30°C)	6 (à 30°C)
Total % vol	100	100	100	100
H_2S mg/m^3	20 - 50	5 - 20	100 - 900	100 - 900
NH_3 mg/m^3	-	-	-	-
Aromatiques mg/m^3	2	1	0 - 200	0 - 200
Organochlorés ou organofluorés mg/m^3	0 – 100	0 - 100	100 - 800	100 - 800

Source : *ADEME, 2005*

Il ressort de la littérature que les éléments sortant des décharges (le biogaz et le lixiviat) sont composés essentiellement des polluants qui sont des sources de pollution de l'environnement et par conséquent de la santé.

2-3-4-Impact des décharges incontrôlées sur l'environnement

2-3-4-1- Effets du lixiviat sur l'environnement

Les décharges sauvages n'étant pas suivies ni contrôlées et ne disposant pas d'infrastructures garantissant la maîtrise des émissions liquides (lixiviats) produits dans la masse des déchets, il s'ensuit une migration des lixiviats vers les cours d'eau et les sols (Gachet, 2005). Pour cet auteur, ces lixiviats sont chargés généralement de matières polluantes (sels inorganique, métaux lourds, etc.) et à chaque destination, ces matières contaminent les eaux superficielles et souterraines, les sols puis s'attaquent aussi à la faune et à la flore qui s'y trouvent. Pour Kehila (2006), le rejet direct des lixiviats constitue un grand risque sur toutes les composantes du milieu naturel, par la charge organique polluante et par les teneurs importantes en métaux lourds qui dépassent les normes de rejet. Selon et Alouémine *al.* (2005), la pollution de type

organique et azoté peut continuer 30 à 50 ans après la clôture d'un site de stockage. Pour Wastesum (2010), de nombreux contaminants (notamment les métaux lourds) sont piégés dans les sols sous les décharges, ce qui risque de nouvelles contaminations de l'environnement à long terme. Tchobanoglous et *al*., (1994) ont noté que l'écoulement des lixiviats peut provoquer une augmentation de la charge organique et par conséquent une diminution de l'oxygène dissous, donnant lieu à la mort des organismes vivants. Pour cet auteur, les lixiviats doivent être traités comme des substances extrêmement dangereuses. Dans une étude sur les dépotoirs, la santé des enfants et l'environnement organisée par le PNUD en 2011, cette influence des lixiviats sur l'environnement a été notée. Les résultats issus des travaux de recherche ont montré que les concentrations moyennes des métaux lourds dans les sols sont élevées au niveau des sites de décharge qu'au niveau des zones environnant ces décharges et du secteur résidentiel péri-urbain. Selon cette source, cette remarque est un indicateur clair que le dépotoir est une source de pollution des sols. Chofqi et *al.* (2004), ont relevé une pollution organique et métallique des puits situés au sein, à proximité et en aval de la décharge d'El Jadida au Maroc et qui a tendance à s'étaler dans le sens de l'écoulement de la nappe phréatique. Méhdi (2007) a noté une forte dégradation des eaux souterraines situées près de la décharge publique de la ville de Tiaret en Algérie. A Hêvié dans la Commune d'Abomey-calavi, Kehila et *al.* (2007) ont remarqué aussi que les puits plus proches de la décharge ont un fort taux en plomb et en cadmium alors que les puits plus éloignés ne contiennent que du cadmium en quantité plus faible.

2-3-4-2- Contamination de l'environnement par les gaz de la décharge

Globalement, les risques liés au biogaz sont des risques de pollution de l'atmosphère. Le rejet de ces gaz dans l'atmosphère représente de sérieux risques : explosion, incendie, effet de serre et odeur nauséabonde (Prévot, 2000). Pour cet auteur, le méthane et le gaz carbonique sont les deux composants du biogaz qui, en gagnant les hautes couches atmosphériques, contribuent substantiellement à l'augmentation de l'effet de serre. D'après Johannessen et Boyer (1999), les émissions du méthane dans l'atmosphère produites par les CSD représenteraient de 2 à 4 % des GES émis et son impact sur le réchauffement global persisterait au-delà d'un siècle. Selon Gendebien et

al. (1992), le méthane est responsable à lui seul de 20 % de l'augmentation de température lors des 10 dernières années. Abdel Warith (2004) estime que les émissions des gaz provenant des déchets sont de 24 à 27 % des émissions totales des gaz à effet de serre respectivement au Canada et en Egypte. Wastesum (2010), a souligné que le brûlage spontané incontrôlé ou délibéré des déchets solides (notamment de certains types de matières plastiques) libère des fumées et des polluants gazeux dans l'air. La fumée contient généralement des particules, le monoxyde de carbone et d'autres gaz polluants, y compris de faibles niveaux de dioxines qui sont destructeurs de la couche d'ozone. Les gaz majeurs provenant d'une décharge sont des gaz à effet de serre (PGPE, 2006).

Outre ces formes de pollution, il existe d'autres formes de pollutions provenant des décharges ayant un impact environnemental souvent moindre que le biogaz et les lixiviats, facilement discernables.

2-3-4-3- Autres impacts liés aux décharges sur l'environnement

D'après la littérature, ces impacts sont entre autres:

- les impacts visuels: l'entassement des ordures ménagères provoque des encombrements, occasionne des embouteillages au niveau de la circulation et contribue à l'obstruction des voies de drainage des eaux pluviales et usées couplée avec les fumées dégagées par les tas d'ordures brûlés (Tini, 2003). (Tchobanoglous et *al*., 1994 et PGPE, 2006) ont noté aussi l'écoulement non contrôlé des lixiviats, la présence des animaux errants (insectes, oiseaux et rongeurs) et des agents pathogènes qui détériorent l'esthétique de l'environnement des sites ;
- les impacts olfactifs: ces impacts sont l'émanation des odeurs pestilentielles des tas d'ordures entassés et brûlés, des lixiviats et du biogaz non captés par un réseau de dégazage (PGPE, 2006).

2-3-5- Impact des décharges sur la santé humaine

Les problèmes de disposition des résidus ont été observés dès que les êtres humains se sont concentrés en communauté, et l'accumulation des résidus était une conséquence de la vie quotidienne. Les risques des décharges sur la santé notifiés par la plupart des auteurs sont la propagation de maladies. Pour les différents auteurs, les voies

d’infection sont nombreuses et peuvent être par contact direct avec les déchets, par des polluants, des agents pathogènes ou les vecteurs de transmission.

2-3-5-1- Risques sanitaires par contact direct

Plusieurs auteurs ont signalé que la présence des objets piquants ou tranchants tels que les objets métalliques, les tessons de verre et les déchets hospitaliers (aiguilles à sutures ou à injection, seringues jetables munies d’aiguilles non démontables, aiguilles à ailettes, lames de bistouri, verres cassés, cathéters, ampoules vides) sur les décharges sont source de maladies graves. Dans une étude réalisée par PGPE en 2006, il a été révélé que la présence de déchets hospitaliers dans les déchets ménagers constitue une source de maladies (hépatite ou les infections graves) pour les chiffonniers qui déambulent sur les décharges trop peu protégées. Pour Nyassa (2011), les ordures regorgent de débris de verre et de métaux qui blessent le plus souvent les enfants qui s’amusent sur les décharges. Hounkpatin et Kotin (2009) ont noté que ces enfants peuvent contracter le tétanos, le sida et d’énormes risques d’infections en jouant avec les morceaux de métaux rouillés, des lames et ciseaux usagés que l'on retrouve parfois pêle-mêle sur les dépotoirs. Les enquêtes menées par Cointreau-Levine (1997) confirment cette tendance et mettent en évidence le lien direct entre des maladies observées et l’activité des collecteurs/recycleurs de déchets. A Katmandu, l’enquête menée par cet auteur auprès des récupérateurs, a révélé une augmentation de certaines maladies par rapport à leur état avant la pratique de ce travail. La recrudescence de certaines d’entre elles a fait que le taux d’infection s’est vu multiplier par quatre (Cointreau-Levine, 1997) comme l’indique la figure 3.

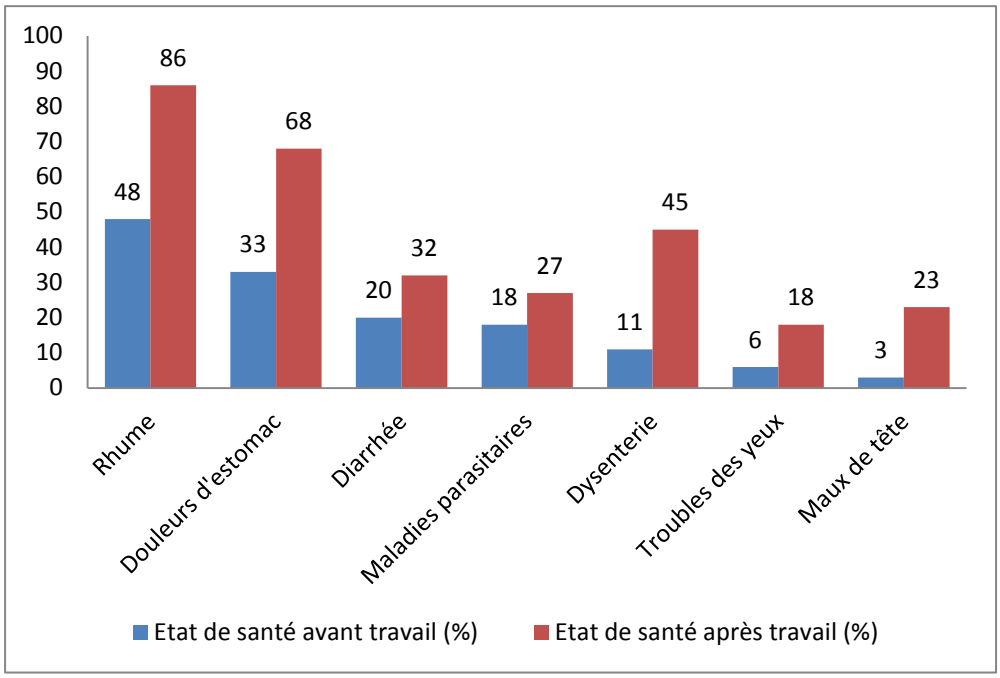

Figure 3 : Evolution des maladies chez les récupérateurs à Katmandu

Source: *Alouémine, 2006.*

2-3-5-2- Risques sanitaires par les vecteurs de transmission

Pour Hebette (1996), même si du point de vue sanitaire l'importance de déchets solides comme cause directe de maladies n'est pas toujours bien prouvée, ces déchets ont toutefois indirectement un rôle dans leur transmission. Il a notifié que les dépôts sauvages constituent des milieux favorables à la multiplication des vecteurs de transmission tels que les arthropodes (mouches, moustiques) et les rongeurs qui peuvent être porteurs de typhus, de salmonellose et de l'histoplasmose. Cet auteur à souligné également que ces dépôts sauvages sont source de la prolifération de germes responsables des maladies et infections de tout genre. Abordant dans le même ordre d'idées, Birley (1999) a mis l'accent sur le rôle joué par les mouches dans la transmission des infections intestinales, notamment celles responsables des diarrhées surtout infantiles et des dysenteries. Hounkpatin et Kottin (2009) ont évoqué la maladie du sommeil transmise par les mouches et le paludisme causé par les moustiques.

2-3-5-3- Risques sanitaires liés au biogaz

De nombreuses études ont mis en évidence l'impact lié au biogaz sur la santé des populations vivant à proximité d'une décharge. Ces auteurs ont mis l'accent sur les composants du biogaz et leurs impacts sur la santé humaine. Ainsi, plusieurs composants du biogaz sont reconnus comme toxiques même à de très faibles concentrations d'exposition comme agents cancérigènes (Santé Canada, 1996). Sur le site de Voelia (2013), il a été mentionné que le sulfure d'hydrogène (H_2S), molécule très odorante à faible concentration, est l'un des composés les plus toxiques du biogaz. Lorsque l'homme y est exposé par inhalation à forte dose sur une courte période, sa toxicité est aiguë. Les symptômes se manifestent principalement par une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires pouvant entraîner conjonctivite, rhume, maux de tête et nausées. Les effets d'une exposition chronique peuvent se manifester au niveau de différents organes tels que le système nerveux (maux de tête, fatigue, insomnie), les yeux (irritation oculaire), ou le système digestif (nausées, douleurs abdominales). Elliot (2001) a aussi noté que les odeurs provenant des composés sulfurés peuvent occasionner divers risques à la santé (nausées, douleurs épigastriques, irritations des muqueuses, troubles cardiaques, nerveux, respiratoires, absence de motivation, colères plus fréquentes et du manque de l'appétit). Selon Hakizimana (2005), les fortes odeurs entraînent même à des seuils infra toxiques, des réactions inflammatoires (nez, gorge, yeux…), des exacerbations d'affection préexistante (asthme), des maladies liées au stress (les maux de tête, la nausée, les vomissements, les diarrhées, l'irritation des yeux, la toux, et le rhume des foins), un effet physiologique (atteinte du rythme cardiaque et de l'activité cérébrale) et un effet psychologique (mauvaise humeur, émotion, baisse de l'activité intellectuelle). Goulet et *al.*, (1995) ayant mené une étude sur le site de stockage de déchets solides de Miron Quarry à Montréal au Canada ont noté que le méthane et d'autres gaz que génère le site, y compris des composés organiques volatils constituent un risque élevé de cancers de l'estomac, des voies biliaires, de la trachée, des bronches, et des poumons chez les hommes qui vivent le plus près du site. Chez les femmes, ils ont observé un taux élevé de cancers de l'estomac et de cancer de l'utérus. Ils ont également relevé que dans une zone particulièrement exposée aux gaz de la décharge, le taux de cancers de la prostate était

élevé. Wastesum (2010) a souligné que ces gaz sont à l'origine des problèmes respiratoires, des vertiges et des maux de tête dans le court terme, ainsi que des plus graves maladies comme les cancers et les maladies cardiaques à long terme. Les Docteurs Guendéhou et Agodokpessi, cités par Ahotondji, 2009, ont précisé qu'en ce qui concerne le cas particulier du brûlage des sacs plastiques, ils peuvent être à l'origine des problèmes de stérilité, du cancer de la peau, de la gorge et des poumons provoqués par des gaz provenant de ce mode de traitement des déchets.

2-3-5-4- Risques liés aux lixiviats

La plupart des études ont rapporté les risques entre l'exposition des humains aux principaux contaminants retrouvés dans le lixiviat. Ainsi, PGPE (2006) a signalé que les lixiviats de la décharge sont chargés bactériologiquement et surtout chimiquement de substances tant minérales qu'organiques. Pour cet auteur, ces substances peuvent se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituent un élément de pollution pour les réserves d'eau potable qui peuvent à leur tour provoquer des épidémies. D'après Gareau (2001), les principaux risques liés à la santé sont spécifiques à chaque contaminant du lixiviat. La littérature a mis en relief l'exposition aux substances inorganiques dont la majorité des métaux, aux substances organiques et aux microorganismes.

Par rapport aux composés inorganiques, AECOM (2010) a souligné que parmi ces composés retrouvés dans les lixiviats, ce sont les métaux lourds qui retiennent l'attention en raison de leur potentiel de toxicité. Il a mentionné que bien que ces substances soient généralement présentes à de faibles concentrations à l'exception du fer et du manganèse, certaines peuvent présenter un danger si elles s'infiltrent au niveau d'une source d'approvisionnement en eau potable. ATSDR (2012a) a souligné que les effets du cadmium sur l'organisme peuvent différer en fonction de la concentration des composés insolubles présents dans les doses d'expositions. Il a noté que chez l'humain, les symptômes couramment rencontrés lors d'une ingestion de fortes concentrations de cadmium sont des brûlures d'estomac; des nausées, des vomissements, des crampes abdominales et la diarrhée. Plusieurs composés de cadmium ont un potentiel cancérigène (IARC, 2013). Quand au plomb, il survient généralement à la suite d'une exposition chronique. Les symptômes constatés sont le

vomissement, la diarrhée, les convulsions (Santé Canada, 2010b). En ce qui concerne le nickel, une inhalation de fortes teneurs en nickel peut déclencher une inflammation dans les poumons (ATSDR, 2005a).

Du côté des substances organiques libérées dans l'environnement par le lixiviat, particulièrement les composés organiques volatils, les risques sur la santé sont très sérieux si les humains y sont exposés pendant de longues années. Selon la littérature scientifique, diverses d'entre elles peuvent causer des effets irréversibles sur les systèmes reproducteur, respiratoire, nerveux, immunitaire, rénal et digestif (Santé Canada, 1996).

Par rapport aux microorganismes, Carrier et Duclos (1993) ont noté qu'il existe dans le lixiviat une variété de microorganismes pathogènes en raison de la nature des matières résiduelles enfouies (mouchoirs en papier, couches, résidus de nourriture) et de la présence de vermine. Selon ces auteurs, les bactéries et virus susceptibles d'être retrouvés sont les *salmonelles*, les *shigelloses*, *Escherichia coli*, polyvirus, virus de l'hépatite A, etc…. L'ingestion ou le contact avec une eau contaminée par ces microorganismes pathogènes sont susceptibles d'engendrer des problèmes de santé tels que la diarrhée, la céphalée, des crampes abdominales et des nausées (Levallois, 1995; Bolduc, 1998).

A travers cette recherche bibliographique, il est à retenir qu'il existe une revue de littérature bien fournie sur la gestion des déchets, des décharges et leurs impacts sur l'environnement et la santé des populations dans les pays développés. Mais dans les pays en développement, elle porte essentiellement sur la gestion des déchets. L'aspect sur les caractéristiques des déchets, des décharges et leurs impacts sur l'environnement et la santé des populations est très peu étudié. Dans le cas du Bénin particulièrement dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, hormis DECAM-Bethesda qui a réalisé en 2008 des études sur la production des déchets et Topanou en 2012 sur la caractérisation des déchets à la source dans la ville d'Abomey-Calavi, aucune donnée consistante n'existe sur cet aspect. Par conséquent, les données sur les décharges manquent. Alors, cette recherche vaut la peine d'être réalisée afin de compléter les données des études antérieures et d'apporter d'amples informations sur

les caractéristiques des déchets à la source et des décharges incontrôlées puis leurs effets sur l'environnement et la santé humaine.

Conclusion partielle

La première partie consacrée au cadre théorique a permis de faire ressortir les problèmes liés aux déchets et surtout ceux de la mise en décharge traditionnelle à travers le monde et en partculier dans les pays en développement. A travers la synthèse bibliographique, il est à retenir que les problèmes liés aux déchets se trouvent surtout au niveau de la quantité de déchets produits qui agumente de façon exponentielle, les différentes pollutions favorisées par la mauvaise gestion des déchets au niveau de la pré-collecte, la collecte, le transport et le traitement dans les conditions compatibles aux normes de la santé publique et de la protection de l'environnement. Dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey en plein essor démographique, la quasi totalité des déchets pré-collectés par les structures de pré-collecte et les ménages est évacuée sur les dépotoirs sauvages qui séjournent des années. Cette pratique constitue des sources de pollution environnementale et sanitaire.

Il serait alors intéressant de comprendre les fondements physiques et humains liés au dyfonctionnement de la gestion des déchets dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. Aussi, serait-il important d'adopter une méthodologie de recherche appropriée afin de mieux connaître la problématique de la gestion des déchets solides ménagers dans ces arrondissements pour une meilleure organisation. C'est l'objet de la deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE :

Cadres biophysique, humain et Méthodologie de recherche

Introduction partielle

Dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, le problème de la gestion des déchets solides ménagers est avant tout une contrainte à laquelle sont confrontées les collectivités locales. Cette contrainte s'observe surtout au niveau de la quantité de déchets à pré-collecter, à transporter, à évacuer et où les évacuer. La mise en décharge traditionnelle étant le seul moyen de traitement des déchets adopté dans ces arrondissements, les dépotoirs sauvages sont créés un peu partout dans les quartiers de villes et villages et à proximité des lieux d'habitation. Cette pratique ne reste pas sans effet sur l'environnement et la santé de la population près des sites de décharges. Plusieurs facteurs expliquent cet état de choses. Au nombre de ces facteurs, il y a essentiellement les facteurs naturels, humains et organisationnels. Dans une pareille circonstance, il nous paraît opportun dans la deuxième partie de cette recherche d'exposer les facteurs favorisant la prolifération des sites de décharges dans les arrondissements de recherche et leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine. Pour mettre en évidence l'influence des sites de décharges sur l'environnement et la santé de la population avoisinante, une recherche a été réalisée. Pour mener à bien cette recherche, un certain nombre de matériels et méthodes sont mis en place afin d'atteindre les objectifs fixés.

Cette partie est subdivisée en deux chapitres:

- le chapitre III qui présente le cadre de recherche
- le chapitre IV qui expose notamment les outils et les techniques de collecte des données utilisées, le traitement des données et l'analyse des résultats

Chapitre III: Cadre de recherche

Pour mieux cernner le cadre de recharcher, il est abordé dans le présent chapitre la situation géographique du milieu de recherche, les éléments biophysiques et humains puis ceux organisationnels qui prennent en compte les facteurs administratifs.

3-1- Situation géographique

La Commune d'Abomey-Calavi est située au sud du Bénin dans le département de l'Atlantique et est comprise entre 6°10' et 6°22' de latitude nord puis 2°15' et 2°22' de longitude est. Elle est à 4 km de Cotonou et s'étend sur une superficie de 539 km² avec une densité de 571 hbts/km². C'est la Commune la plus vaste du département de l'Atlantique dont elle occupe plus de 20 %. Elle est limitée au nord par la Commune de Zê, au sud par l'océan Atlantique, à l'est par les Communes de Cotonou (Département du Littoral) et de Sô-Ava et à l'ouest par celles de Ouidah et de Tori-Bossito. Elle compte neuf (09) arrondissements: Abomey-Calavi, Akassato, Godomey, Glo-Djigbé, Hêvié, Kpanroun, Ouèdo, Togba, et Zinvié. Cette recherche concerne spécifiquement les deux arrondissements urbains que sont Abomey-Calavi et Godomey (Figure 4).



Figure 4a: Commune d'Abomey-Calavi dans le Département de l'Atlantique

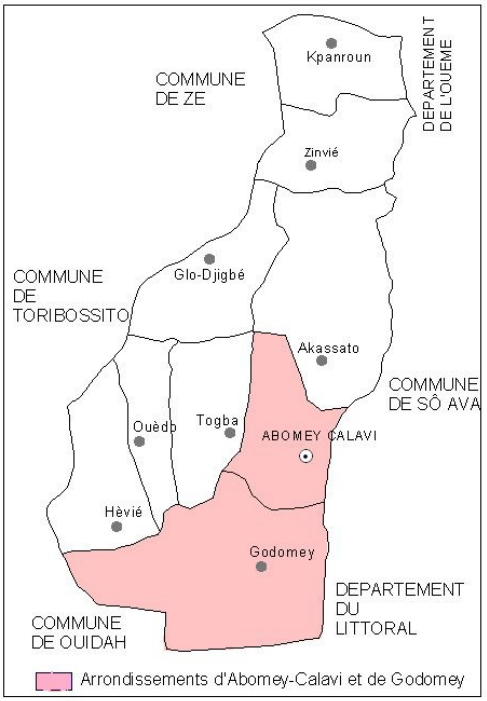

Figure 4b: Arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey dans la Commune d'Abomey-Calavi

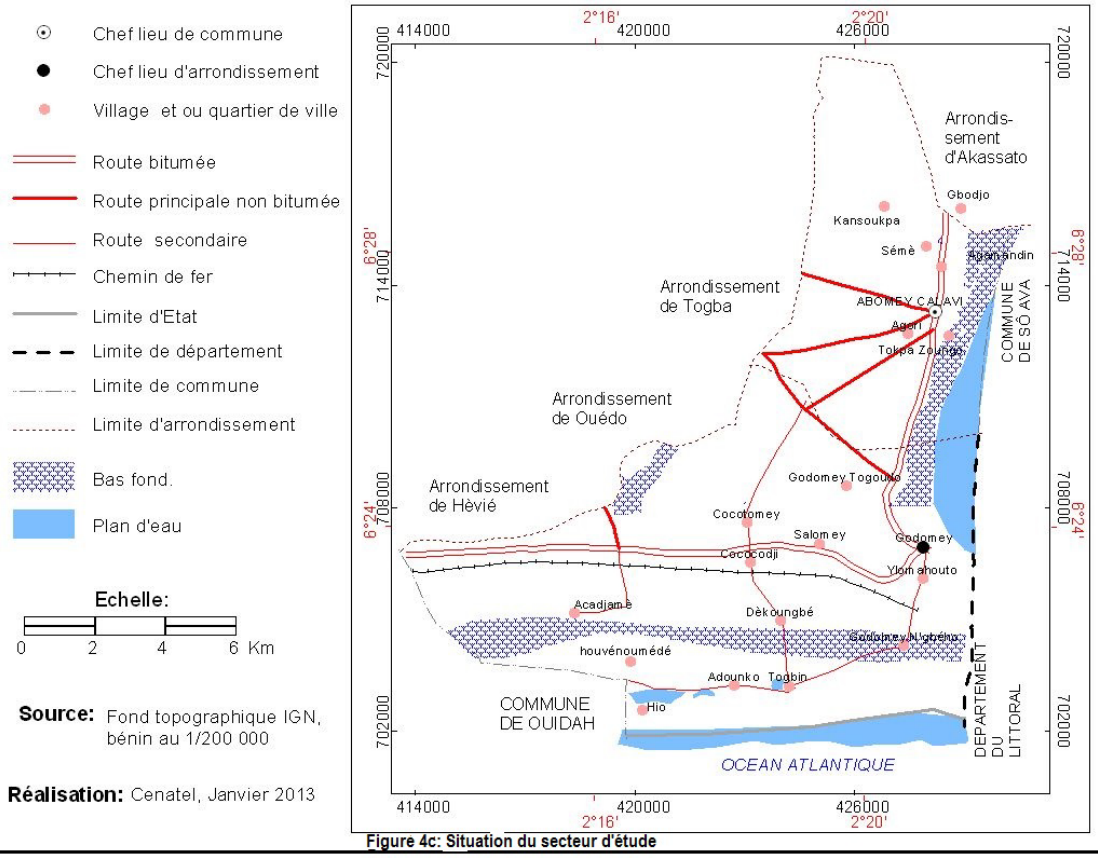

Figure 4c: Situation du secteur d'étude

Figure 4 : Situation géographique des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

De la figure 4, il est observé que l'arrondissement d'Abomey-Calavi est limité par les arrondissements de Godomey au sud, d'Akassato au nord, de Togba à l'ouest et la Commune lacustre de Sô-Ava puis le lac Nokoué à l'est. Il compte six quartiers à savoir: Agamadin, Agori, Gbodjo, Kansoukpa, Sèmè et Tokpa-Zoungo. Cet arrondissement couvre une superficie de 208,75 km² avec une densité de 294,4 hbts/km² en 2002 (Dossou, 2005). Par rapport à l'arrondissement de Godomey, il est limité au nord par les arrondissements d'Abomey-Calavi, de Togba, de Ouèdo et de Hêvié, au sud par l'océan Atlantique, à l'est par la Commune de Cotonou et le lac Nokoué et à l'ouest par la Commune de Ouidah. Cet arrondissement est composé de 9 quartiers à savoir : Cococodji, Cocotomey, Dèkoungbé, Godomey-N'Ghèho, Houalacomey, Salamey, Togbin, Godomey Togoudo, Ylomahouto. Il couvre une superficie de 150,44 km² avec une densité de 1.020 hbts/km² en 2002 (PCUG3C, 2010). Ces deux arrondissements occupent une superficie de 359,19 km^2 sur un total de 539 km^2 soit 66,64 % de la superficie de la Commune. Cet immense espace dont disposent ces arrondissements constitue une opportunité pour les populations dans la pratique de la mise en décharge traditionnelle. Ceci est à l'origine de la présence des dépotoirs sauvages qu'on rencontre un peu partout dans la Commune.

3-2- Cadre biophysique

3-2-1- Conditions géomorphologiques

La Commune d'Abomey-Calavi fait partie du bassin sédimentaire côtier de la République du Bénin. Sa topographie présente deux unités morphologiques: la plaine côtière et le plateau de terre de barre (Figure 5).

3-2-1-1- Plaine côtière

Peu étendue de largeur moyenne de 4 Km, la plaine côtière borde l'atlantique (Boko et Adam, 1993). C'est une plaine basse (0 à 5 m d'altitude) insensiblement inclinée vers le sud (pente moyenne 0,1%) (Sagbohan, 2011). Elle s'étend de Togbin à Cocotomey et abrite une multitude de cordons littoraux séparés par des marais ou des lagunes. Ces cordons peuvent être regroupés en deux types: le cordon récent plus proche du rivage formé du sable d'âge holocène déposé par la dérive littorale et le cordon ancien plus au nord jusqu'à la lagune de Djonou au pied du plateau composé de dépôts de sable jaune

du quaternaire (Boton, 1994). La plus grande partie de l'arrondissement de Godomey (excepté Togoudo) est du domaine de la plaine côtière faite d'une succession de cordons littoraux anciens et récents jalonnés par des marais surtout dans les quartiers ou villages de Togbin, Dèkoungbé et Cococodji. Mais, il existe des marécages et des zones inondables dont les altitudes peuvent descendre jusqu'à 0,5 m. Les points les plus élevés (14 m) sont situés au nord (Togoudo) sur une petite bande du continental terminal (Kakaï, 2008). Les pentes assez faibles ne permettent pas un bon drainage des eaux de pluie, ce qui favorise l'inondation d'une grande partie de l'arrondissement.

3-2-1-2- Plateau de terre de barre

Au contact de la plaine se trouve le plateau de terre de barre qui constitue un morceau du vaste plateau d'Allada (ou plus loin encore d'Abomey) séparé du littoral par la lagune Djonou. Couvrant la majeure partie de la Commune et d'altitude variant entre 10-40 m avec des talus de pentes faibles variant entre 0,1 et 3 %, le plateau de terre de barre s'incline de façon générale vers la vallée de l'Ouémé à l'est puis vers l'océan atlantique au sud (Boton et Ajahi, 1994). Ce relief de plateau est fait des sols très inondables et parsemé de cuvettes. Il est entaillé ça et là par des vallées encaissées qui sont orientées de NS ou WE. Située au sud-est du plateau d'Allada, la ville d'Abomey-Calavi s'étire vers la zone de plateau dont l'altitude monte jusqu'à 30 m. De l'est à l'ouest, elle s'étend de la rive droite du lac Nokoué, autrement dit de la plaine côtière de faible altitude (0 à 5 m), vers le sommet du plateau (Kakai, 2008). La topographie de la ville connaît de ce fait, une allure caractérisée par une double pente: l'une vers l'est plus précisément vers le lac Nokoué qui délimite la ville, et l'autre vers le sud limitée par la lagune de Djonou, une des lagunes anciennes du sud Bénin. Au nord de cette lagune, s'élève un plateau dont l'altitude varie entre 11et 30 m, incliné NS-WE, parsemé des dépressions fermées de bassins compris entre 5 et 88 ha (Dossou, 2005). Parmi les dépressions, celle de Bakanmè se présente comme un vallon qui entaille le plateau presque parallèlement à la Route Nationale Inter-Etats N°2 qui communique avec la lagune de Djonou. Ces dépressions fermées ou cuvettes dispersées ne facilitent pas la collecte des déchets dans certains quartiers.

En dehors des dépressions fermées, la ville d'Abomey-Calavi est traversée sur toute sa longueur par un escarpement orienté SE-NW. Il occupe une bande de 400 à 500 m de

large, sur environ une longueur approximative de 6 km. C'est un faciès qui se présente sous forme d'une corniche reliée au lac Nokoué au sud par une plaine inondable (Sagbohan, 2011).

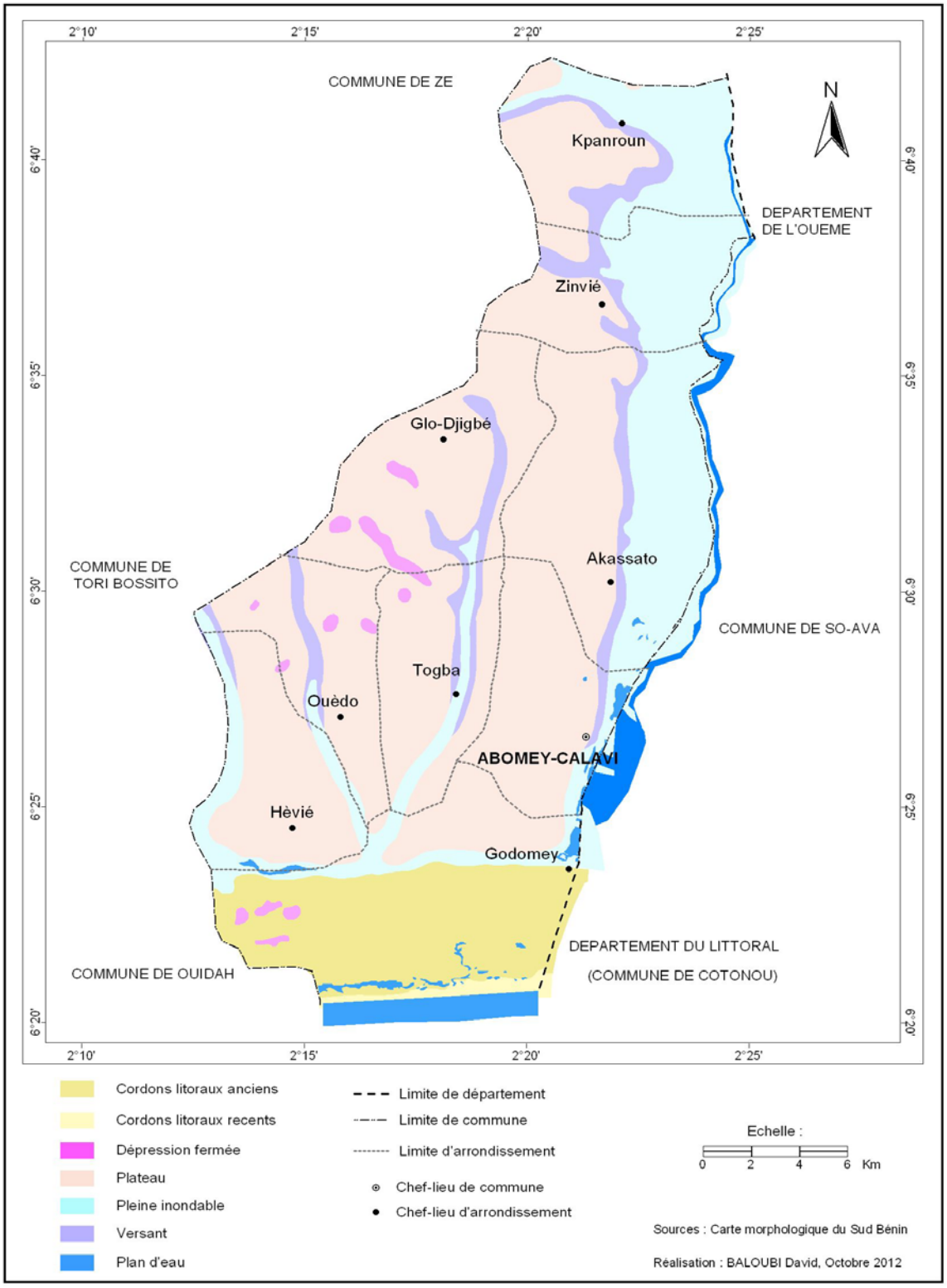

Figure 5: Unités géomorphologiques de la Commune d'Abomey-Calavi

De la figure 5, il est noté que les deux arrondissements présentent des reliefs très peu accidentés. Cette platitude du relief est un atout pour l'installation humaine et les activités socio-économiques. Ceci a pour conséquence la coissance démographique et a pour corollaire l'augmentation de la quantité de déchets produits et qui conduit à la multiplication des décharges incontrôlées dans la Commune. Ces décharges pour la plupart sont localisées dans les dépressions, les marécages et les bas-fonds (Yêmadjè, 2009). Cette situation est l'une des causes des inondations devenues récurrentes. Aussi, les pentes fortes et le sens d'orientation des vallées facilitent-ils pendant la saison pluvieuse le transport des déchets par les eaux de ruissellement soit vers le littoral ou vers le lac Nokoué. Lors du transport, certains déchets échouent au niveau des ravins, ce qui fait que les rues sont jonchées de déchets après les pluies créant ainsi l'insalubrité dans les quartiers (Sagbohan, 2011).

3-2-2- climat

3-2-2-1- Précipitation

La Commune d'Abomey-Calavi fait partie du grand ensemble du sud Bénin dominé par le climat béninien de type subéquatorial. Il est marqué par quatre saisons dont deux pluvieuses et deux sèches (Figure 6).

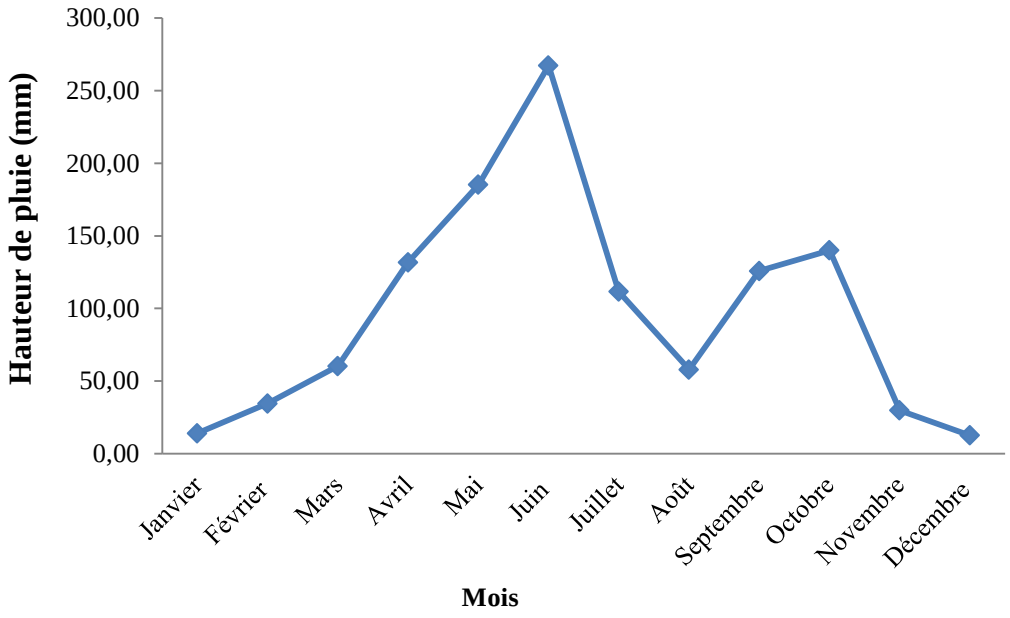

Figure 6 : Régime pluviométrique du secteur de recherche de 1984 à 2014

Source : *CeRPA / ASECNA, Juillet 2015*

De la figure 6, il est noté que les saisons dans la Commune sur la période de 1984 à 2014 sont réparties de la manière suivante:

- une grande saison de pluies de Mai à juillet avec le mois de juin particulièrement pluvieux concentrant près de 50 % des totaux pluviométriques annuels;
- une petite saison sèche dans le mis d'août où il est observé une chute des totaux pluviométriques
- une petite saison de pluies de septembre à octobre où il est noté une agmentation des précipitations.
- une grande saison sèche de novembre à Avril où il est observé une chute des hauteurs des pluies.

Par rapport au régime pluviométrique, il est bimodal et les pluies sont concentrées sur les mois de juin et octobre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1171,25 mm. Dans l'ensemble, la hauteur anuelle des pluies varie entre 689,19 et 1749,1 mm. Les quantités annuelles élevées des eaux pluviales surtout pendant le mois de juin constituent un facteur déterminant du ruissellement qui participe à l'éparpiellement des tas de déchets un peu partout surtout au niveau des zones de dépression (KEKE, 2002).

3-2-2-2- Températures

Les températures mensuelles moyennes des années 1984 à 2014 du secteur de la Commune d'Abomey-Calavi sont présentées comme l'indique la figure 7.

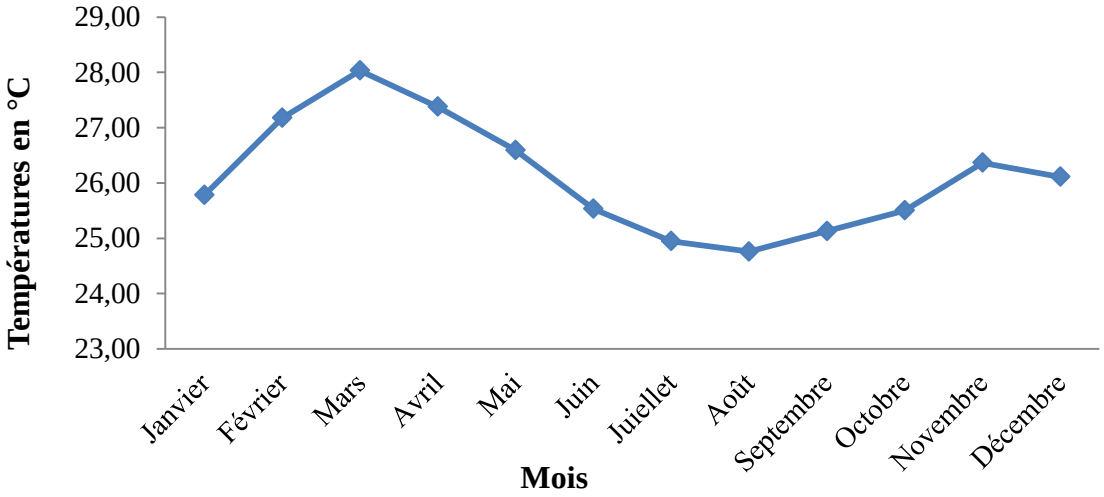

Figure 7 : Evolution mensuelle de la température de 1984 à 2014

Source : *ASECNA, Juiellet 2015*

De la figure 7, il est observé que la moyenne des températures mensuelles oscille entre 24,76 °C et 28,03 °C. Les températures sont dans l'ensemble assez élevées avec une moyenne annuelle qui oscille autour de 26,11 °C. Les mois de Février, Mars et Avril détiennent le record de la chaleur tandis que les mois de Juillet et Août sont les périodes de froid. Les températures élevées favorisent la décomposition rapide des déchets et l'éclosion des œufs des moustiques et par conséquent la multiplication rapide des moustiques, vecteurs du paludisme (Biaou, 1993).

3-2-2-3- Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très élevée dans la Commune d'Abomey-Calavi. Sur la période 1984 -2014, l'humidité relative la plus importante est observée dans le mois de juiellet avec un taux de 82,90 % et celle la plus faible est observée dans le mois Janvier avec un taux de 71,66 % comme l'indique la figure 8.

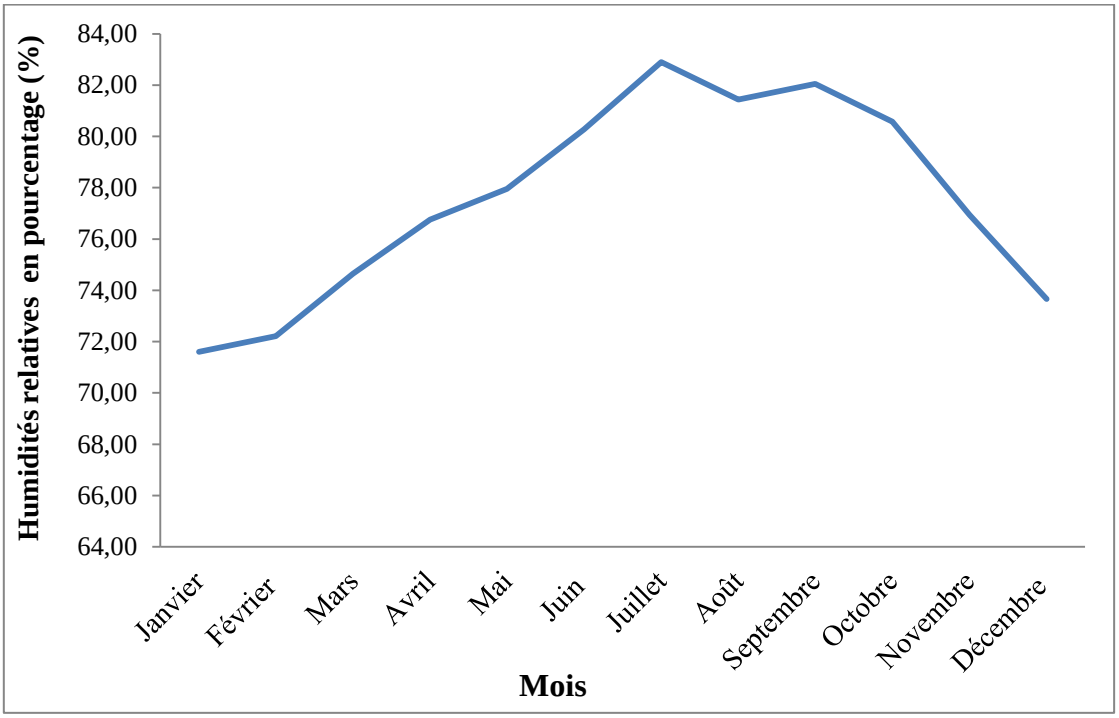

Figure 10 : Evolution des moyennes mensuelles de l'humidité relative sur la période 1984-2014

Source : *ASECNA, Juiellet 2015*

De la figure 8, il ressort que la moyenne mensuelle des humidités relatives sur cette période est de 77,59%. L'action combinée et permanente de la pluviométrie (1171,25 mm) qui est un facteur déterminant du ruissellement, de la chaleur (entre 24,76°C et

28,03 °C), de l'humidité (77,59 %), sur les décharges incontrôlées provoque une décomposition rapide des déchets qui dégagent des odeurs nauséabondes et pestilentielles dans l'atmosphère (Zahrani, 2006), attire les mouches et les rongeurs (rats, souris, cafards, chiens...) et favorise l'éclosion des œufs des moustiques source de recrudescence du paludisme (Biaou, 1993). Par rapport au ruissellement, l'eau lessive les dépotoirs et transporte les déchets des zones les plus élevées vers les bas-fonds, le lac Nokoué et les lagunes. Les lixiviats et les déchets qui sont laissés au cours du transport ou qui sont parvenus à atterrir dans les plans d'eau contaminent les eaux superficielles, le sol et la nappe phréatique par les différents polluants qu'ils contiennent et par voie de conséquence influent sur la santé des populations.

Le bilan climatique de la commune d'Abomey-Calavi.sur la période de 1984-2013 montre les mois réellement humides (Figure 9).

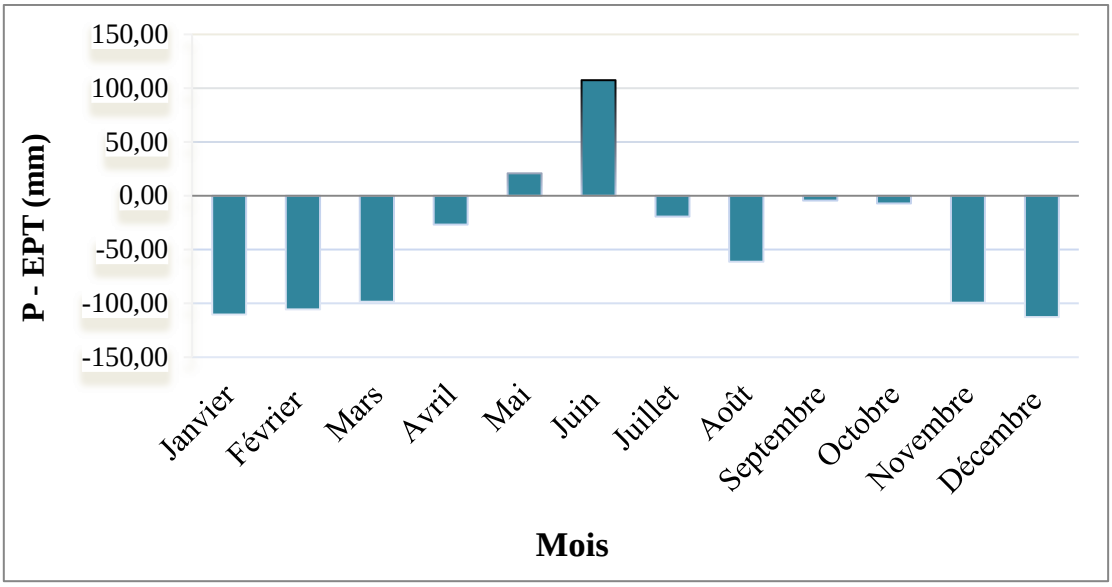

Figure 9 : Variation du bilan climatique sur la période 1984-2013

Source : *ASECNA, Juiellet 2015*

De l'oservation de la figure 9, il est à noter que seuls les mois de mai, juin sont les plus humides en l'occurrence le mois de juin. Le phénomène de décomposition des déchets seratit plus prononcé pendant ces mois. En conséquence l'environnement et la santé des populations sont plus affectés du fait des odeurs nauséabondes, de la production du lixiviat et du biogaz.

3-2-2-4- Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué du lac Nokouè, alimenté par le bras du delta de l'Ouémé qui borde la partie Est de la Commune, des lagunes Djonou et Ahouangan au Nord de Godomey et au Sud de Togbin. En dehors des principaux plans d'eau dont disposent les arrondissements de recherche, on y rencontre de nombreux marécages le long des rivières et des lagunes, des ruisseaux et des marais comme l'indique la figure 10.

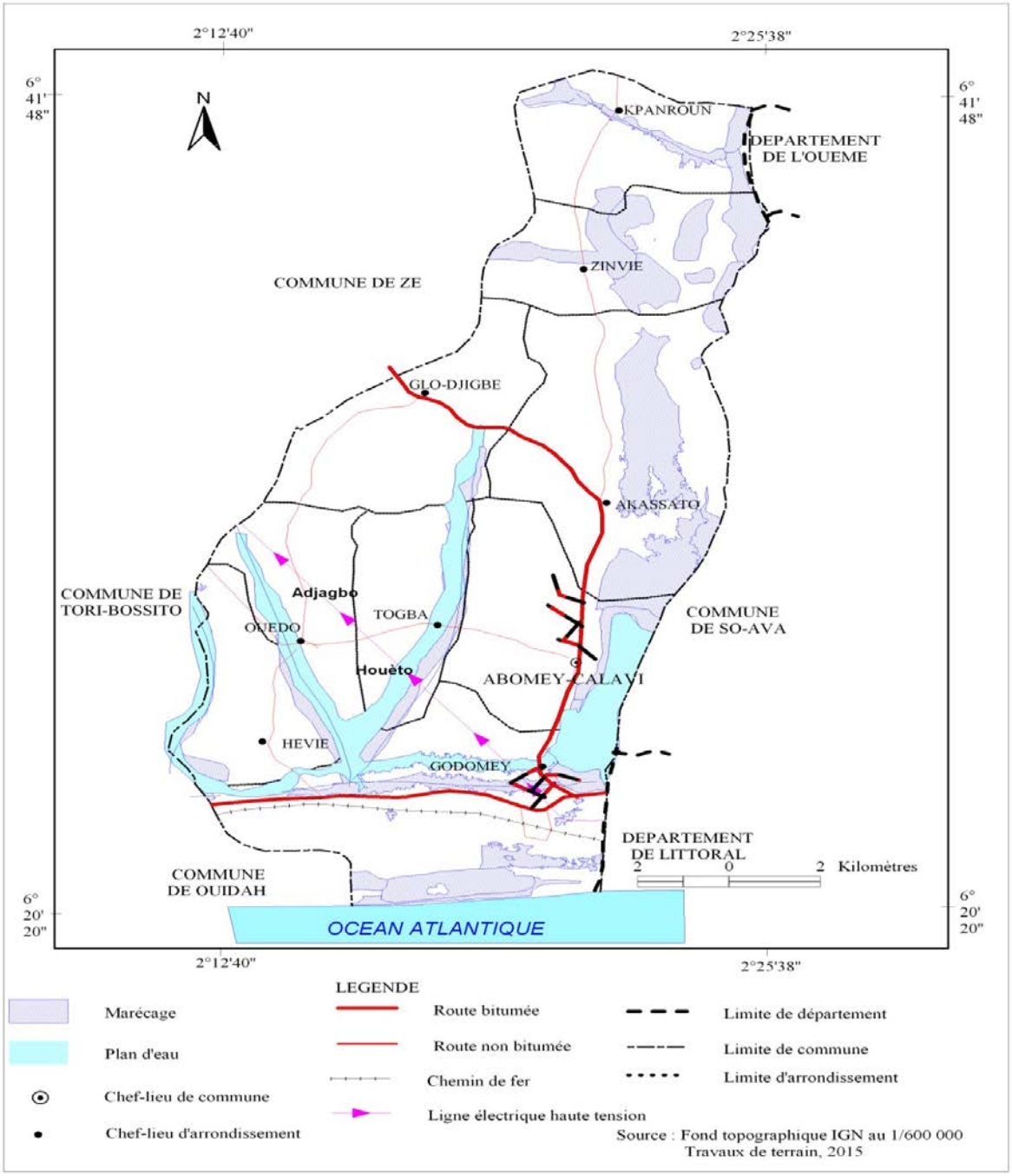

Figure 10 : Réseau hydrographique de la Commune d'Abomey-Calavi

Les différents plans d'eau et les zones de marécage présentés par la figure 10 constituent les réceptacles des déchets. Cette situation engendre l'écoulement direct des lixiviats et des déchets dans ces plans d'eau pendant la période pluvieuse. Ceci constitue des sources de contamination de ces plans d'eau.

3-2-2-5- Sols et végétations

Une diversité de sols existe dans la Commune d'Abomey-Calavi (Figure 11).

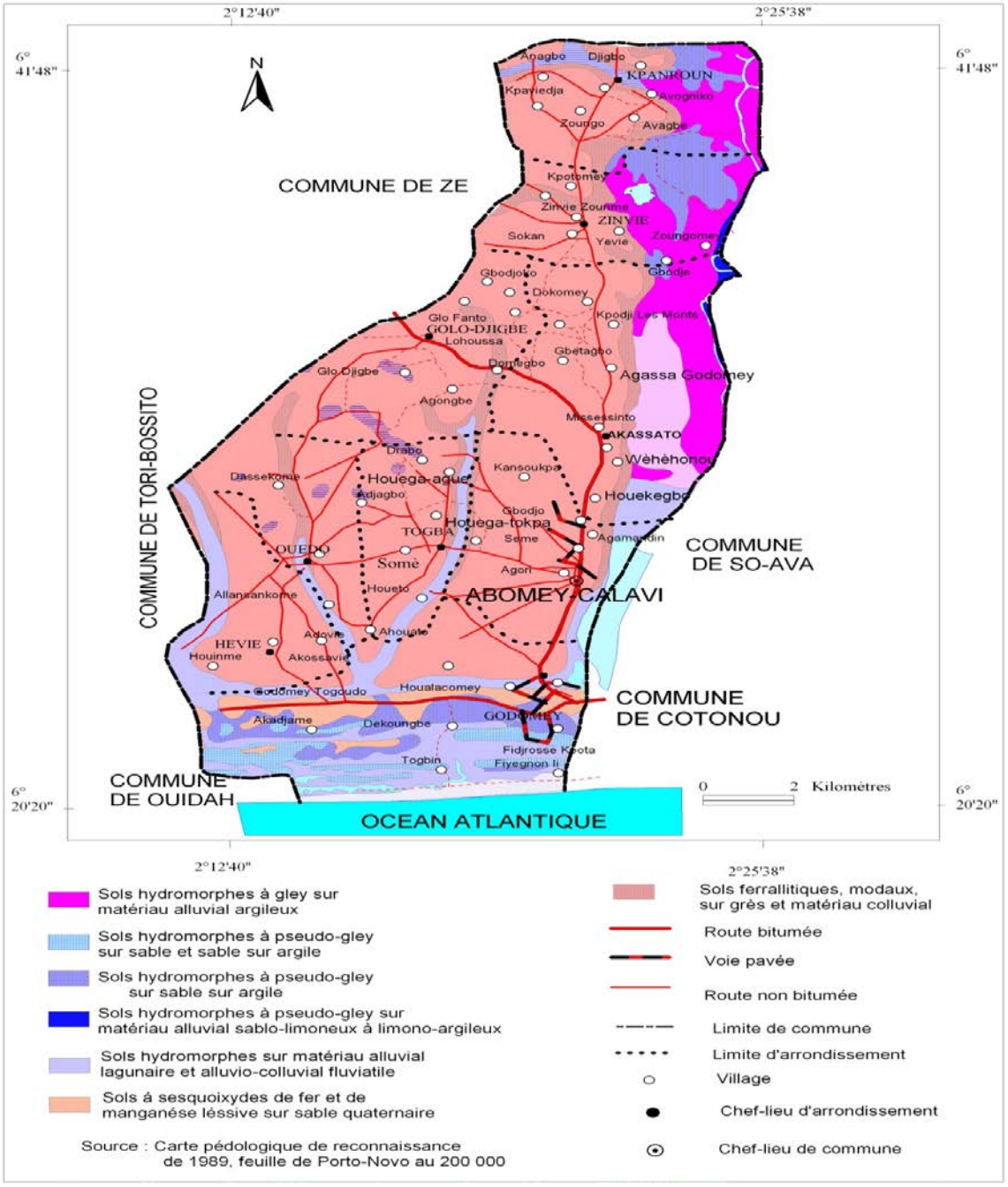

Figure 11 : Sols de la Commune d'Abomey-Calavi

De la figure il resort que les types de sols que dispose la Commune d'Abomey-Calavi sont :

- des sols ferralitiques ou "terre de barre" lessivés sans concrétion. Ces sols recouvrent près des deux tiers du territoire de la Commune. Ils sont formés sur Continental Terminal. Ce sont des sols à perméabilité et porosité faible grâce à leur cohésion due à la présence d'argile qui domine progressivement vers la profondeur (Roose, 1985) dans la bande allant de Godomey à Cococodji;
- des sols hydromorphes sur sédiment argileux très inondables. Ces types de sols se retrouvent principalement entre les lagunes et les marais puis près des rives et du lac Nokoué. Ils sont assez sableux et présentent des terrains à perméabilité élevée avec un faible pouvoir de filtration des éléments véhiculés par l'eau; ce qui favorise une pollution assez rapide de la nappe phréatique sur le littoral. Dans ces conditions les lixiviats des décharges s'infiltrent facilement à travers ces types de sols et contaminent aussi bien le sol que la nappe phréatique.

Sur les sols présentés par la figure 12, poussent différents types de végétation selon les faciès. Ainsi, on y rencontre la mangrove à palétuviers dans la zone côtière, une savane dégradée sur le plateau, une végétation réduite en un tapis herbacé quasi uniforme sur les sols hydromorphes. Le paysage végétal est dominé par les palmiers à huile, les vergers, quelques arbres isolés et des cocotiers. On retrouve aussi des cultures maraîchères le long des marais et des cultures annuelles.

La végétation située à proximité des décharges peut se dégrader puisque le sol et l'eau, deux éléments importants pour la survie des plantes peuvent être contaminés par les polluants du lixiviat des décharges.

3-3- Cadre humain

3-3-1- Caractéristiques démographiques

Les résultats des différents recensements généraux de la population **(**INSAE, 1988), **(**INSAE, 1994)**, (**INSAE, 2004) et **(**INSAE, 2013) présentent respectivement pour la Commune d'Abomey-Calavi, 60.786 habitants en 1979, 126.507 habitants en 1992, 307.745 habitants et 656.358 habitants en 2013 soit près de 47 % de la population du département de l'Atlantique en 2013. Ces statistiques montrent une croissance démographique qui a doublé en onze (11) ans (2002-2013) (Figure 12).

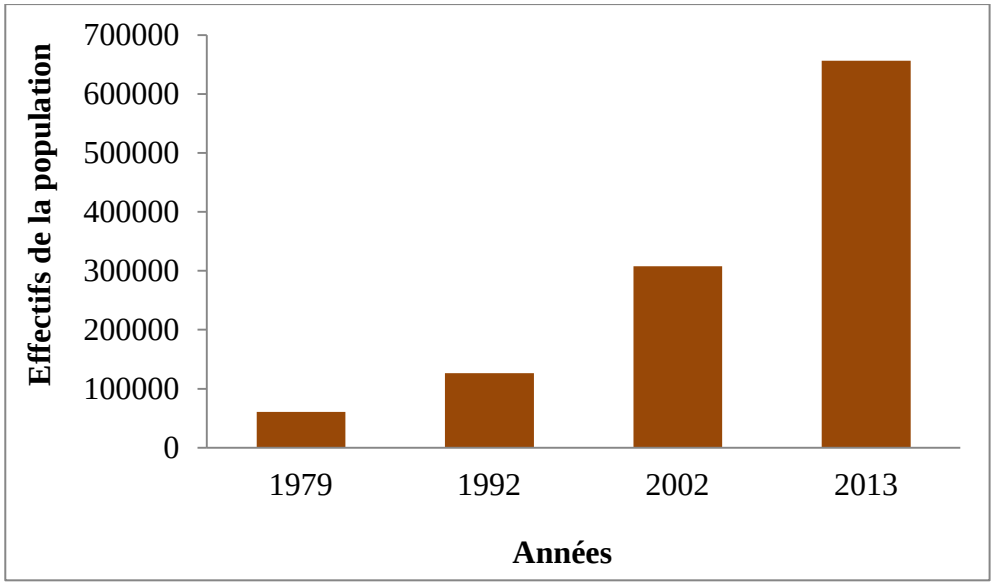

Figure 12: Evolution de la population de la Commune d'Abomey-Calavi de1979 à 2013

Source: *INSAE, juillet 2015*

De la figure 12, il ressort que l'accroissement de la population de la Commune d'Abomey-Calavi est devenu extrêmement rapide depuis les trois dernières décennies précisément à partir de 1992. Cependant, le rythme de l'accroissement de la population n'est pas identique sur toute la Commune. Il diffère d'un arrondissement à un autre (Figure 13).

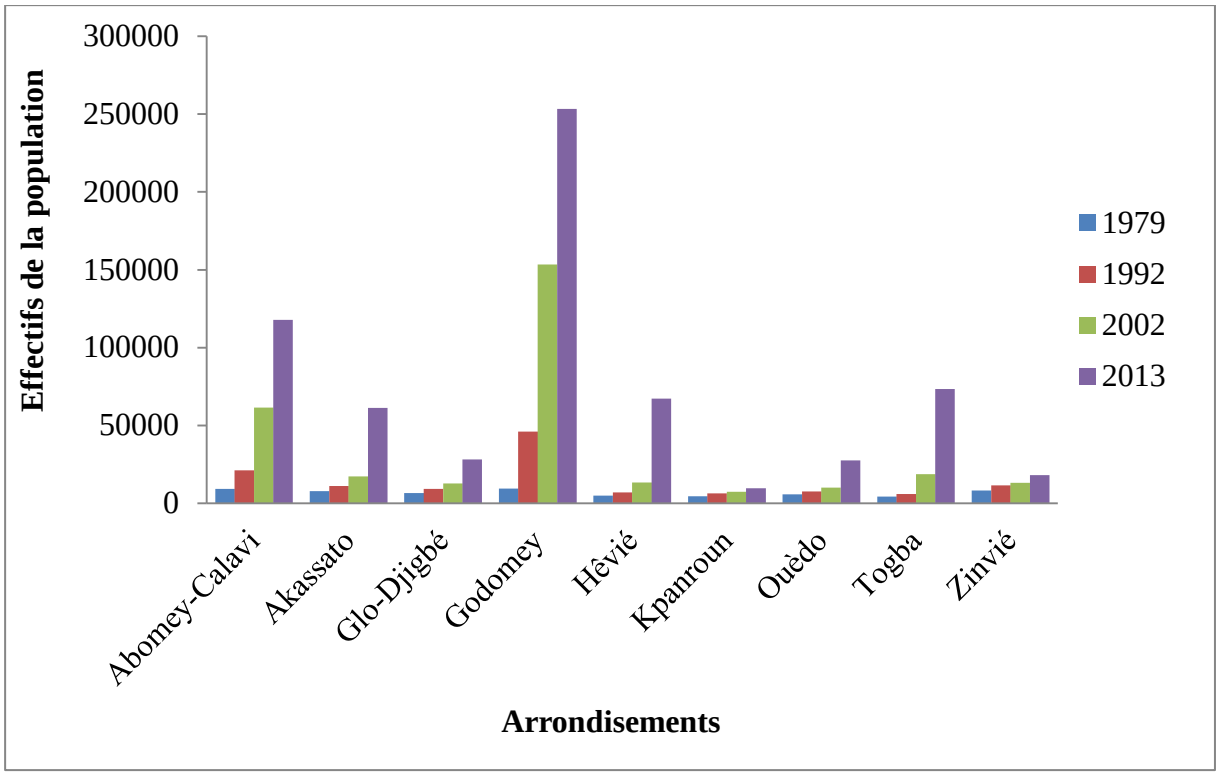

Figure 13: Evolution de la population des arrondissements de la Commune d'Abomey-Calavi de 1979 à 2013

Source: *INSAE, juillet 2015*

De la figure 13, il est noté une évolution de la population des arrondissements de la Commune d'Abomey-Calavi de 1979 à 2013. Mais, cette évolution est très remarquable dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey où on constate une croissance accélérée de leur population. Etant donné que le poids démographique est un facteur déterminant dans la production des déchets, cette croissance de la population dans ces deux arrondissements s'est accompagnée de l'augmentation de la quantité de déchets, ce qui pose de nos jours un réel problème dans ces arrondissements. Les populations ne trouvent plus d'espaces à proximité des habitations pour déverser leurs déchets, ceci à cause de l'étalement urbain. La conséquence directe de cette situation est l'utilisation des bas-fonds, des plans d'eau et des anciennes carrières de sable comme des sites de décharges. Ainsi, cette pratique constitue des sources de pollution des plans d'eau, des sols et de la nappe phréatique et également des risques sanitaires pour les populations.

3-3-2- Activités économiques

Sur le plan économique, trois secteurs activités couvrent la vie des populations de la Commune d'Abomey-Calavi. Il s'agit du :

3-3-2-1- Secteur primaire

Il est le plus important et occupe près de 80 % de la population. Trois activités prédominent :

- l'agriculture de type familial et commercial est l'activité la plus dominante du secteur.
- la pêche est pratiquée par les Toffin. Elle est de type commercial.
- l'élevage est surtout de type familial et est peu développé. Il porte essentiellement sur le petit élevage et l'élevage non conventionnel avec une diversification du cheptel.

3-3-2-2- Secteur secondaire

Dans la commune d'Abomey-Calavi, l'industrie est encore embryonnaire et se limite à la transformation agro-alimentaire artisanale et de petites unités de Petites et Moyennes Entreprises (PME). Elle emploie environ 18,2 % de la population active de la commune (mairie Abomey-Calavi, 2012). Les industries, sociétés et PME représentées dans la commune sont constituées surtout de scieries, de boulangeries et d'usines de fabrique de glace et de farine pour bébés.

3-3-2-3- Secteur tertiaire

Il regroupe les services, l'administration et les activités commerciales.

Par rapport aux services et l'administration, il est dénombré plusieurs services tels que le Centre des Impôts des Petites et Moyennes Entreprises, le trésor, le Centre Communal pour la Promotion Agricole, la Police, la Gendarmerie, etc.

Du point de vue du commerce, plusieurs marchés (près d'une quinzaine) sont recensés dans la Commune. Il est dénombré beaucoup de détaillants et peu de demi-grossistes.

En ce qui concerne le transport, il n'est pas pas bien développé. Cependant l'Union Nationale des Conducteurs du Bénin (UNACOB) est présente avec un parc sis à Kpota et qui est fréquenté par les taxi-villes et les véhicules desservant l'intérieur du pays.
Le développement de ces différentes activités contribue également à l'augmentation de la quantité de déchets et à la prolifération des décharges incontrôlées. Cette multiplication des décharges incontrôlées dans la Commune, favorisée par les conditions du milieu naturel, est liée à l'absence d'une politique efficace de gestion des déchets dans la Commune.

3-3-3- Facteurs organisationnels de la gestion des déchets solides ménagers

Dans les arrondissements de Godomey et d'Abomey-Calavi, la gestion des déchets solides repose sur une gestion partagée. Elle est réalisée entre les ONG de pré-collecte des déchets, les producteurs des déchets (populations, ménages, commerce, etc.) et la mairie (Direction des Services Techniques).

3-3-3-1- ONG de pré-collecte des déchets

Les ONG de pré-collecte des déchets dans la Commune d'Abomey-Calavi se sont regroupées en une association dénommée COSGAC (Collectif des Structures non Gouvernementales de Gestion des déchets solides ménagers et d'Assainissement de la Commune d'Abomey-Calavi). Née en 2002, cette association comptait cinquante-quatre (54) ONG, mais aujourd'hui, elle se retrouve à 92 ONG fonctionnelles.
Pour une gestion efficace des déchets solides ménagers et dans le souci de rendre salubre la Commune, la mairie a responsabilisé le COSGAC pour les opérations de pré-collecte des déchets sous la supervision d'une équipe de contrôle mise en place par la Direction des Services Techniques de la municipalité.
Le collectif n'ayant pas réglé au départ les problèmes fondamentaux tels que: la mise en place des sites de regroupement et de la décharge finale, les problèmes liés aux moyens de transport adaptés au terrain, le zonage qui limite chaque structure de pré-collecte et la création des filières de valorisation des déchets se trouve aujourd'hui dans l'incapacité d'assumer pleinement ses responsabilités et d'atteindre les objectifs visés. Deux principaux problèmes expliquent le dysfonctionnement de la gestion des déchets constaté au niveau du collectif. Il s'agit de:

- l’insuffisance des moyens de transport qui sont pour la plupart archaïques et qui tombent régulièrement en panne. Dans ces conditions, la pré-collecte est très irrégulière, ce qui amène les ménages à entreposer les poubelles devant les habitations ou à évacuer les déchets dans les caniveaux ou dans un coin à côté des habitations ;
- l’absence de site de décharge finale; ce qui oblige les structures de pré-collecte à déverser les déchets pré-collectés dans les bas-fonds, les plans d’eau et les anciennes carrières de sable.

3-3-3-2- Mairie et services municipaux

La mairie d'Abomey-Calavi dispose d’une Direction des Services Techniques (DST) qui s’occupe des questions d'hygiène et d'assainissement. Dans le domaine de la gestion des déchets, elle a pour tâche de suivre le collectif des structures de pré-collecte des déchets, de le soutenir matériellement et techniquement puis de mettre à sa disposition des sites de décharge finale. Malheureusement, ces engagements pris par la mairie n’ont pas pu être respectés. Presque toutes les activités sont en phase de projet et attendent les partenaires pour le financement. Cette situation est à l’origine de l’inhibition de toutes les opérations mises en place pour pallier les problèmes de mauvaise gestion des déchets dans la Commune surtout ceux des dépotoirs sauvages. Ces derniers sont devenus aujourd’hui un casse-tête pour les autorités locales car ils gagnent les plans d’eau et risquent de porter atteinte aux ressources touristiques, hydriques et halieutiques de la Commune et par conséquent à la vie économique.

Les conflits domaniaux dans la Commune favorisent aussi la création des décharges incontrôlées. La nature ayant horreur du vide, ces terrains sont occupés pour la plupart par les déchets.

3-3-3-3- Producteurs des déchets

Les producteurs aident dans l’évacuation des déchets. A ce niveau, il n’y a aucune organisation. Les ménages se chargent eux-mêmes d’évacuer leurs déchets au niveau des dépotoirs qui sont proches de leur lieu d’habitation. Ces dépotoirs débordent parfois sur les voies et rendent la circulation difficile. Aussi, constituent-ils des

dangers permanents surtout pour les piétons qui peuvent se blesser ou se faire piquer par les objets tranchants ou coupants.

Les collectivités ou les propriétaires terriens qui ont des parcelles au niveau des bas-fonds ou dans les anciennes carrières de sable, les utilisent ou les cèdent aux structures de pré-collecte des déchets pour y déverser les déchets. Cette pratique a pour but de remblayer les parcelles afin de construire ou de vendre. Cette pratique entraîne des inondations pendant la saison pluvieuse.

3-3-4- Cadres législatif, réglementaire et institutionnel

3-3-4-1- Cadres législatif et réglementaire

L'institution d'un cadre juridique pour la gestion des déchets solides au Bénin a vu le jour en 1987 avec le code d'hygiène publique. La gestion des déchets est régie par un certain nombre de lois et de textes.

- La loi n° 87-015 du 21 septembre 1987 portant code de l'hygiène publique en République du Bénin. Elle se préoccupe de la gestion des déchets à travers ses articles : 4, 6, 7, 8, 9, 18, 31, 32, 59, 60, 63, 75, 93, 97, 98 et 100. Les articles 4, 6, 7 et 9 de cette loi indiquent les conditions de manipulation des déchets sur les voies publiques ou plus largement en dehors des maisons. Cette loi interdit notamment les dépôts anarchiques de déchets de toutes sortes (immondices, détritus, eaux usées, graisses, huiles de vidange, véhicules usagés) sur la voie publique ainsi que leur enfouissement ou incinération anarchique, fixe l'implantation des décharges contrôlées à 5 Km au moins des dernières habitations et 50 m au moins d'un point d'eau. Le code d'hygiène publique interdit en outre le mélange des déchets solides ménagers avec les déchets issus des abattoirs et les "produits toxiques ou pharmaceutiques" (article 97). Cette loi fixe également les pénalités encourues en cas d'infraction.
- La loi n° 97-029 du 15 janvier 1999, portant organisation des Communes, en République du Bénin confère à travers son chapitre III aux Communes des compétences entre autres en matière d'environnement, d'hygiène et de salubrité. En son article 93, elle stipule clairement que la Commune a la charge entre autres, de la collecte et du traitement des déchets solides autres que les déchets industriels.

- La loi n° 98-007 du 15 janvier 1999 portant régime financier des Communes en République du Bénin stipule en son article 13 que : « les recettes de la section de fonctionnement de la Commune en matières d'hygiène, de salubrité publique et de services funéraires comprennent entre autres, les taxes d'enlèvement des ordures ménagères et les redevances pour frais d'enlèvement de débris et matériaux autres que les ordures ménagères ».
- La loi n° 98-030 portant loi-cadre sur l'environnement promulguée le 12 février 1999. Elle définit les bases de la politique nationale en matière d'environnement et organise sa mise en œuvre conformément à la constitution. Cette loi en son titre IV, chapitre I aborde la question des déchets à travers ses articles 65 à 73. Elle prévoit que les déchets doivent faire l'objet d'un traitement adéquat, afin d'éliminer ou de réduire à un niveau requis leurs effets.

Ces lois ont été complètées par certains textes réglementaires. Il s'agit du :

- décret d'application du code d'hygiène publique du 18 décembre 1997 sous le numéro 97-616. Il interdit en outre le mélange des déchets solides ménagers avec les déchets issus des abattoirs et les ‘‘produits toxiques ou pharmaceutiques’’ (article 97) ;
- décret n° 2002-484 du 15 novembre 2002 portant gestion des déchets biomédicaux. Il règlemente la gestion des déchets biomédicaux au Bénin et définit le déchet biomédical comme « tout déchet d'origine biologique ou non résultant des activités médicales ou paramédicales »;
- décret n° 2003-332 du 27 août 2003 portant gestion des déchets solides en République du Bénin que l'exécutif, en application de la loi-cadre, a traité de la question des déchets solides. L'article 1er de ce décret affirme son objectif qui est de préserver l'environnement et la santé de l'homme de toute influence dommageable causée par les déchets. L'article 14 de son chapitre III impose l'obtention d'une autorisation délivrée par le ministre de l'environnement (après consentement de la Commune d'accueil) avant toute construction et mise en exploitation d'un site d'élimination des déchets. Il vise essentiellement à :
  - prévenir ou réduire la production des déchets et leur nocivité ;

- promouvoir la valorisation des déchets notamment par le recyclage, la récupération et l'utilisation comme source d'énergie;
- organiser l'élimination des déchets ;
- limiter, surveiller et contrôler le transfert des déchets ;
- assurer la remise en état des sites ;
- prévenir et limiter les nuisances lors de la gestion des déchets;
- réglementer le transfert des déchets;
- organiser la planification des déchets.

3-3-4-2- Cadre institutionnel

Conformément à l'article 93 de la loi n° 97-029 du 15 janvier 1999, portant organisation des Communes et qui confère aux Communes à travers son chapitre III, des compétences en matière d'environnement, d'hygiène et de salubrité (CREPA, 2011), la Commune d'Abomey-Calavi a la responsabilité d'assurer la collecte et le traitement des déchets solides autres que les déchets industriels. Sur ce, la mairie d'Abomey-Calavi a :

- créé une Direction des Services Techniques (DST) qui s'occupe des questions d'hygiène et d'assainissement ;
- signé une convention de partenariat avec le COSGAC. Par cette convention, elle a confié au collectif la pré-collecte des déchets sur le territoire de la Commune. En 2005, le collectif a structuré les arrondissements en des zones et a concédé à chaque ONG sa zone d'intervention. Ce zonage des arrondissements a été réaménagé en 2013 par le PUGEMU ;
- pris un arrêté le 03/12/2013 portant sur abonnement obligatoire des ménages à la pré-collecte des déchets solides ménagers. Cet arrêté comporte six (06) articles :

***Article 1*:** Dans le cadre de la mise en œuvre de la composante B gestion des déchets Solides Ménagers du PUGEMU, il est élaboré et mis en œuvre dans la Commune d'Abomey-Calavi un plan de pré-collecte pour la bonne gestion des déchets ménagers.

***Article 2*:** Le plan de zonage ainsi défini et mis en œuvre fait obligation à tous les ménages de se faire abonner en vue de l'enlèvement des déchets solides ménagers des maisons vers les points de regroupement.

Article 3**:** A cet effet, chaque ménage est tenu de s'abonner à la pré-collecte auprès des ONGs retenues dans la zone de son lieu d'habitation.

Article 4**:** Les ONG sont chargées de la pré-collecte et sont autorisées par zone à procéder à l'enlèvement des déchets solides ménagers contre la perception d'une redevance payée par les abonnements des ménages.

Article 5**:** Les ménages qui, par défaut d'abonnement pour l'enlèvement des déchets solides ménagers, se trouveraient insalubres, subiront la rigueur des textes en vigueur.

Article 6**:** Le présent arrêté qui abroge toutes dispositions antérieures contraires, prend effet pour compter de la date de sa signature et sera enregistré, communiqué et publié partout où besoin sera.

Il est à noter qu'en dehors de la collecte primaire d'autres actions sont en cours de réalisation. Il s'agit des prestations de la composante 2 du PUGEMU qui comporte les points suivants:

- l'appui à la collecte secondaire. A ce niveau les décharges incontrôlées seront détruites et protégées puis des points de regroupement seront créés. Les déchets collectés au niveau des points de regroupement seront transférés vers la décharge communale. La collecte peut être systématique ou sélective ;
- la mise en place des modes de traitement. Les modes de traitement retenus sont :
  - la mise en décharge. A cet effet, une décharge municipale sera créée à Zinvié dans la Commune d'Abomey-Calavi ou à Ouèssè dans la Commune de Ouidah.
  - la valorisation qui passera par le tri des déchets ;
- des sensibilisations et des communications à l'endroit des ménages et des structures de pré-collecte;
- mener des démarches envers les partenaires pour le financement des projets de gestion des déchets;
- disposer des poubelles au niveau de certains lieux publics ;

Outre ces institutions, d'autres acteurs interviennent dans la gestion des déchets dans la Commune.

3-3-4-3- Autres acteurs

- **Producteurs des déchets**

Les producteurs contribuent à la gestion des déchets dans la Commune par:

- l'abonnement aux structures de pré-collecte. A ce niveau, les ristournes sur les taxes de l'enlèvement des déchets, rétrocédées à la mairie participent au financement de la filière de gestion des déchets dans la Commune ;
- l'accès des terrains aux structures de pré-collecte pour la mise en décharge;
- l'aménagement sporadique des dépotoirs sauvages par le nettoyage et le brûlage ;
- les pratiques endogènes pour empêcher la mise en décharge sauvage.

A ces acteurs il est ajouté les récupérateurs informels dont les actions aussi important.

- **Acteurs financiers**

Les plus actifs sont entre autres l'Agence Française de Développement, l'ONU-Habitat, le DCAM-Bethesda, la Banque mondiale et la coopération décentralisée. Ces partenaires aident la Commune dans les formations en matière de gestion des déchets et le financement des projets. Au nombre des projets financés, il est cité : PAACO, SDU, PGUD2, PUGEMU.

Chapitre IV : Méthodologie de recherche

La méthodologie adoptée comporte : les sites d'étude, le schéma d'étude, les populations cibles, la collecte des données, le traitement et l'analyse des résultats.

4-1- Cadre, Schéma et population de recherche

4-1-1- Cadre de recherche

L'étude s'est déroulée dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. Elle a été conduite notamment au niveau du :

- site de transit pour la caractérisation des déchets mis en place à Domègbo situé dans l'arrondissement de Glo-Djigbé ;
- Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE) à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi au Bénin pour les analyses physico-chimiques;
- Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GVTD) de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé au Togo pour les analyses toxicologiques ;
- Laboratoire d'essais et de Recherches en Génie Civil (LERGC) à l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi au Bénin pour les analyses granulométriques des sols.

4-1-2- Schéma d'étude

C'est une étude transversale à visée descriptive et analytique qui prend en compte des aspects qualitatifs et quantitatifs.

4-1-3- Populations cibles

Elle est constituée des ménages, des responsables des structures de pré-collecte des déchets, des autorités locales (chefs d'arrondissement, chefs des villages), du responsable du service technique chargé de l'aménagement et de l'assainissement à la mairie d'Abomey-Calavi, des responsables des centres de santé des arrondissements d'étude et des personnes ressources.

4-1-3-1- Cibles primaires

Les cibles primaires de cette recherche sont constituées des ménages et des responsables des structures de pré-collecte des déchets.

4-1-3-2- Cibles secondaires

Elles sont constituées :

- des chefs de quartiers ciblés par l'enquête;
- des chefs des arrondissements d'étude;
- des responsables des centres de santé;
- du responsable de la Direction des Services Techniques qui s'occupe des questions d'hygiène et d'assainissement de base.

4-2- Collecte des données

4-2-1- Données collectées

Les données collectées sont à la fois quantitative et qualitative. Les données quantitatives sont utilisées pour compléter celles qualitatives afin de vérifier les faits à l'aide de données chiffrées. Elles portent sur:

- ✓ les données démographiques : la dynamique de la population des arrondisements d'Abomey-Calavi et de Godomey;
- ✓ les données pluviométriques : il s'agit des données pluviométriques extraites de la base de données du Laboratoire du Sol, des Eaux et Environnement du Centre de Recherche Agricole d'Agonkanmey et de l'Institut International d'Agriculture Tropicale. Elles sont constituées des précipitations annuelles de la période de 1978 à 2007, des températures mensuelles des années 1978 à 2007 et l'humidité relative ;
- ✓ les données sur le sol : elles regroupent les types de sols dans les arrondissements d'étude, la granulométrie des sols au niveau des décharges incontrôlées;
- ✓ les données sur la végétation : ce sont les différentes formations végétales;
- ✓ les données sur le relief : elles concernent les types et les formes de relief ;
- ✓ les données sur l'hydrographie : ce sont les informations relatives aux cours et aux plans d'eau puis à la pollution des eaux souterraines et des plans d'eau ;
- ✓ les données sur les déchets solides ménagers : les informations collectées sont relatives à la gestion et à la caractérisation des déchets solides ménagers ;
- ✓ les données sur les décharges incontrôlées : elles concernent les caractéristiques des décharges incontrôlées ;

- ✓ les données environnementales : elles concernent les principales nuisances de l'environnement causées par les décharges incontrôlées (pollution du sol, des eaux superficielles et souterraines);
- ✓ les données sanitaires: elles portent sur les problèmes sanitaires enregistrés auprès des ménages habitant près des décharges incontrôlées, de la zone témoin et ceux enregistrés par les centres de santé des arrondissements de recherche ;
- ✓ les données socio-anthropologiques : elles sont relatives aux caractéristiques socio-économiques des ménages interrogés (situation matrimoniale, nombre d'enfants, niveau d'instruction, profession, ethnie, type d'habitation, revenu du ménage, équipements)**,** au mode de gestion des déchets solides ménagers, aux pollutions causées par les décharges incontrôlées, à l'état de santé des ménages, aux actions mises en place ou en projets pour améliorer le traitement des déchets par la mise en décharge, aux perspectives et difficultés des acteurs intervenant dans la gestion des déchets pour une meilleure gestion.

Toutes ces informations ont été recueillies à l'aide de matériels, des outils, et des techniques de collecte.

4-2-2- Matériels de collecte des données

Dans la réalisation du présent travail, plusieurs matériels sont utilisés au cours de la collecte des données. Il est noté :

4-2-2-1- Matériels utilisés pour l'observation directe

Pour l'observation directe, les matériels utilisés sont :

- ✓ le GPS marque Garmin 60 qui a servi à prendre les coordonnées géographiques des décharges incontrôlées, à faire le traking pour avoir des données sur la circonférence des décharges, à relever les distances des décharges par rapport aux habitations, aux puits et aux plans d'eau situés aux alentours des sites de décharges et la distance des puits par rapport aux WC et aux douches ;
- ✓ le Décamètre qui a permis de mesurer la hauteur des décharges ;
- ✓ l'appareil photo qui a aidé à prendre les vues pour illustrer les faits observés sur le terrain.

4-2-2-2- Matéries utilisés pour le prélèvement des échantillons des sols

Des matériels ont permis de faire le prélèvement des échantillons de sols. Il s'agit :

- ✓ du GPS marque Garmin 60 a servi à prendre les coordonnées géographiques des Profils ;
- ✓ de la machette pour déblayer le terrain;
- ✓ de la pioche pour creuser les fosses;
- ✓ du ruban de 100 mètres pour mesurer les différents horizons du profil;
- ✓ de la pelle pour prélever les échantillons de sols à chaque niveau;
- ✓ des boîtes cubiques pour stocker et conserver les échantillons de sols prélevés;
- ✓ des sachets pour stocker les échantillons de sols.

4-2-2-3- Matériels utilisés pour le prélèvement des échantillons des eaux

Pour réaliser le prélèvement des échantillons des eaux, les matériels suivants ont été utilisés :

- ✓ le GPS Garmin 60 a servi à prendre les coordonnées géographiques des puits et les lieux de prélèvement des eaux au nivau des plans d'eau ;
- ✓ le préleveur automatique pour le prélèvement des eaux au niveau des plans d'eau ;
- ✓ une puisette pour le prélèvement des eaux de puits ;
- ✓ les bidons en plastique de 1,5 l et des bouteilles de 1 l pour conserver les échantillons d'eau prélevés ;
- ✓ les glaciaires contenant des glaces pour conserver l'eau jusqu'au laboratoire.

4-2-2-4- Matériels utilisés pour la pré-campagne, la campagne et la caractérisation physique des déchets

Les matériels utilisés pour la pré-campagne, la campagne et la caractérisation des déchets sont :

- ✓ une bâche sur laquelle des déchets ont été étalés afin d'effectuer le tri par catégorie;
- ✓ une table de tri (2 m x 1 m) qui a servi à faire la caractérisation par taille;
- ✓ deux balances (une balance de 150 kg de portée avec une échelle de lecture de 20 g et une balance de 5 kg et de 20 kg), pour peser les déchets;

- ✓ des pelles, des pinceaux, et des balais pour nettoyer les lieux et ramasser les déchets;
- ✓ des seaux en plastique ont servi à prendre les déchets afin de les peser pour la détermination de la densité;
- ✓ des gants, des couvre-nez pour se protéger;
- ✓ des sacs en plastique ont servi à stocker les déchets lors de la pré-campagne et de la campagne.

4-2-2-5- Matériels utilisés pour déterminer l'humidité

Pour déterminer le taux d'humitité, les matériels ci-après sont utilisés :

- ✓ l'étuve de type S/N 09-07161, de marque VWR 7 est utilisée pour sécher les déchets ;
- ✓ la balance de précision pour peser les déchets ;
- ✓ le dessiccateur pour mettre les échantillons retirés de l'étuve à l'abri de l'humidité ambiante ;
- ✓ les papiers aluminium pour mettre les échantillons de déchets devant passer à l'étuve.

4-2-2-6- Matériels utilisés pour réaliser la granulométrie des sols

Le matériel utilisé dans le cadre de la réalisation de la granulométrie est composé de :

- ✓ l'étuve de type I-GT-lcg 1 pour sécher les échantillons ;
- ✓ le tamis pour tamiser les échantillons ;
- ✓ la balance de précision de type MBA-legc-3 pour peser les échantillons ;
- ✓ des bols en aluminium pour laver les échantillons.

4-2-2-7- Matériels utilisés pour le test de lixiviation des échantillons des déchets extra-fins et des sols

Pour réaliser le test de lixiviation des échantillons des déchets extra-fins et des sols, les matériels ci-après sont exploités:

- ✓ des bouteilles de 1l pour mettre les échantillons et de l'eau distillée;
- ✓ un agitateur magnétique pour remuer le mélange;
- ✓ un bécher pour mesurer la quantité d'eau distillée.

4-2-2-8- Matériels utilisés pour la minéralisation des échantillons des déchets extra-fins, des sols et des eaux

Le matériel utilisé dans le cadre de la minéralisation des échantillons des déchets extra-fins, des sols et des eaux comprend :

- ✓ le minéralisateur DCO et de kjeldhal pour la minéralisation des échantillons des eaux et lixiviats ;
- ✓ la hotte;
- ✓ le bain de sable chauffé à 150°C ;
- ✓ les flacons.

4-2-2-9- Matériels utilisés pour déterminer les paramètres physico-chimiques

La détermination des paramètres physico-chimiques a nécessité l'utilisation des matériels suivants :

- ✓ le pH-mètre 3110 SET 3 (WTW) muni d'une électrode de verre pour déterminer le pH;
- ✓ le conductimètre pH/EC/TDS waterproof Family selon la norme NF EN 27888 pour déterminer la conductivité;
- ✓ l'oxymètre Oxi 730 WTW inolab (sonde à oxygène) pour déterminer l'oxygène dissout;
- ✓ le distillateur de Kjeldhal pour la distillation;
- ✓ des matras et des fioles de 30 ml et 50 ml pour mettre les échantillons;
- ✓ le réfrigérant DCO pour chauffer les échantillons à une température de180°C pendant deux heures;
- ✓ le spectrophotomètre pour mesurer la concentration de la matière organique;
- ✓ la grille de l'oxitop pour définir les volumes et les facteurs de dilution des lixiviats, des eaux de puits et des plans d'eau;
- ✓ l'oxitop pour mesurer la DBO5;
- ✓ le DBOmètre pour conserver les échantillons mis dans les Oxitops pendant cinq jours sous agitation à une température de 20°C;
- ✓ le spectrophotomètre d'absorption atomique thermo électron corporation pour doser les métaux;
- ✓ les papiers filtre Wattman pour filtrer les échantillons;

- ✓ la hotte pour extraire des vapeurs toxiques des produits utilisés lors de la manipulation.

4-2-3- Outils de collecte des données

Dans le cadre des enquêtes, trois outils d'investigation sont utilisés. Il s'agit:

- ✓ du questionnaire : il a été élaboré suivant les objectifs spécifiques. Il a permis de collecter des informations auprès des ménages;
- ✓ du guide d'entretien: il a aidé pour les entretiens avec les autorités locales (chefs villages, chefs d'arrondissement), les personnes ressources au niveau de la mairie d'Abomey-Calavi et les responsables des structures de pré-collecte des ordures du. Il a été établi en fonction des objectifs spécifiques;
- ✓ de la grille d'observation : elle a servi comme un support d'enregistrement des données sur décharges incontrôlées et ses alentours puis les pratiques vis-à-vis de ces décharges.

4-2-4-Techniques de collecte des données

La collecte des données et des informations s'est faite au moyen de la recherche documentaire et des travaux de terrain à travers la pré-enquête, la pré-campagne, l'observation directe, les entretiens, l'enquête proprement dite et la campagne de caractérisation des déchets.

4-2-4-1- Recherche documentaire

La recherche documentaire a été la première phase de collecte des données. Elle a consisté à mener des investigations au niveau des centres et des institutions de recherche dont les domaines d'activité ont rapport avec le thème de la présente étude. Au nombre de ces centres on peut retenir: la BUAC, l'EPAC, la FLASH, la FSA, des centres de documentation de l'ABE, l'OMS, du Laboratoire de LEDUR, du Laboratoire de LABEE, du Laboratoire du Sol, des Eaux et Environnement du centre de recherche agricole d'Agonkanmey et de l'IITA, du MSP, du Ministère du Plan, de la DHAB, du MEHU, du SERHAU-SA, de l'INSAE, de la Mairie d'Abomey-Calavi. A cela s'ajoute l'apport considérable des sites web qui ont permis de disposer des ouvrages numériques. Dans ces différents centres d'informations et sur l'internet, les documents (mémoires, thèses, rapports, articles, revues, cartes, monographies,

ouvrages de référence) ont été d'un apport considérable. Ils ont permis d'avoir des connaissances sur la zone de recherche, les thèmes portant sur la gestion et la caractérisation des déchets solides ménagers, les décharges et leurs effets sur l'environnement et la santé puis aussi de circonscrire le sujet de recherche. Ils ont permis d'avoir plus d'éclaircissement sur les concepts essentiels, d'enrichir le cadre théorique du sujet, de déterminer l'échantillonnage et de réaliser les travaux de terrain avec un ensemble de connaissances. Le tableau III résume les centres documentaires parcourus, la nature des documents consultés et les types d'informations recueillies.

Tableau III: Centres de recherche et informations recueillies

Sources documentaires	Sources des données	Types d'informations recueillies
Bibliothèque de l'EPAC	Livres, Mémoires, ouvrages de référence	Informations générales sur le thème et le milieu d'étude
Bibliothèque de l'Université	monographies, Mémoires, Thèses, Rapports, ouvrages de référence	Connaissance générale sur le milieu d'étude et le thème d'étude, Informations sur les démarches méthodologiques,
Centre de documentation de l'INSAE	Rapports d'étude, articles, revues, livres	Informations sur les Caractéristiques démographiques, socioéconomiques et sanitaires du secteur d'étude
Centre de documentation de l'OMS	Mémoires, rapports, articles, revues	Approche méthodologique et informations sur les principales maladies au Bénin et maladies liées au dysfonctionnement de l'assainissement
Centre de documentation de la Direction de l'hygiène de l'assainissement de base	Livres, rapports, articles, revues	Informations sur les principales maladies au Bénin et maladies liées au dysfonctionnement de l'assainissement
Centre de documentation de la FLASH, FSA, EPAC	Thèses, mémoires, rapports, articles	Connaissance générale sur le milieu et le thème dde recherche
Centre de documentation de la Mairie d'Abomey-Calavi	Articles, rapports, PDC, CD	Connaissance générale sur le milieu et le thème d'étude, des données sur la démographie, la vie socioculturelle et économique…
Centre de documentation du Ministère de la Santé Publique	Mémoires, rapports, articles, revues	Informations sur les principales affections au Bénin et maladies liées aux décharges, les statistiques sanitaires
Centre de documentation du Ministère du Plan	Rapports d'étude, articles, revues, livres	Informations sur les données démographies
Centre de documentation du SERHAU-SA	Cartes et mémoires	Connaissance générale sur le cadre de recherche
Laboratoire des sciences du sol, des eaux et environnement du centre de recherche agricole d'Agonkanmey et ITTA	Rapports mensuels des données pluviométriques, de températures et de l'humidité	Informations sur la pluviométrie, la température, l'humidité relative du cadre de recherche
Laboratoires LEDUR et du LABEE),	Mémoires, rapports, article, revues, thèses	Connaissance générale sur le milieu d'étude et le thème d'étude, la démarche méthodologique

Source : *Travaux de terrain, Juin 2012*

Cette étape a eu lieu tout le temps qu'a duré l'étude. Les données tirées des différentes sources ont été complétées par l'enquête en milieu réel et les analyses au laboratoire.

4-2-4-2- Travaux de terrain

Les données et informations relatives aux caractéristiques socio-économiques des ménages, au mode de gestion des déchets solides ménagers, à la caractérisation des déchets à la source et sur les sites de décharge, aux pollutions causées par les décharges incontrôlées et à l'état de santé des ménages ont été collectées après la détermination d'un échantillon.

❖ Echantillonnage

- **Taille de l'échantillon des ménages des arrondisements d'étude**

La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de Schwartz (Schwartz, 1995).

$$N = \frac{(Z \propto)^2.\ P.\ q}{i^2} \times K$$

N = taille de l'échantillon, Zα = 1,96 Ecart réduit correspondant à un risque α de 5 %

P = proportion des ménages des deux arrondissements (n = 46347) par rapport au nombre de ménages de la Commune d'Abomey-Calavi (N = 64701). Ainsi, P = 0,72 soit 72 %

q = 1-p = proportion des ménages non répondants. Alors q = 0,28 soit 28 %

i = précision désirée égale à 5 %

K = 2 correspondant au coefficient de correction de l'effet de grappe.

$$\mathrm{N} = \frac{(1,96)^2 \text{ x } 0,72 \text{ x } 0,28}{(0,05)^2} \times 2$$

è = 619,57 ≈ 620

N = 620 ménages

- **Technique d'échantillonnage**

L'étude a été réalisée selon une technique de sondage en grappe. Trente (30) grappes sont tirées sur la base de la liste des quartiers des deux arrondissements par sondage aléatoire systématique.

✓ **Choix des quartiers de ville ou village**

Pour déterminer les quartiers de ville ou villages, le pas de grappe a été calculé par la formule ci-après:

$$PG = n/30$$

PG = pas de grappe, n = nombre de ménages dans les deux arrondissements, 30 = nombre de grappes choisis

$$\text{PG} = 46347/30$$

$$\text{PG} = 1544{,}9 \approx 1545$$

PG = 1545

✓ **Identification du premier quartier de ville ou village**

Un nombre aléatoire compris entre un (1) et PG (1545) a été tiré sur le site internet random de gestion des nombres aléatoires. Ce nombre est 1012. Le premier quartier de ville ou village choisi est celui qui a un effectif des ménages cumulé égal ou inférieur mais proche de 1012. Dans la présente recherche c'est le quartier Agamadin (Tableau IV).

✓ **Choix des autres quartiers de villes et villages**

Pour sélectionner les autres quartiers de villes et villages, il a été additionné le nombre qui a permis d'identifier le quartier au pas de grappe. Ensuite il a été choisi le quartier de ville ou village qui a un effectif de ménage cumulé égal ou inférieur mais proche du résultat issu de l'addition. La même opération continue jusqu'à atteindre les trente grappes prévues par l'enquête (Tableau IV).

✓ Identification de l'unité statistique

L'unité statistique par grappe (U) correspond au nombre de ménages à enquêter par grappe. Elle équivaut à la taille de l'échantillon divisée par trente (30). On a donc

$$U = 620/30$$

$$= 20{,}66 \approx 21$$

U = 21

Tableau IV: Répartition du nombre de ménages à enquêter

Arrondissements	N°	Quartiers de ville ou villages	Effectif des ménages	Effectif des ménages cumulé	Nombre de grappes	Taille de l'échantillon
Abomey-Calavi	1	Agamadin	1351	1351	1	21
	2	Gbodjo	521	1872		
	3	Tokpa-Zougo	1850	3722	1	21
	4	Kansoukpa	470	4192	1	21
	5	Seme	2822	7014	1	21
	6	Agori	6203	13217	4	84
	7	Cococodji	2975	16192	2	42
	8	Cocotomey	3718	19910	3	63
	9	Dekoungbe	2841	22751	2	42
Godomey	10	Godomey-N'gbeho	265	23016		
	11	Houalacomey	1885	24901	1	21
	12	Salamey	4772	29673	3	63
	13	Togbin	1587	31260	1	21
	14	Godomey-Togoudo	9519	40779	6	126
	15	Ylomahouto	5568	46347	4	84
Total			**46347**		**30**	**630**

Source : *Travaux de terrain, Septembre 2012*

▪ Choix des concessions et des ménages à enquêter

Dans chaque quartier de ville ou villages retenu, la sélection des concessions et des ménages est faite de la manière suivante:

- au centre des quartiers de villes ou villages, on tourne une bouteille puis on suit la direction prise par celle-ci;
- dans cette direction la première concession à droite est choisie. Après cette concession, la troisième est sélectionnée et ainsi de suite;

- au sein des concessions retenues, un numéro est affecté à chaque ménage. Parmi les numéros, un est tiré au hasard. Le ménage dont le numéro est pris est enquêté. Un seul ménage est tiré par concession;
- dans le cas où l'échantillon prévu pour le quartier de ville ou village n'est pas atteint à la fin de la direction prise, on continue dans la direction opposée pour atteindre l'échantillon prévu pour ce dernier.

❖ Taille de l'échantillon des décharges

Pour le choix des décharges incontrôlées, la base de sondage des résultats du recensement des décharges incontrôlées obtenus lors des travaux de recherche en 2012 a été utilisée. Le nombre de décharges à prendre en compte pour la présente étude est déterminé par la formule ci-après:

$$\boxed{E = N \times T}$$

E = nombre de décharges à sélectionner

N = nombre de décharges incontrôlées recensées dans les deux arrondissements

T = taux de sondage = 4 % (ce taux a été choisi en fonction des moyens financiers)

$$E = 142 \times 4/100$$

$$= 5{,}68 \approx 6$$

$$\boxed{\textbf{E = 6 décharges}}$$

▪ Technique d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage par quota a été adoptée. Ainsi, la répartition du nombre de décharges dans chaque arrondissement est 50 % du nombre total de décharges retenues. Par conséquent, trois (03) décharges sont prises par arrondissement (Figure 14).

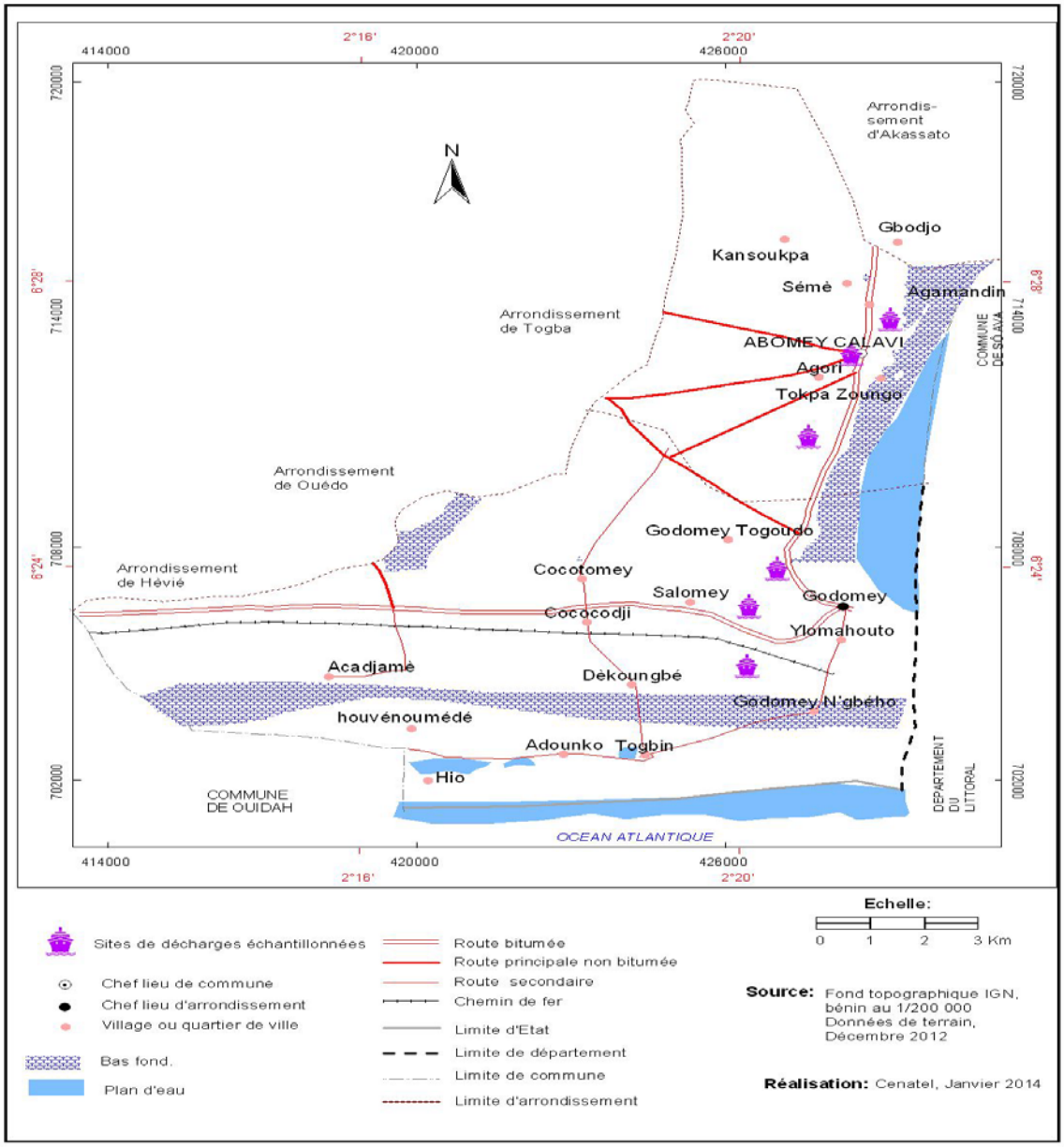

Figure 14: Sites de décharges sélectionnés dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey.

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

Les critères de choix des trois décharges dans chacun des deux arrondissements présentés par la figure 14 sont les suivants :

- ✓ l'ampleur de la décharge (Taille, volume, fréquentation);
- ✓ les décharges en cours d'utilisation;
- ✓ la proximité des décharges des lieux d'habitation et la concentration humaine.

❖ Taille de l'échantillon des ménages de la zone témoin et près des sites de décharges sélectionnés

N'ayant pas une base de données concernant les ménages habitant les voisinages des décharges, le nombre de ménages à sélectionner a été basé surtout sur les observations et les expériences faites sur le terrain. Ainsi, le nombre de ménages à enquêter a été fixé à 40 au niveau de chaque site de décharge choisi suivant un rayon de 0 à 100 m et de 100 à 200 m. Pour des raisons de conformité, les mêmes tailles ont été retenues dans la zone témoin. Au total 280 ménages ont été enquêtés.

▪ Technique d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage par quota a permis de répartir le nombre de ménages dans chaque rayon suivant un taux de 50 % du nombre de ménages fixé par site de décharge, ce qui amène à enquêter vingt (20) ménages par rayon. Le choix des ménages est fait suivant les quatre points cardinaux afin d'éviter une concentration de ces derniers dans une zone. Dans chaque direction, cinq (5) ménages sont tirés au hasard en débutant par le ménage le plus proche et en évoluant progressivement pour atteindre le nombre d'échantillons prévu pour chaque direction et pour chaque rayon. Par rapport aux ménages témoins, le choix des concessions et des ménages a été fait de la même manière que précédemment. Ces ménages sont souvent des ménages agricoles qui se déplacent très peu. Pour ce qui est du choix de la zone témoin les critères suivants sont pris en compte : zone se trouvant dans le secteur de recherche, pas urbanisée avec une faible installation humaine, pas de sites de décharges de taille avec des catégories de déchets peu dangereux.

❖ Taille de l'échantillon des centres de santé

Deux centres de santé ont été sélectionnés autour des six sites de décharges et dans la zone témoin. Au total quatorze (14) centres de santé ont été choisis.

❖ Taille de l'échantillon des ONG des structures de pré-collecte

Pour déterminer la taille de l'échantillon, la formule suivante a été utilisée:

$$E = N \times T$$

E = nombre d'ONG de pré-collecte à choisir, N = nombre total d'ONG de pré-collecte dans les deux arrondissements d'étude, T = taux de sondage = 60 %

$$E = 58 \times 60/100$$

$$= 34{,}8 \approx 35$$

E = 35

Les trente cinq structures de pré-collecte des déchets ont été réparties entre les deux arrondissements en fonction du nombre de structures par arrondissement suivant la règle de proportionnalité ; ce qui a permis d'obtenir la répartition ci-après: 13 et 22 ONGs de pré-collecte sélectionnées respectivement dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de Godomey.

- **Technique d'échantillonnage**

Pour identifier les structures de pré-collecte devant participer à l'enquête, les critères d'ancienneté (avoir au moins cinq ans d'ancienneté dans l'activité de pré-collecte des déchets dans la zone d'étude) et de fonctionnalité (être en activité au cours des cinq dernières années) ont été pris en compte. Le choix des structures a été réalisé suivant la technique d'échantillonnage aléatoire simple.

❖ Taille de l'échantillon des autorités locales et des personnes ressources

En ce qui concerne la taille de l'échantillon des autorités locales et des personnes ressources, un échantillonnage exhaustif a été adopté. La taille de l'échantillon de ces cibles secondaires est présentée dans le tableau V.

Tableau V: Répartition de la taille de l'échantillon des cibles secondaires retenues

Cibles secondaires	Nombre de personnes enquêtées
Chefs d'arrondissement	02
Chefs de quartiers de villes et de villages	15
Mairie (responsable des questions d'hygiène et d'assainissement de base)	01
Responsables de CSC	01
Total	**19**

Source : *Travaux de terrain, Sptembre 2012*

❖ Masse de l'échantillon des déchets à caractériser à la source

La taille de l'échantillon a été fixée à 250 Kg de déchets. Cet échantillon est basé sur la norme recommandée par SENES Consultants Limited (1999) pour une étude de caractérisation des déchets à la source.

❖ Taille de l'échantillon des ménages pour la campagne de caractérisation

Avant d'identifier l'effectif des ménages qui va participer à l'étude de la caractérisation, une pré-campagne a été organisée dans chaque secteur pendant trois jours auprès de six ménages. Une pesée systématique de la production journalière des déchets produits par ces ménages et destinés à l'évacuation a été faite ; ceci a permis de déterminer la quantité moyenne de déchets produits par secteur et par jour. Cette quantité est de 1,2 kg. Alors le nombre de ménages nécessaires pouvant produire les 250 kg de déchets pendant les trois jours de campagne est évalué à 70 ménages. Pour des prévisions dans le cas des refus et des abandons, cet échantillon a été porté à 76, réparti par quartier ou village (Tableau VI).

- **Choix des quartiers de villes et des villages pour la campagne de Caractérisation**

Le choix des quartiers de villes ou villages a été réalisé à l'aide du logiciel des nombres aléatoires Random. Un quartier a été sélectionné par arrondissement (Tableau VI).

Tableau VI : Taille des ménages pour la campagne de caractérisation par quartier

Quartiers ou villages sélectionnés	Nombre de ménages sélectionnés	Nombre total de ménages sélectionnés
Sèmè	38	**76**
Togoudo	38	

Source : *Travaux de terrain, février 2012*

- **Choix des concessions et des ménages pour la campagne**

La sélection des concessions et des ménages a été faite suivant les mêmes procédures que celles adoptées précédemment.

- **Masse de l'échantillon des déchets des décharges à caractériser**

Les études de caractérisation des déchets ménagers proposent différentes masses d'échantillon à trier en fonction de l'approche d'échantillonnage choisie, des résultats attendus de l'étude ou des sources (sur décharge ou enfoui). Ainsi, selon plusieurs sources la masse de déchets à trier peut varier entre 1 et 500 kg (ADEME, 2005; François, 2004; Project SWA- Tool, 2004; Enda Maghreb, 2003; Mohee, 2002 ; Tezanou et *al.*, 2001; SENES Consultants Limited, 1999; et MODECOM, 1993). Dans le cadre de ce travail, un échantillon de 250 kg de déchets a été prélevé sur chacun des six (06) décharges retenues. Au total, 1.500 kg de déchets ont été prélevés sur les sites de décharges sélectionnés dans les deux arrondissements pour le tri par taille et par catégorie.

✓ Technique de prélèvement des échantillons des déchets à caractériser

Pour prélever les échantillons des déchets à la source ou sur les sites de décharge, dix (10) prélèvements de 25 kg ont été éffectués de façon linéaire. La figure 15 résume le protocole de prélèvement linéaire des échantillons des déchets.



Figure 15: Technique de prélèvement linéaire des échantillons des déchets

Source : *Travaux de terrain, Novembre 2012*

▪ Technique de tri et de caractérisation des déchets

Le tri a été fait sur déchets humides bruts comme réalisé généralement dans les travaux de caractérisation des ordures ménagères (Ben Ammar, 2006; Alouémine, 2006; Aina, 2006; ADEME, 2005; Aboulam, 2005 et François, 2004). Il a été effectué conformément au mode de tri adapté par MODECOM et à la norme NF XP X 30-408. Cela a consisté à trier les déchets en tranche granulométrique de 100 mm, 20 mm, supérieur et inférieur à 8 mm. Quant au tri par catégorie, il est fait suivant treize (13) catégories. Ces différentes catégories sont celles utilisées par ADEME dans MODECOM (MODECOM, 1993) et reprise dans la norme française XP X 30-408 (AFNOR, 1996).

La figure 16 présente la synthèse du protocole de tri et de caractérisation effectuée.

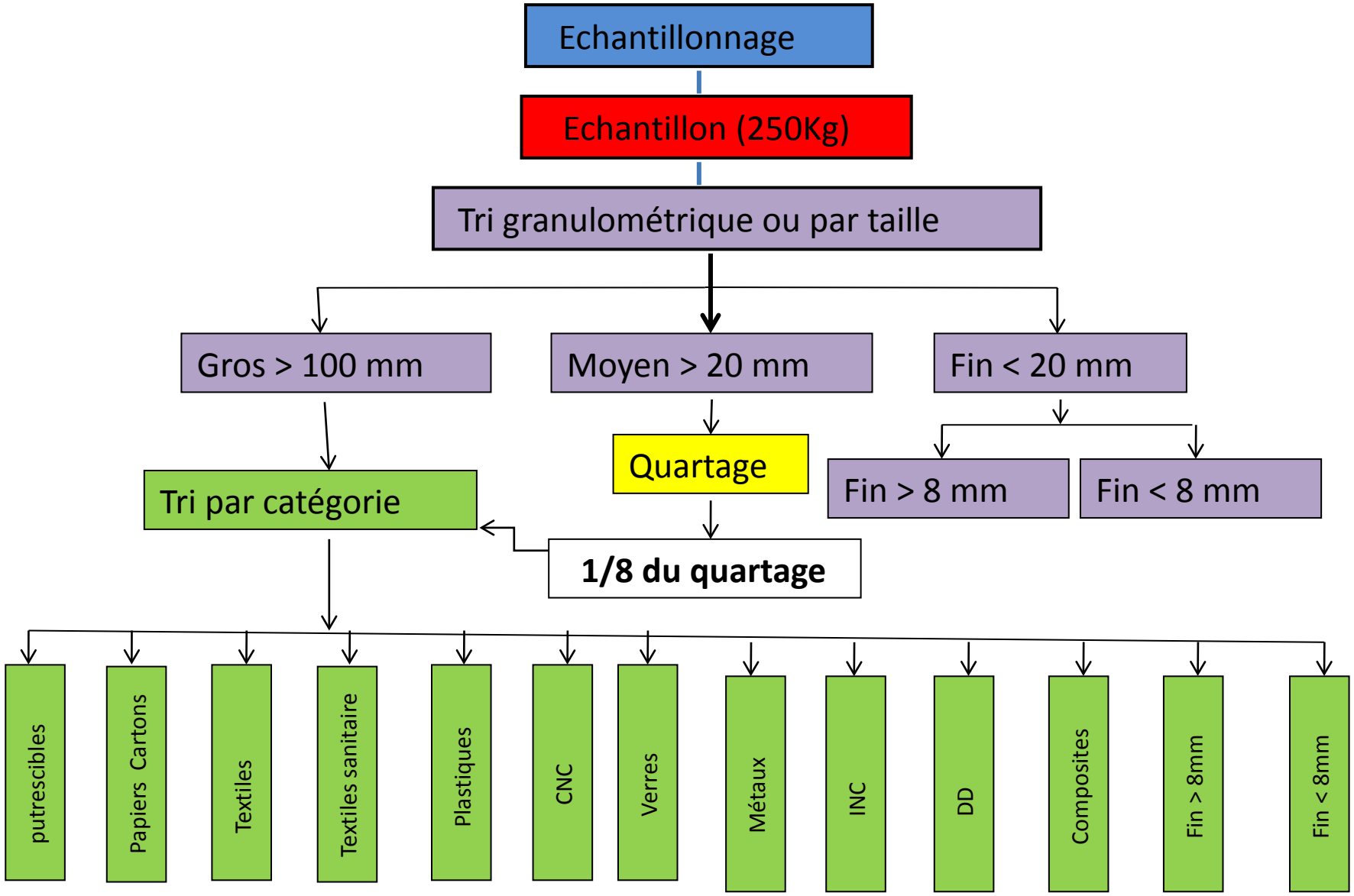

Figure 16: Schéma descriptif et synthétique du protocole de tri et de caractérisation des Déchets

Source: *Aina, Septembre 2006*

Après la caractérisation, chaque catégorie de déchets est pesée et sa masse est notée. Ces différentes étapes du tri et de caractérisation sont présentées à l'annexe 4.

- **Technique de prélèvement des échantillons des déchets pour les analyses physico-chimiques**

Lors de la caractérisation par taille, des échantillons de la fraction extra-fine sont prélevés dans des plastiques préalablement nettoyés. Ces échantillons sont étiquetés et convoyés vers le laboratoire pour le test de lixiviation et de minéralisation afin de faire les analyses physico-chimiques et toxicologiques.

- **Taille de l'échantillon des puits et des plans d'eau**

L'étude a porté sur vingt et un (21) puits à raison de trois (03) autour de chaque décharge et dans la zone témoin (Figure 17).

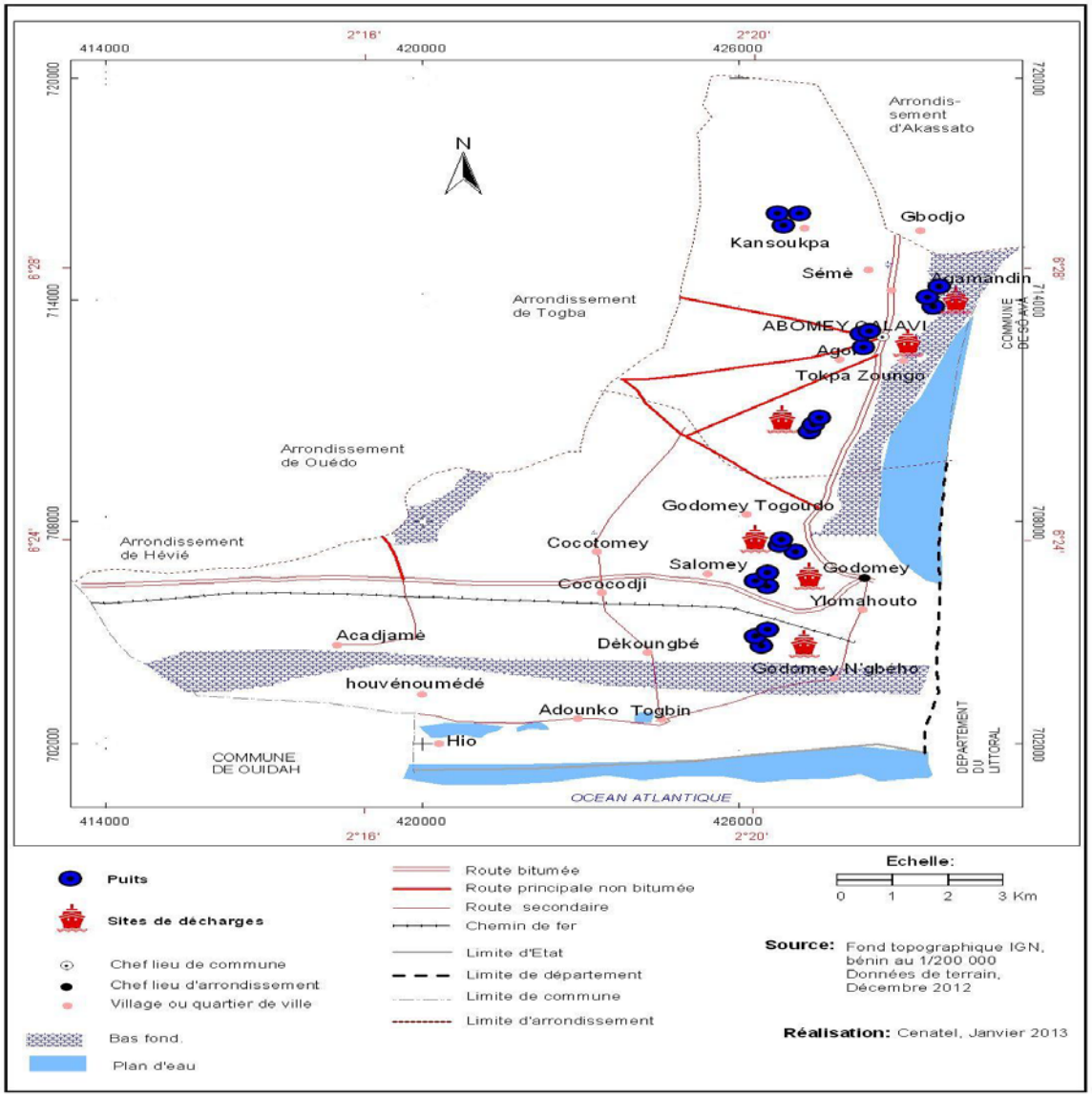

Figure 17: Répartition des puits sélectionnés pour l'étude d'impact des sites de décharges sur les eaux souterraines

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

Les puits sélectionnés dans le cadre de la présente recherche (Figure 17) ont été ceux les plus proches des dépotoirs sauvages ciblés et de la zone témoin.

Quant au plan d'eau, le nombre d'échantillon est égal à trois (03) (Figure 18).

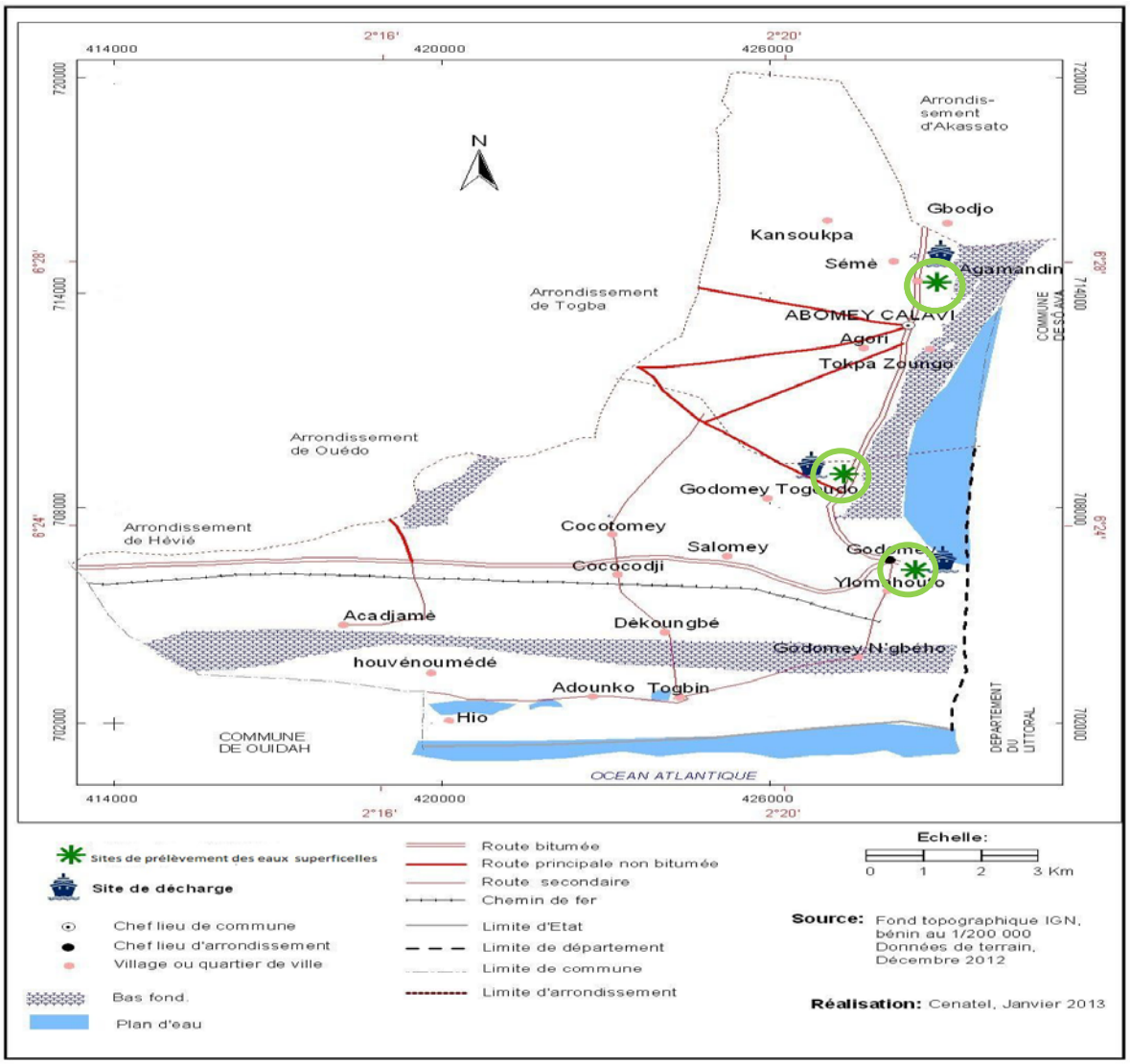

Figure 18: Répartition des lieux de prélèvement des eaux superficielles

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

Comme le montre la figure 18, les eaux ont été prélevées à différents endroits au niveau des plans d'eau dans les arrondisements d'étude.

Les tailles ont été fixées en fonction des contraintes liées aux moyens financiers.

- **Techniques de prélèvement des eaux de puits**

A la veille des prélèvements, les flacons en verre et en matière plastique de 1 l ou de 1,5 l ainsi que les bouchons sont lavés avec de détergent (eaux de javel et OMO Klin) et rincés à l'eau du robinet ensuite à l'eau distillée puis fermés hermétiquement.

Pour faire le prélèvement une corde est attachée à un sceau préalablement rincé trois fois avec l'eau des puits à prélever avant la prise de l'échantillon. L'eau est prise au moins à 50 cm de la surface. Les flacons sont ensuite rincés avec l'eau du seau trois

fois puis remplis complètement jusqu'à l'extrémité puis scellés de manière à faire éviter des réactions interférentes avec l'air. Les flacons contenant les échantillons sont étiquetés de façon claire. Tout cela est fait après la mesure des paramètres in situ (température, pH, et conductivité). Pour les échantillons mis dans des flacons en verre devant servir au dosage des métaux, 2 ml d'acide nitrique ont été ajoutés à chaque échantillon pour la conservation. Les flacons sont conservés dans des glaciaires contenants des glaces et transportés au laboratoire où ils sont conservés dans le réfrigérateur.

- **Techniques de prélèvement des eaux superficelles**

La même procédure a été utilisée pour le nettoyage des flacons. Mais ici, l'eau a été prélevée avec le préleveur automatique. Les échantillons ont été pris au niveau de trois points à des intervalles de cinq (5) minutes pendant une heure de temps. Dix (10) prélèvements sont recueillis au niveau de chaque point. Ces échantillons sont ensuite transvasés dans un récipient nettoyé trois fois avec l'eau prélevée afin d'obtenir une solution homogène. Les flacons sont ensuite rincés trois fois avec cette eau et remplis de la même manière que précédemment. Après le remplissage des flacons, les échantillons sont étiquetés. Ensuite, les paramètres (température, pH et conductivité) ont été pris in situ. Le processus de conservation des échantillons pour le transport vers le laboratoire demeure le même.

- **Taille de l'échantillon des sols**

Au niveau de chaque site de décharge sélectionné trois (03) échantillons de sols ont été prélevés à raison d'un échantillon par niveau de prélèvement à savoir 0, 20 et 100 cm. Sur le site de la zone témoin les échantillons ont été prélevés à trois endroits et aux trois niveaux. Au total vingt-sept (27) échantillons ont été prélevés (Figure 19)

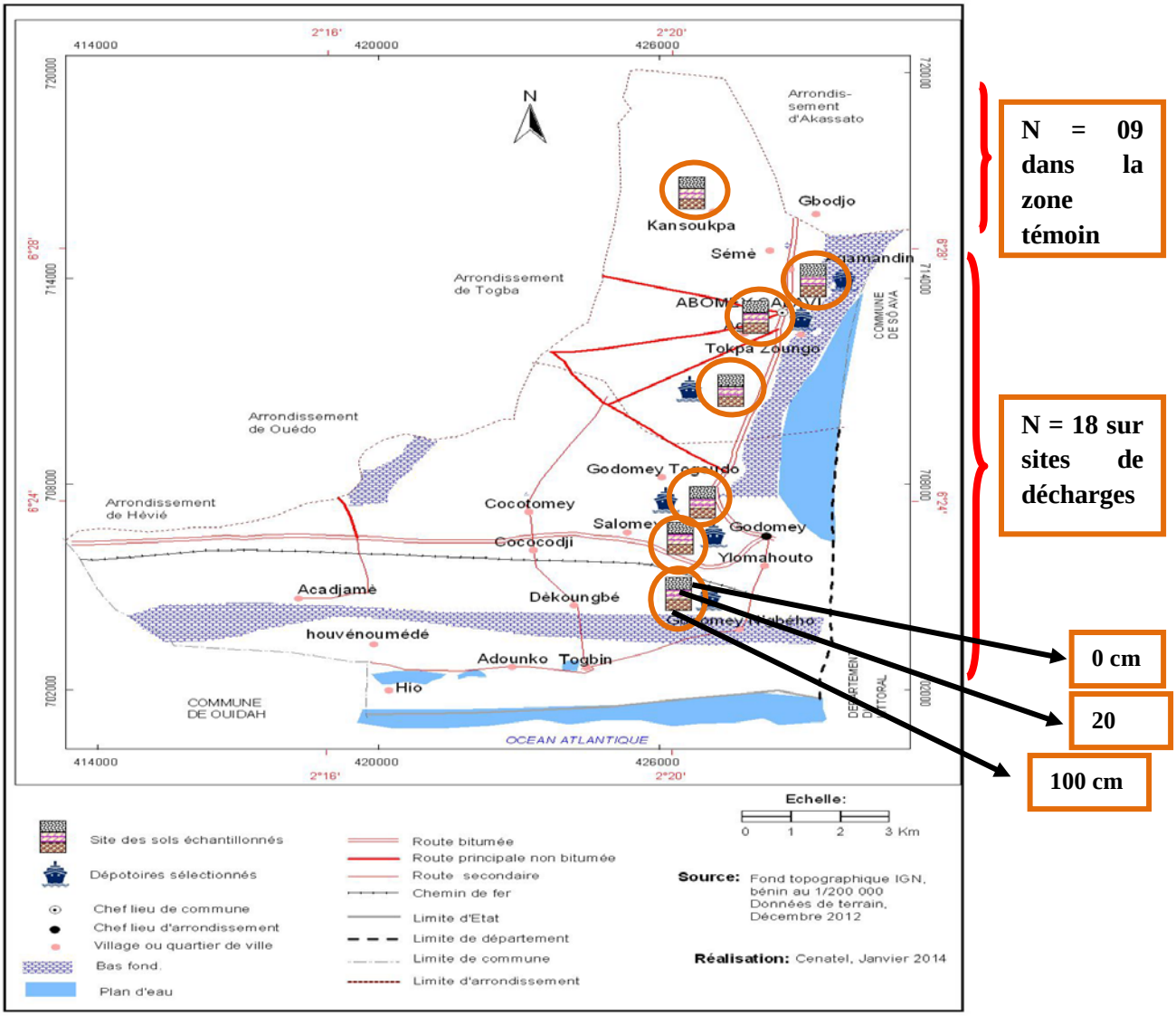

Figure 19: Répartition des points de prélèvement des échantillons des sols dans les zones de recherche
Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

- **Technique de prélèvement des échantillons des sols**

L'examen du sol a été fait jusqu'à cent 100 cm de profondeur. Les échantillons ont été prélevés sur les décharges après décapage des déchets. Les premiers échantillons ont été pris au niveau des premières couches de sol retrouvées après le décapage des déchets qui représentent le niveau zéro. Ces échantillons sont conservés dans des sachets et sont étiquetés. Les deuxièmes sont recueillis après avoir creusé jusqu'à 20 cm. Ils ont été récupérés à l'aide des boîtes cubiques dans leur structure naturelle. Pour les garder dans leur état, des bougies ont été mises sous forme de liquide qu'on a étalé à la surface des échantillons avant la fermeture des boîtes ; ceux réservés pour les

analyses granulométries sont gardés dans des sachets. Les derniers échantillons ont été collectés à 100 cm de profondeur. Les techniques de prélèvement et de conservation ont été les mêmes que celles faites pour les échantillons prélevés à 20 cm. A la suite des prélèvements, chaque horizon du profil pédologique a été décrit. Les échantillons ont été transportés au laboratoire pour le test de lixiviation ou de minéralisation dans le but de la réalisation des analyses physico-chimiques et toxicologiques et aussi pour faire la granulométrie du sol.

Après la détermination des échantillons, une pré-enquête de terrain a été organisée.

❖ Pré-enquête

Elle a permis d'entrer en contact avec les ménages, les autorités locales et les personnes ressources. A cette phase, il a été testé la pertinence des outils de collecte des données, de connaître approximativement la durée des entretiens et de préparer l'enquête proprement dite.

❖ Enquête proprement dite

▪ Enquête auprès des ménages

Elle a été réalisée en trois étapes. La première concerne les ménages des arrondissements de recherche d'une manière générale, la seconde a visé les ménages situés à proximité des décharges et la dernière a ciblé les ménages de la zone témoin. Elle est réalisée à l'aide des questionnaires. Ces questionnaires ont porté sur divers aspects subdivisés en plusieurs rubriques selon les différents ménages retenus par l'étude. Ils sont administrés aux chefs ménages (hommes ou femmes) en l'occurrence les femmes. D'une manière générale, les informations collectées concernent la situation socio-économique des ménages, les pratiques des différents acteurs en matière de gestion des déchets, la valorisation opérée sur les déchets ou de l'une des catégories s'il y a lieu, le consentement des ménages sur l'abonnement et des suggestions pour les frais d'abonnement selon leur capacité, les techniques de traitement des déchets, les nuisances causées par ces différentes techniques notamment la mise en décharge sur le plan environnemental et sanitaire, la qualité physique de l'eau des puits (couleur et turbidité par saison), l'état sanitaire des ménages, les actions menées ou en projet pour réduire ces problèmes, les perceptions des ménages et des

structures de pré-collecte vis-à-vis des actions des pouvoirs publics en matière de gestion des déchets, la perception de chacun des acteurs pour une gestion efficace des déchets et l'implication des différents acteurs dans les activités ou les décisions prises dans le cadre de la gestion des déchets.

- **Entretiens avec les personnes ressources**

Ils ont été réalisés avec: les responsables des structures de pré-collecte des ordures du groupement COSGAC, du centre de santé, les autorités locales (chefs villages et chefs d'arrondissement) et les personnes ressources au niveau de la mairie d'Abomey-Calavi. L'entretien réalisé avec ces différents acteurs a permis de recueillir des informations sur l'historique de la gestion des déchets dans la Commune, les lieux de stockages ou de déversement des déchets, les nuisances causées par les décharges incontrôlées, les actions menées ou en projets pour une meilleure gestion des déchets, les difficultés de chaque acteur pour mettre en place un système de gestion efficace, les points de vue des différents intervenants sur le mode actuel de gestion des déchets puis leurs perceptions pour une amélioration.

- **Observations directes sur le terrain**

L'observation directe est un processus dynamique qui, à la différence du regard oisif ou passif, permet de regarder avec une attention particulière et d'apprécier qualitativement les faits. Elle nécessite la présence sur le milieu d'étude et permet d'observer directement les réalités du terrain. Ainsi, les visites faites sur le terrain d'étude guidées par les charretiers, les responsables des structures de pré-collecte des déchets du groupement COSGAC, les chefs quartiers et les habitants des quartiers de recherche a permis d'apprécier le processus et les résultats immédiats de la gestion des déchets solides ménagers dans la Commune. Elle a permis d'examiner attentivement toute la filière de gestion des déchets depuis la production jusqu'à l'élimination, de recenser et de localiser les différents points de stockage et de déversement des déchets, de relever les activités ou les pratiques vis-à-vis des décharges, d'avoir une idée sur les objets récupérés et de voir les composantes de l'environnement qui sont susceptibles d'être affectées par des dépotoirs sauvages. Elles ont aidé à apprécier l'état de salubrité des quartiers.

Cette technique a permis aussi d'apprécier la fréquence des maladies des sujets provenant des quartiers de recherche.

- **Enquête épidémiologique**

Elle a commencé du 25 juin au 20 décembre 2013. Elle a pris en compte les six derniers mois qui ont précédé l'enquête de terrain. Elle a pour but de dépouiller les registres de suivi des malades et d'apprécier la fréquence des maladies des sujets provenant des quartiers de recherche.

A la suite de ces étapes, une pré-campagne a été faite afin de collecter les informations sur les caractéristiques des déchets.

❖ Pré-campagne pour la caractérisation des déchets

Elle a permis de prendre contact avec les ménages, de leur expliquer l'objectif et la méthode du travail, de déterminer le nombre de ménages devant participer à la campagne de caractérisation, de leur communiquer la date du lancement de la campagne, de localiser sur les sites de décharge sélectionnés l'endroit où se fera le prélèvement des échantillons de sol, d'idendifier et de marquer le nombre de puits à prélever puis de mettre en application les opérations de tri et de caractérisation des déchets afin de connaître la durée des opérations. Tout cela pour mieux organiser la campagne.

❖ Campagne de caractérisation des déchets

Cette opération a eu lieu pendant trois jours au cours de deux saisons (sèche et pluvieuse). A la veille de chaque jour de collecte, des sacs en plastique sont distribués aux ménages. La collecte s'effectue le lendemain de l'heure du dépôt des sachets. Pour les sites de décharge, l'opération a duré deux jours. Après avoir terminé la collecte, les déchets sont acheminés et conservés sur le site de transit. La caractérisation par taille et par catégorie est lancée aussitôt après la collecte des déchets du dernier jour.

Les différentes données collectées sur le terrain sont traitées.

4-3- Traitement des données et analyse des résultats

4-3-1- Traitement des données

4-3-1-1- Dépouillement des données collectées

A l'issue des investigations, les fiches d'enquête ont été classées selon les numérotations. Les données collectées ont été codifiées et les liens entre les variables ont été dégagés. Les données recueillies à la suite des enquêtes et des entretiens ont été saisies sur la feuille de dépouillement du logiciel Epi info version 3.3.2. Ce logiciel a permis de générer les résultats bruts de l'enquête. Par contre, les fiches issues des observations directes et de la campagne de caractérisation des déchets ont été dépouillées manuellement. Pour comprendre comment sont distribuées les données collectées, faire des liens entre les différentes réponses et analyser plus en profondeur ces données, des traitements statistiques, graphiques et cartographiques ont été réalisés.

4-3-1-2- Analyses des paramètres physico-chimiques

- **Détermination de l'humidité**

Pour la détermination de l'humidité, la méthode normée AFNOR NF U 44-171 d'octobre 1982 a été adoptée. Cette méthode consiste en un prélèvement d'une quantité maximale d'échantillon, de préférence une masse supérieure à 100 ± 0,1g, mise à l'étuve à 105 ± 2°C jusqu'à un poids constant environ 24 heures à 72 heures (Alouémine et *al*., 2006; Charnay, 2005; Garcia et *al*., 2005; Yobou et *al*., 2010). Dans cette recherche, pour déterminer l'humidité, les déchets prélevés à la décharge ou collectés à la source sont convoyés le plus tôt que possible au laboratoire pour la mise à l'étuve afin de limiter les pertes par évaporation. Trois échantillons de 200 g de chaque catégorie de déchets par granulométrie et des échantillons de l'ensemble des déchets sont mis dans l'étuve jusqu'à ce que la masse de déchets soit constante. Après séchage, la masse sèche est déterminée par la différence du poids avant séchage et après séchage. L'humidité est calculée par les formules ci-après :

- **Humidité par catégorie et par taille**

$$\boldsymbol{Hg} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{100}} \sum \frac{\boldsymbol{Mcg - Mcgs}}{\boldsymbol{Mcg}} \times \% \, \boldsymbol{C}$$

Hg: humidité des gros ; **Mcg**: Masse humide de la catégorie dans les gros;
Mcgs: Masse de la catégorie dans les gros après passage à l'étuve à 105;
% **C :** Proportion de cette catégorie dans la taille donnée.

- **Humidité globale de l'échantillon reconstitué par taille**

$$\mathbf{Hgl} = [\boldsymbol{Hg} \times \% \, \boldsymbol{G} + \boldsymbol{Hm} \times \% \boldsymbol{M} + \boldsymbol{Hf} \times \boldsymbol{F}] \times \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{100}}$$

Avec % G, % M et % F, respectivement les proportions de gros, moyens et fines dans l'échantillon global et Hg, Hm, Hf, les humidités respectives des gros, moyens et fines.

- **Humidité de l'échantillon de l'ensemble des déchets**

$$\boldsymbol{He} = \frac{\boldsymbol{Me - Mes}}{\boldsymbol{Me}} \times \mathbf{100}$$

He: humidité de l'échantillon de l'ensemble des déchets; **Me**: Masse humide de l'échantillon prélevé; **Mes**: Masse de l'échantillon après passage à l'étuve.

❖ Détermination de la densité à la source

Pour les déchets pris à la source, la densité a été déterminée par rapport aux poids des déchets mis dans un seau de 30 L litres rempli sans tassement. Dix (10) mesures sont effectuées chaque jour pendant trois jours. La densité définie est la somme des masses des dix mesures pendant les trois jours sur 30 fois le volume du seau pendant ces trois jours.

❖ Détermination de la densité sur les sites de décharge

En ce qui concerne les décharges, la densité est estimée par rapport à la masse des déchets prélevés dans trois trous creusés à différents endroits sur chaque décharge et le volume d'eau pouvant remplir ces trous. La densité déterminée fait la somme des masses des déchets prélevés dans les trois trous sur le volume de l'eau pouvant remplir ces trous.

Dans les deux cas, la densité a été calculée suivant la formule :

$$d = M/V$$

M = Masse de l'échantillon en Kg, V= Volume du seau en L.

❖ Pouvoir calorifique inférieur

Le pouvoir calorifique inférieur a été calculé en fonction de la teneur de toutes les catégories de déchets sauf les déchets extra fins. La formule utilisée est celle du modèle conventionnel (Alouémine, 2006). Elle se présente comme suit:

$$\mathbf{PCI = 88 \times 2R + 40,5(P + G) - 6W}$$

R = % Plastique (en masse sèche) ; P = % papier / carton (en masse sèche) ; G = % du reste des déchets (en masse sèche), W = humidité moyenne des déchets (%).

❖ Analyse granulométrique des sols et des granulats

L'analyse granulométrique a été réalisée sur des échantillons de sols et de granulats prélevés au niveau des décharges à différentes profondeurs: 0 cm (couche juste après le décapage des déchets), 20 cm (couche à 20 cm du niveau 0 cm) et 100 cm (couche à 100 cm du niveau 0 cm).

❖ Détermination de l'indice de pollution du sol

L'indice de pollution (IP) est définit suivant la moyenne des rapports des concentrations en métaux dans les échantillons de sol par rapport aux valeurs limites sur le nombre total de métaux étudiés (Chon, 1998).

IP = (Pb/vl + Cd/vl + Cu/vl + Ni/vl)/4.

❖ Détermination de l'indice de plasticité du sol

L'indice de plasticité (Ip) est déterminé par rapport à la limite de plasticité (LP) qui est obtenue en réalisant des baguettes de sol avec les mains et la teneur en eau des baguettes appelée limite de liquidité (LL).

Ip = LL- LP

- **Analyse granulométrique sur des sols**

L'analyse granulométrique sur les sols a été réalisée selon la norme NF 94-056. Le protocole suit les étapes suivantes:

- **Identification de la dimension du plus grand tamis (dm)**

Pour identifier la dimension du plus grand tamis il faut:

- ✓ peser chacun des échantillons de sols apporté au laboratoire et noter leur masse dénommée ml;
- ✓ verser les échantillons un à un dans la série des tamis préalablement montés suivants le tamis qui a la plus petite maille au tamis de la plus grande maille. Dans le présent travail six tamis de dimensions différentes ont été utilisés;
- ✓ agiter manuellement la colonne de tamis ;
- ✓ identifier le premier tamis qui n'a rien retenu. Le diamètre de ce tamis représente la dimension du plus grand tamis nommée dm. Ici dm = 2 mm.

- **Détermination de la masse minimale (mh) de la prise d'essai**

L'échantillon d'essai est déterminé par calcul et ensuite par quartage de l'échantillon apporté au laboratoire. La masse de l'échantillon d'essai est déterminée par la formule d'interpellation suivant la dimension du plus grand tamis, la masse minimale de tamisât nécessaire en fonction de la dimension du tamis inférieure et plus proche de dm notée (d1) puis celle supérieure et plus proche de dm notée (d2) (voir tableau XXX de masse minimale de tamisât nécessaire en fonction de la dimension d'ouverture des mailles du tamis à l'annexe 3b). Ainsi, dans la présente étude on a:

$$\left.\begin{array}{l} d1 \rightarrow 200\ g \\ dm \rightarrow mh \\ d2 \rightarrow\ 300 \end{array}\right\} \rightarrow \frac{d2-d1}{300g-200g} = \frac{dm-d1}{mh-200g}$$; d1 =1mm, d2 =5 mm et dm = 2 mm

$$mh = \frac{900g}{4} = 225 \text{ g}$$

Après quartage mh = 250 g. C'est la masse de l'échantillon devant aller à l'étuve.

Après cette étape, il faut:

- ✓ prélever la quantité mh = 250 g;
- ✓ mettre à l'étuve à 105°C pendant 2 heures;

- ✓ laisser refroidir, peser et noter la masse après séchage = ms;
- ✓ humidifier l'échantillon et laisser pendant 4 heures de temps avec des malaxages périodiques de 30 mn ;
- ✓ laver l'échantillon sur un tamis de 63µm jusqu'à l'obtention de l'eau claire ;
- ✓ mettre le tamisât lavé à l'étuve à 105°C ± 5°C jusqu'à une masse constante ;
- ✓ laisser refroidir, peser et noter la masse après séchage = ms1 ;
- ✓ verser le tamisât dans la série des tamis préalablement montés suivants le tamis qui a la plus petite maille au tamis de la plus grande maille (dm) déterminé plus haut ;
- ✓ agiter manuellement la colonne de tamis ;
- ✓ peser le refus de chaque tamis à la fin et noter les masses ;
- ✓ tracer la courbe et faire l'interprétation.

- **Analyse granulométrique sur des granulats**

L'analyse granulométrique sur les sols a été faite selon la norme NF 933-1. Le protocole suit les étapes suivantes:

- **Identification de la dimension du plus grand tamis (dm)**

Elle est déterminée suivant la procédure utilisée au niveau de l'analyse granulométrique sur les sols.

- **Détermination de la masse minimale (M) de la prise d'essai**

La masse de la prise d'essai est déterminée suivant la formule ci-après :

$$M = \left(\frac{dm}{10}\right)^2$$

M = masse minimale de la prise d'essai

dm = 2,5 mm dans la présente étude.

$$M = \left(\frac{2,5}{10}\right)^2$$

M = 0,0625 kg = 62,5 g

- **Réduction de l'échantillon au diviseur à couloir de la prise d'essai**

Pour obtenir la valeur de la masse de la prise d'essai comprise entre 100 % et 150 % de la masse M, il faut calculer 0,75M et 1,5M. 0,75M = 46,875g et 1,5M = 93,75g

- **Détermination de l'échantillon (ms)**

Il est déterminé par des divisions successives de la masse de l'échantillon (ml) apportée au laboratoire

ml = 1000g ainsi on a : ms = 1000/2 = 500/2 = 250/2 =125/2= 62,5g

0,75M < ms = M alors la réduction au ¾ sur l'échantillon ml suivi des divisions par moitié est effectuée. On a :

$$ms1 = \frac{1000g\ x\ 3}{4} = 750g/2 = 375/2 = 375/2 = 187,5/2 = 93,7g$$

M < ms1 = 1,5M = 93,7

La masse de la prise d'essai est M = 95 après quartage de l'échantillon apporté au laboratoire.

Après cette étape, il faut recourir à la procédure précédente s'il s'agit des échantillons argileux. Mais, dans le cas du sable simple, il faut aller directement au tamisage après l'étuvage.

❖ **Analyse des échantillons des déchets extra-fins, de sols, des eaux de puits et superficielles**

- **Paramètres physico-chimiques**

Pour déterminer les teneurs des paramètres physico-chimiques, le test de lixiviation a été réalisé pour les échantillons des déchets extra-fins et de sols.

✓ **Test de lixiviation**

Le test de lixiviation consiste en une mise en solution au contact d'une certaine masse de solide avec une certaine quantité d'eau. Dans les quatre modes opératoires décrits dans les quatre parties de la norme prEN 12457-2 : 2002 (F), différents rapports Liquide/Solide (L/S) sont choisis (10, 8 et 2). Dans le cas du présent travail, le test de lixiviation a été réalisé avec un rapport L/S égal à 10. Ce choix peut être justifié, car avec un rapport L/S certains constituants sont présents dans le lixiviat à une concentration plus élevée du fait que l'éluat disponible est en petite quantité. De plus, ce ratio L/S égal à 10 est recommandé par la norme AFNOR X31-210 et est optimisé lors des études antérieures au laboratoire. Le protocole adopté pour le test de lixiviation est celui de la norme X31-210. Ce protocole propose de mettre en agitation

100 g avec un litre d'eau distillée ou osmosée (qualité MilliQ) pendant une durée de 3 x 16 h à une fréquence d'agitation de 60 A/R par minute. Mais, ici l'agitation est faite à 150 tours/minute. Ainsi, des essais ont été effectués préalablement pour déterminer le temps d'agitation nécessaire pour atteindre un état stationnaire de relargage des micropolluants. Pour les essais, à 100 g de la fraction extra-fine des déchets et à 100 g des échantillons de sol répartis chacun dans trois différentes bouteilles hermétiquement fermées est ajouté un litre d'eau distillée et mises sous agitation contrôlée à 150 tours/minute. Des mesures du pH et eh sont prises chaque 24 h pour identifier le temps de stabilisation. La stabilisation du pH et du eh est observée après 48 h d'agitation. Dès lors, trois prélèvements de 100 g de chaque échantillon des fractions extra-fines et des sols sont déposés dans trois bouteilles différentes. Chaque échantillon est mélangé avec un litre d'eau distillée et mis en agitation pendant 48 h à une vitesse de 150 tours/mn. Les éluats des mêmes échantillons sont mis dans un flacon en plastique. Ce mélange d'éluat obtenu est utilisé pour déterminer les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, oxygène dissout, DCO DBO5 et NTK).

Ces différents paramètres recherchés dans les lixiviats sont aussi examinés dans les eaux des puits et des plans d'eau situés à proximité des décharges.

- ✓ **pH**

Les mesures du pH des différents échantillons sont réalisées par la méthode potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre de type pH3110 SET 3 (WTW) muni d'une électrode de verre. L'étalonnage a été effectué à l'aide de solutions tampon de pH 4,00 et 7,00 à 20°C. La sensibilité des mesures est de 0,01 unité pH. Les valeurs du pH des échantillons sont lues directement sur le pH-mètre.

- ✓ **Conductivité électrique**

Les mesures de la conductivité des échantillons ont été réalisées avec un conductimètre pH/EC/TDS waterproof Family selon la norme NF EN 27888 (Janvier 1994). Une mesure intégrée de la température permet une compensation automatique de la valeur de conductivité en fonction de la température de la solution (température de référence: 25°C).

✓ **Oxygène dissous**

L'oxygène dissout des échantillons a été déterminé par une méthode électrochimique normalisée (NF T 90-106) grâce à un Oxymètre Oxi 730 WTW inolab (sonde à oxygène).

✓ **Azote total kjeldahl (NTK)**

L'azote total kjeldahl (somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique) est mesuré selon la norme NF EN 25663 Janvier, 1994. La méthode kjeldhal (NF U44-050) a été utilisée pour le dosage de la teneur de l'azote total kjeldahl dans les différents échantillons. Cette méthode suit les étapes suivantes:

- ✓ prélèvement de 50 ml ou 25 ml des échantillons dans des matras selon que l'échantillon est chargé ; ajout de trois billes de verre, de 10 ml d'acide sulfurique concentré et d'une pastille de catalyseur (sélénium et de sulfate de potassium) ;
- ✓ minéralisation des solutions: chauffer les solutions de façon modérée pendant 1 h d'horloge à 180°C et intensification du chauffage pendant 1 h d'horloge à 360°C. Laisser refroidir les minéralisâts à température ambiante. Mettre environ 100 ml d'eau distillée pour faciliter l'ajout de la soude ;
- ✓ distillation des solutions minéralisées: mettre dans un erlenmeyer l,50 ml de solution d'acide borique à 4 % et 4 gouttes d'indicateur mixte (0,2 g de rouge de méthyle;
- ✓ 0,1 g de verre de bromocrésol et 100 ml d'éthanol à 95°C). Ajouter 50 ml de soude dans le matras de la solution minéralisée. Placer le matras et l'erlenmeyer dans le distillateur en prenant bien soin que la tige plonge dans la solution contenue dans l'erlenmeyer;
- ✓ titrage du distillat: le distillat récupéré dans l'erlenmeyer est titré par l'acide chlorhydrique à 0,02 mol/l ou à 0,10 mol/l pour les échantillons contenant une forte concentration d'azote.

La concentration en azote kjeldhal exprimée en milligrammes par litre d'azote est donnée par la formule :

$$N = \frac{M\ x\ C\ x\ (V2 - V1)}{Ve}$$

N = concentration de l'azote kjeldahl dans les échantillons des lixiviats

C = concentration de l'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage

V2 = volume de la solution d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage de l'échantillon

V1 = volume de la solution d'acide chlorhydrique utilisé pour le titrage du blanc

Ve = volume de l'échantillon prélevé pour le dosage

M = masse atomique de l'azote = 14000 mg/l

- ✓ **Demande Chimique en Oxygène (**DCO)

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) est déterminée selon la norme AFNOR en vigueur (NFT 90-101) par une méthode volumétrique de titrage du dichromate de potassium par le sel de Mohr. Cette méthode consiste à prélever 10 ml des échantillons dans les matras (Ve) et à y ajouter 5 ml de la solution de bichromate de potassium, 2 ml d'acide sulfurique, trois billes de verre et 15 ml d'acide sulfurique concentré sous la hotte. Ensuite les matras sont fermés avec les réfrigérants et sont portés a ébullition pendant 2 heures à 180°C dans le réacteur DCO. Après les 2 h d'horloge, les matras sont retirés et on laisse refroidir les solutions sous courant d'air puis on ajoute 43 ml d'eau distillée qui sert à rincer les réfrigérants. Les réfrigérants sont ôtés et on complète aux solutions une goutte de ferroïne et le baro aimanté. Les solutions sont dosées par le sel de Mohr. Il est noté les volumes V_B et V_2. La teneur en matières organiques des échantillons est déterminée par la formule suivante :

$$DCO = \frac{960\ (VB - V2)}{Ve}$$

DCO = Concentration de la matière organique dans les échantillons; VB = Volume de chute du sel de morh qui a permis d'oxyder la matière organique dans l'eau distillée; V2 = Volume de chute du sel de morh qui a permis d'oxyder la matière organique de l'échantillon et Ve = Volume de l'échantillon prélevé.

Pour les échantillons qui ne sont pas trop chargés en matières organiques comme les eaux de puits, les Kit HACHE de la gamme de 0 à 60 mg/l ont été utulisés. A ce niveau, 2 ml de chaque échantillon d'eau de puits ont été prélevés et mis dans les tubes du Kit prêts pour l'emploi. Par la suite, les tubes sont fermés et les mélanges sont agités dans un sens. Ces tubes sont placés dans un minéralisateur DCO à 180°C

pendant 2 h. Après les 2 h d'horloge, ils sont retirés et laissés à température ambiante pour se refroidir. Ensuite, la lecture de la concentration des échantillons en matières organiques (DCO) est faite à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de type Thermo Electron Corporation S série AA Spectrometer.

✓ **Demande Biologique en Oxygène après cinq jours (DBO5)**

La demande biologique en oxygène représente la partie biodégradable en cinq jours de la pollution organique dite carbonée. Dans la présente recherche, elle a été réalisée par la méthode manométrique OXITOP WTW sans dilution. Pour mesurer la DBO5, une quantité donnée de chaque échantillon est prélevée et mise dans l'Oxitop. Cette quantité est déterminée par rapport aux valeurs des DBO théoriques (valeurs des DCO divisée par deux) et de la grille de l'Oxitop qui indique les volumes des lixiviats à introduire dans l'Oxitop et les facteurs de dilution à partir des valeurs des DBO théoriques. Les volumes correspondants à chaque échantillon indiqués par la grille sont prélevés et sont mis dans les Oxitops qui contiennent chacun un agitateur magnétique. Trois pastilles de soude (NaOH) sont introduites dans les caoutchoucs des Oxitops. Les Oxitops sont ensuite fermés, ramenés à 0 et déposés dans le DBOmètres à une température de 20°C pendant cinq jours. Le cinquième jour, l'Oxitop est retiré et la lecture des concentrations en matières organiques des échantillons est directement faite sur les Oxytops du premier au cinquième jour. Les valeurs obtenues le cinquième jour sont multipliées par les facteurs de dilution.

- **Paramètres toxicologiques**

✓ **Dosage des métaux dans les échantillons des liquides**

Pour doser les métaux dans les eaux des puits et les eaux superficielles, les échantillons d'eau qui sont clairs sont mis dans des fioles de 50 ml et ceux troublés sont d'abord filtrés sur le papier filtre Wattman. Par la suite, une goutte d'acide nitrique est ajoutée à chaque échantillon qui passe pour le dosage des métaux comme décrit précédemment.

Les concentrations des métaux dans chaque échantillon sont celles fournies par le spectrophotomètre.

✓ **Dosage des métaux dans les échantillons des solides**

Les échantillons de sols et des déchets extra-fins ont été minéralisés avant le dosage des métaux lourds. Le protocole utilisé pour la minéralisation est celui recommandé par la norme AFNOR7NF X31-151 et utilisé par Prudent et *al*. (1996). Suivant ce protocole, les échantillons à minéraliser sont mis à l'étuve à 70°C pendant 48 heures. Après séchage, ces échantillons ont été tamisés avec un tamis de 63 micromètres. Les tamisâts sont recueillis dans des sachets et sont étiquetés. Trois (3) g de chaque tamisât ont été prélevés et mis dans des flacons stérilisés. Quelques gouttes d'eau distillée sont mises dans chaque flacon pour humidifier l'échantillon. Ensuite, 9 ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré (37 %) et 3 ml d'acide nitrique (HNO_3) concentré (65 %) sont ajoutés à chacun des flacons. Les flacons sont déposés dans la hotte dans un bain de sable chauffé à 150°C pendant 2 heures. Les flacons sont retirés de la hotte après évaporation complète du liquide. Trente cinq (35) ml d'eau distillée sont rajoutés à chaque flacon. Ces flacons sont réintroduits dans le bain de sable sous la hotte à même température pendant 30 mn. Après les 30 mn, les flacons sont retirés et laissés pour que les échantillons se refroidissent. Par suite, les échantillons sont transvasés dans une fiole de 30 ml. Au cas où le liquide n'atteint pas les 30 ml, il est complèté avec de l'eau distillée. Les minéralisâts ainsi obtenus sont filtrés sur des papiers filtre Wattman dans des bouteilles de 125 ml préalablement stérilisées. Chaque minéralisât passe au spectrophotomètre pour le dosage des métaux. Ici les concentrations des métaux dans les minéralisâts sont calculées par la formule ci-après:

$$Cf = \frac{Cl\ x\ Vf}{Mp}$$

Cf = concentration du métal; Cl = concentration lue ou fournie par le spectrophotomètre; Vf = volume du filtrat = 30 ml dans la présente étude; Mp = masse du tamisât prélevé = 3g dans le cas de cette étude.

Les résultats isssus des différentes analyses réalisées ont subi un traitement statistique et graphique.

4-3-1-3- Traitements statistique et graphique

Les logiciels de traitement Epi-Info, Epi Data, SAS 9.2 (*Statistical Analysis System*) et Excel ont été utilisés pour faire la statistique descriptive, le calcul des fréquences, des pourcentages et des moyennes. La procédure des modèles linéaires généralisés du SAS a été utilisée pour l'analyse de variance. Le test F de Fischer a été exploité pour déterminer la significativité de chaque effet du modèle utilisé. Les moyennes ont été

comparées deux à deux par le test t de student. La procédure *proc corr* du SAS a été utilisée pour déterminer la dépendance entre les variables étudiées. Les différences significatives ont été déterminées au seuil de probabilité $p < 0,001$ fortement significatif, $p < 0,01$ moyennement significatif et $p < 0,05$ faiblement significatif.
Les tableaux, les graphes et les courbes ont été aussi produits à l'aide du tableur Excel.

4-3-1-4- Traitement cartographique

Les données géo référencées sur le terrain (les coordonnées géographiques des sites de décharges, des puits dont les eaux ont été prélevées, des lieux de prélèvement des eaux superficielles et des sols, le tracking réalisé au niveau des sites de décharge) et les fonds de cartes ont constitué la base de données pour la réalisation des différentes cartes. Le traitement des données par le logiciel Arc-view a permis d'élaborer des cartes thématiques et de synthèses portant sur la localisation des puits dont les eaux ont été analysées, les lieux de prélèvement des eaux superficielles et des sols, puis la spatialisation des sites de décharge. Les résultats obtenus à partir des traitements statistiques et graphiques ont fait l'objet d'analyse.

4-3-2-Analyse des résultats

Les résultats obtenus ont été analysés suivant le modèle PEIR, les normes admises et la matrice de Léopold.

4-3-2-1- Modèle PEIR

Le modèle PEIR a été utilisé pour analyser les problèmes environnementaux liés aux décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. De façon pratique, il est identifié d'abord l'état (situation avant la prolifération des sites de décharges), ensuite les pressions (forces agissantes et ayant Induit des changements dans un état habituel), les impacts (dommages dus aux changements intervenus) et enfin les réponses (mesures correctrices pour atténuer les impacts négatifs et maximiser ceux positifs). Cette approche a permis de comprendre l'effet conjugué des principaux facteurs qui influencent la prolifération des sites de décharges, les manifestations de ces facteurs et les conséquences qui en découlent.

4-3-2-2- Normes utilisées

Les résultats obtenus à partir des traitements statistiques ont été analysés et comparés aux normes du Bénin, de la France, de l'OMS et de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) afin d'apprécier la qualité des eaux de puits, des eaux superficielles et des sols. Les normes béninoises sur la qualité de l'eau potable ont été comparées aux résultats d'analyse des eaux de puits, celles françaises sur la qualité des eaux superficielles sont comparées aux résultats d'analyse des eaux superficielles tandis que les normes AFNOR NF U 44-041 NF U 44-041 et du sol normal ont été comparées aux résultats d'analyse des sols (Tableau XXXI annexe 3a).

Pour évaluer l'ampleur des impacts identifiés, la matrice de Léopold a été utilisée.

4-3-2-3- Matrice de Leopold

Cette matrice a éte utilisée pour mieux apprécier les impacts engendrés par les décharges incontrôlées sur les sols, les eaux et la santé humaine. Pour évaluer ces impacts, trois paramètres de l'impact négatif ont été utilisés. Il s'agit de:

- la durée qui peut-être momentanée (impact dure un bref moment) temporaire (impact s'échellonne sur quelques jours, semaines ou mois) ou permanente (impact à long terme ou définitif) ;
- l'étendue qui est ponctuelle (impact ressenti dans un espace réduit et circonscrit ou seulement par quelques individus), locale (impact ressenti sur une portion limitée de la zone de recherche ou par un groupe restreint de sa population) ou régionale (impact ressenti sur un grand territoire ou qui affecte une grande portion de sa population),
- de l'ampleur (degré de perturbation) qui est faible (impact ne provoquant que de faibles modifications de la composante visée, ne remettant pas en cause son utilisation, ses caractéristiques ni sa qualité), moyennne (impact qui engendre des perturbations modérées au niveau de la composante du milieu touchée et qui modifient modérément son utilisation, ses caractéristiques ou sa qualité), forte (impact qui résulte en des modifications importantes de la composante du milieu, qui se traduisent par des modifications importantes au niveau de son utilisation, de ses caractéristiques ou de sa qualité).

Le croisement de ces paramètres à travers le cadre de référence de l'ABE a permis de déduire l'importance de l'impact. Cette évaluation de l'importance de l'impact est faite selon trois critères que sont : faible, moyen ou fort comme l'illustre le tableau VII. Pour les données quantitatives les normes sont utilisées. Dans ce cas :

- **Importance faible :** l'amplitude de l'impact est faible ou presque nulle. Elle se situe en dessous des normes ou lois en vigueur. Les effets sont temporaires et restent à l'échelle des variations naturelles.
- **Importance moyenne :** Les impacts négatifs sont modérés et couvrent une large étendue d'impacts, depuis le niveau où l'impact est considéré comme mineur, jusqu'au niveau où l'amplitude de l'impact est proche du dépassement d'une norme/limite (légale) établie. La réversibilité naturelle est possible à l'échelle de plusieurs années.
- **Importance forte :** l'impact est au dessus des normes et est parfois irréversible.

Tableau VII : Cadre de référence de l'évaluation des impacts.

Etendue	Durée	Degré de perturbation			
		Faible	moyen	Forte	Très forte
		Importance de l'impact			
Momentanée	Ponctuelle	Faible	Faible	Faible	Moyenne
Momentanée	Locale	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Temporaire	Ponctuelle	Faible	Faible	Moyenne	Forte
Temporaire	Locale	Faible	Faible	Moyenne	Forte
Momentanée	Régionale	Faible	Moyenne	Moyenne	Forte
Permanente	Ponctuelle	Faible	Moyenne	Moyenne	Forte
Temporaire	Régionale	Faible	Moyenne	Forte	Forte
Permanente	Locale	Faible	Moyenne	Forte	Forte
Permanente	Régionale	Moyenne	Forte	Forte	Forte

Source : *ABE, 1998*

L'utilisation de la matrice a permis de mettre en évidence les impacts majeurs et d'avoir une idée sur le degré de perturbation de l'impact.

Conclusion partielle

La deuxième partie a permis de retenir que les fondements du milieu naturel et organisationnel ont favorisé le développement de la pratique de la mise en décharge incontrôlée et de sa prolifération dans les arrondissements d'étude. Dans cette partie, les méthodes adoptées pour répondre aux questions de recherche ont été présentées. Ceci s'est fait à travers une étude descriptive et des données analytiques sanitaires, socio-économiques et environnementales. Ces méthoses utilisées ont permis d'obtenir des résultats sur l'état de la gestion des déchets dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey puis l'influence des décharges incontrôlées sur les sols, les eaux et la santé humaine.

La troisième partie présente les résultats obtenus et les discussions.

TROISIEME PARTIE :

Résultats et discussions

Introduction partielle

La croissance de la population de la Commune d'Abomey-Calavi est très remarquable dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey où il est constaté une augmentation accélérée de leur population. Dans ces deux arrondissements en plein essor démographique, la quasi totalité des déchets pré-collectés par les structures de pré-collecte et les ménages est évacuée sur les dépotoirs sauvages qui séjournent des années. Avec l'extalonnement urbain dans les deux grands arrondissements, les espaces libres sont devenus rares. La conséquence directe de cette situation est l'intensification de l'élimination des déchets dans des bas-fonds, des anciennes carrières de sable puis des cours et plans d'eau. Dès lors, la pollution esthétique, atmosphérique et des plans d'eau sont notoires ; Celles liées au sol et aux eaux souterraines sont peu connues par les populations. Les sites de décharges n'ayant fait objet d'aucune étude d'impact préalable, le biogaz constitué essentiellement du méthane combustible et de gaz carbonique inerte s'échappe dans l'air. Quant aux lixiviats qui renferment de la matière organique dissoute et des composés minéraux, ils s'écoulent directement dans les plans d'eau à proximité des décharges, s'infiltrent dans le sol et contaminent ces derniers (Wastesum, 2010 et Daouda, 2012). Le sol étant le point d'intersection de plusieurs domaines (la biosphère, l'atmosphère, et l'hydrosphère), sa contamination affecte d'autres composantes de l'environnement comme la flore et les eaux souterraines (Piedrafita et Mariav, 2007). Ainsi, ces substances constituent des sources de propagation de diverses maladies. C'est pour cette raison qu'il est jugé opportun d'exposer l'état de la gestion des déchets solides ménagers et particulièrement des sites de décharges incontrôlées. De plus, il est question de connaître les caractéristiques physico-chimiques des sols, des eaux superficielles et souterraines ainsi que l'état de santé des ménages à proximité des sites de décharges dans cette troisième et dernière partie de la thèse.

Cette partie a été structurée en trois chapitres. Le chapitre cinq, montre l'état actuel de la gestion des déchets solides ménagers et les carctéristiques des sites de décharges incontrôlées. Le chapitre six est consacré à l'évaluation de la contamination des sols, des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharge et le chapitre sept qui aborde les nuisances des décharges sur la santé des populations puis les suggestions.

Chapitre V: Gestion des déchets solides ménagers et caractéristiques des sites de décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-1- Gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-1-1- Caractérisation des déchets solides ménagers des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-1-1-1- Production des déchets solides ménagers

Les résultats des trois jours de collecte des déchets solides ménagers en saison sèche et en saison pluvieuse auprès des ménages sélectionnés par la recherche dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey relèvent une production de 466,07 kg soit en moyenne 155,36 kg de déchets par jour en saison sèche et 267,62 kg en moyenne 89,21 kg de déchets par jour en saison pluvieuse. Les ratios sont de 0,53 et 0,63 respectivement en saison sèche et en saison pluvieuse (Tableau VIII).

Tableau VIII : Ratio des déchets solides ménagers par saison dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey

Saisons	Nombre de ménages	Production (Kg)	Nombre d'habitants	Ratio (kg/hab/j)
Saison sèche	62	466,07 **a**	291	0,53 **a**
Saison pluvieuse	30	267,62 **a**	141	0,63 **a**

Les moyennes interclasse de la même colonne suivies des lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %

Source: *Données de terrain, Février 2012*

Du tableau VIII, il ressort que le ratio journalier des déchets solides ménagers dans les arrondissements de recherche ne diffère pas significativement en fonction des saisons. Cependant, il est constaté qu'il est plus important en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

Les déchets quantifiés ont varié aussi beaucoup par rapport à leurs compositions physico-chimiques.

5-1-1-2- Densité

La densité a été déterminée à partir des déchets collectés pendant les trois jours de campagne de caractérisation. Les mesures ont été réalisées par le remplissage sans tassement d'un seau de trente (30) litres dix (10) fois. La moyenne des résultats obtenus est présentée dans le tableau IX.

Tableau IX: Densité des déchets par saison

Saisons	Saison sèche	Saison pluvieuse	Effet saison
Densité	0,20	0,41	**

** = moyennement significatif

Source: *Données de terrain, Février 2012*

La valeur moyenne de la densité des déchets, obtenue diffère significativement selon les saisons (Tableau IX). La valeur la plus élévée est notée en saison pluvieuse et la plus faible en saison sèche.

5-1-1-3- Humidité

L'humidité est déterminée après le tri par taille. Le Tableau X présente les teneurs en humidité des déchets solides ménagers.

Tableau: X: Humidité des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey

Saisons	Humidité par taille				Humidité Globale
	Gros > 100	Moyens >20	Fins >8	Extra fins <8	(%)
Saison sèche	25	29,9	18,8	9	18,25
Saison pluvieuse	42	43,75	20,5	9,5	24,63
Effet saison	**	**	*	NS	*

NS = Non Significatif * = faiblement significatif ** = moyennement significatif

Source: *Données de terrain, Février 2012*

Les résultats du Tableau X montrent que le taux d'humidité dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey a varié significativement en fonction des saisons. Le

taux le plus élevé (24,63 %) est obtenu en saison pluvieuse et le plus bas en saison sèche (18,25 %).

5-1-1-4- Pouvoir calorifique inférieur des déchets solides ménagers

Les résultats du pouvoir calorifique obtenus sont présentés suivant les saisons dans le Tableau XI.

Tableau XI: Pouvoir calorifique inférieur des DSM dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et Godomey

Saisons	Pouvoir calorifique inférieur (Kcal/kg)
Saison sèche	1776,11
Saison pluvieuse	1377,73
Effet saison	*

* P = faiblement significatif

Source: *Données de terrain, Février 2012*

Des résultats du Tableau XI, on peut retenir que le pouvoir calorifique inférieur des déchets a différé par rapport aux saisons. La moyenne la plus élévée est observée en saison sèche et la plus faible en saison pluvieuse.

5-1-1-5- Rapport carbone/azote (C/N)

Le rapport C/N est un indice important dans la production et la valorisation des composts et des terres fertilisantes favorables aux activités agricoles. Ainsi, l'aptitude de la catégorie des déchets extra-fins du secteur de recherche est déterminée par le rapport C/N (Tableau XII).

Tableau XII: Rapport carbone/azote (C/N) selon les saisons

Saisons	Carbone	Azote	C/N
Saison sèche	170,1 **a**	18 **a**	9,45 **a**
Saison pluvieuse	103 **a**	10,5 **a**	9,81 **a**

Les moyennes de la même colonne, suivies par des lettres différentes sont différentes de façon significative au seuil de 5 %

Source : *Données de terrain, Février 2012*

Des résultats du tableau XII, il ressort que les moyennes des rapports C/N obtenues n'ont pas varié selon les saisons. Toutefois, cette moyenne est plus élevée en période pluvieuse que sèche. Elles tournent autour de 9 dans le secteur de recherche.

5-1-1-6- Répartition granulométrique

La séparation des déchets par taille a été faite à l'aide des cribles: grosses (> 100 mm), moyennes (> 20 mm), fines (> 8 mm), et extra-fines < 8mm. Les résultats de cette séparation par taille sont présentés par la figure 20.

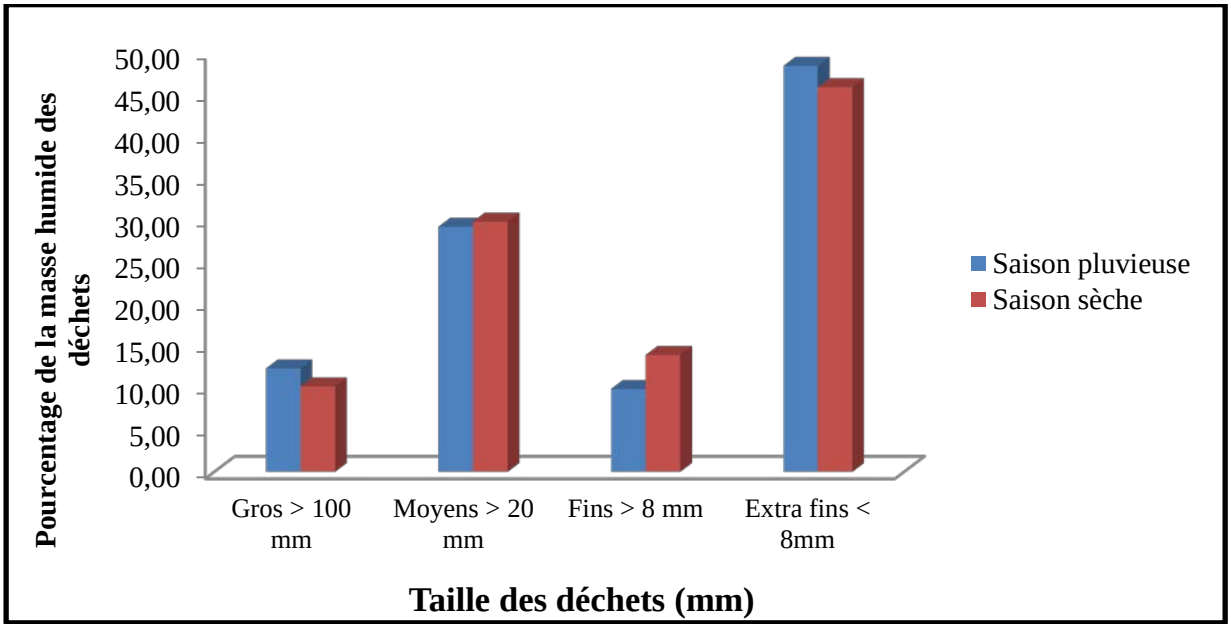

Figure 20: Répartition par taille des DSM dans les arrondissements de recherche

Source: *Données de terrain, Février 2012*

De la figure 20, il est observé que la fraction dominante des DSM dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey est celle des extra-fines avec des pourcentages de 45,93 % pendant la saison sèche et 48,46 % en saison pluvieuse suivie

des moyennes avec des pourcentages de 29,90 % et 29,28 % respectivement en saison sèche et en saison pluvieuse. Aussi, ces déchets n'ont-ils pas varié par rapport aux saisons selon les catégories.

5-1-1-7- Composition des déchets

Les résultats du tri par catégorie des déchets des poubelles des ménages ayant participé à la campagne de collecte ont montré que les déchets renferment les treize catégories identifiées par MEDECOM. La figure 21 présente par proportion les catégories de déchets qui composent les poubelles des ménages du secteur de recherche.

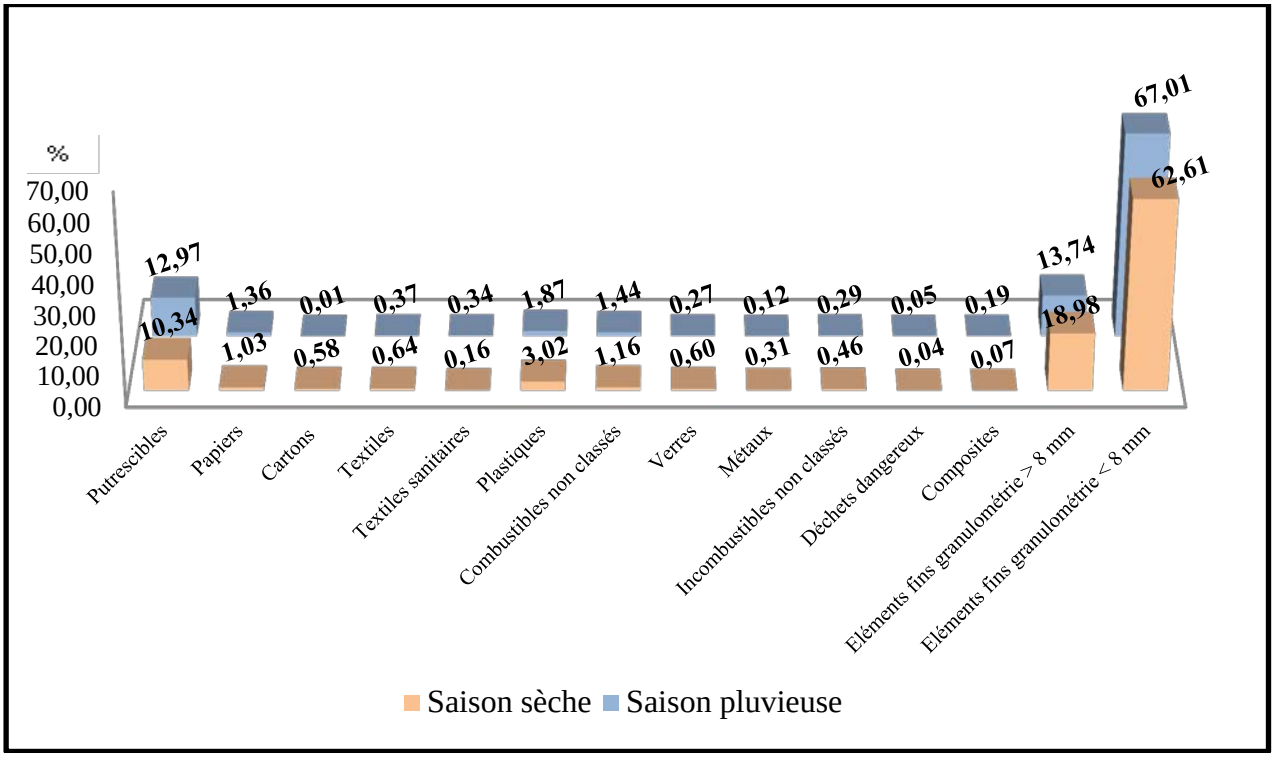

Figure 21: Composition des DSM des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

Source: *Données de terrain, Février 2012*

De la Figure 21, il ressort que la fraction fine < 8 mm reste la plus importante pendant les deux saisons. Cette fraction est suivie dans l'ordre d'importance de trois principales catégories qui sont: les éléments fins >8 mm, les putrescibles et les plastiques qui renferment surtout des sacs en sachet.

5-1-2- Mode de gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-1-2-1- Du ramassage des déchets au stockage dans la sphère domestique

Dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, les observations faites sur le terrain relèvent qu'après le nettoyage au niveau des concessions, les déchets sont simplement repoussés à quelques mètres sur des dépotoirs situés dans un coin de la concession ou ramassés à l'aide des objets comme les pelles en plastique ou en éléments métalliques, des portions de cartons, ou tous autres objets pouvant permettre de faire le ramassage. Les déchets ainsi ramassés sont mis dans des poubelles avant d'être évacués ou jetés directement sur les dépotoirs situés sur les cours des concessions ou à proximité. D'après les données de l'enquête sur le terrain, 35,24 % des ménages interrogés jettent directement leurs déchets sur les dépotoirs sauvages d'ordures et 64,76 % les mettent dans des poubelles avant l'évacuation. La figure 22 renseigne sur la disposition ou non des poubelles par les ménages interrogés dans les deux arrondissements de recherche.

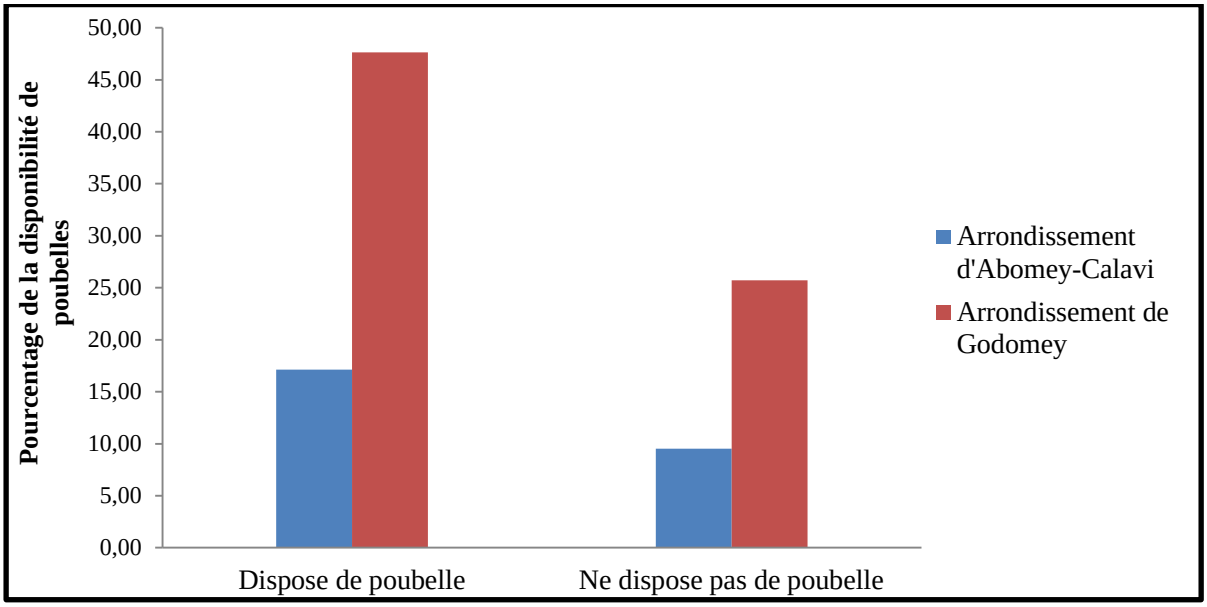

Figure 22: Présence ou non de poubelles dans les ménages

Source: *Données de terrain, Mars 2013*

De la Figure 22, il est observé que près de la moitié des ménages enquêtés, disposent de poubelles aussi bien dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi que dans celui de Godomey. Ces poubelles sont de différents types et leur gestion diffère d'un ménage à

un autre. Sur les 408 des ménages qui ont déclaré disposer de poubelles, 44,61 % utilisent des seaux en plastique et les 55,39 % restants emploient d'autres types de poubelles (Tableaux XIII).

Tableau XIII : Types de poubelles utilisées par les ménages des arrondissements de recherche

	Bidons étanchés		Paniers		Sachets		Sacs de lin		Seaux en plastique		Bassines		Tonneaux		seaux en aluminium		**Total**	
Arrondissements	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abomey-Calavi	11	10,19	12	11,11	02	1,85	22	20,37	45	41,67	05	4,63	06	5,55	05	4,63	108	100
Godomey	48	16	25	8,34	03	01	51	17	137	45,67	18	06	08	2,66	10	3,33	300	100

% : Pourcentage; **n**: Effectif

Source: *Enquête de terrain, Mars 2013*

Du tableau XIII, il est à retenir que dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi deux types de poubelles sont plus employées par les ménages : les seaux en plastique (11,03 %) et les sacs en lin (5,39 %). Dans celui de Godomey, il est noté respectivement les seaux en plastique (33,58 %), les sacs en lin (12,50 %), les bidons étanchés (11,76 %) et les paniers (6,13 %). Des investigations de terrain, il ressort que les poubelles sont souvent usées. Elles sont parfois pleines et une partie des déchets qu'elles contiennent déverse par terre avant qu'elles ne soient vidées (Planche I).



Photo 1: Poubelle en bidon étanché remplie de déchets à Zogbadjè



Photo 2: Poubelles en plastique et sacs en lin remplies de déchets à Godomey

Planche I: Poubelles remplies de déchets dans les arrondissements de recherche.

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

La planche I présente les types de poubelles utilisées dans les ménages. Comme le montrent les photos 1 et 2, les poubelles contiennent tout un mélange de catégories de déchets, ce qui prouve que ces déchets ne sont pas triés avant la mise en poubelle. Les investigations sur le terrain confirment cet état de choses où 75,87 % (23,81 % dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 52,06 % dans celui de Godomey) soit plus de ¾ des ménages interrogés ont déclaré ne pas trier les déchets avant la mise en décharge contre 24,13 % (2,86 % dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 21,27 % pour celui de Godomey). Il ressort des observations faites sur le terrain que ces derniers ne font pas en réalité un tri mais une récupération de certaines catégories de déchets. Ajoutons aussi que ces poubelles sont installées à l'extérieur devant les concessions ou à l'intérieur sur les cours des concessions très souvent à ciel ouvert, près des récipients de stockage des eaux de boisson et des cuisines (Photo 3).

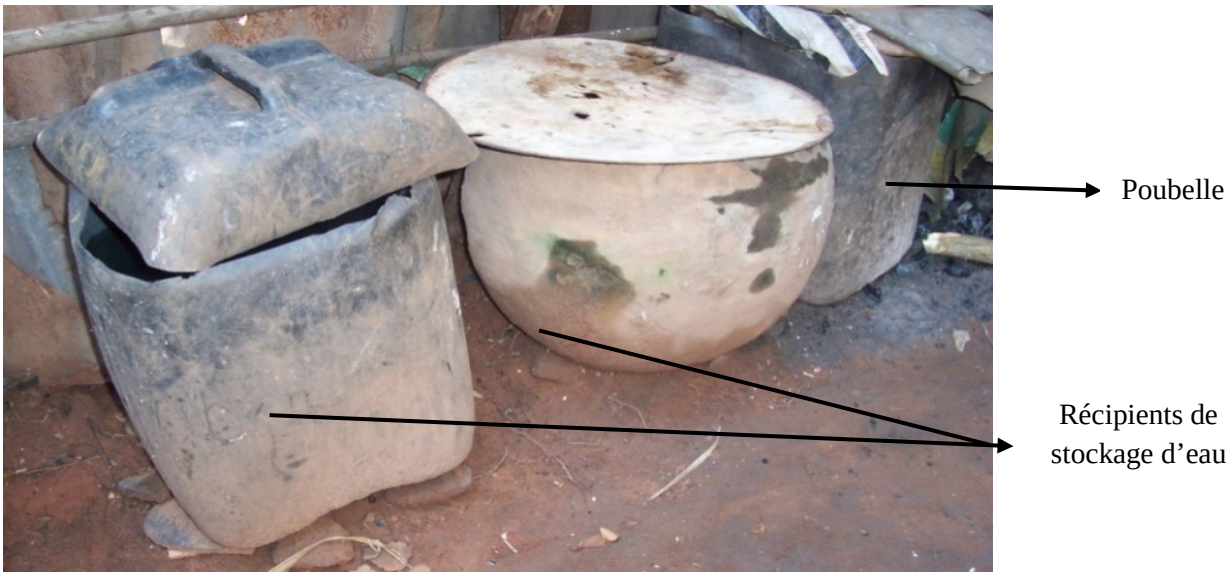

Photo 3 : Poubelle installée à l'intérieur de la concession près des récipients de stockage de l'eau servant aux travaux domestiques

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

La photo 3 illustre le lieu d'installation d'une poubelle. Selon les investigations de terrain, ces poubelles séjournent à ces endroits pendant des jours avant d'être vidées. Le tableau XIV présente les temps de séjour des poubelles dans les concessions par arrondissement.

Tableau XIV: Temps de séjour des poubelles dans les concessions par arrondissement.

	Chaque jour		1/semaine		2/semaine		3/semaine		4/semaine		5/semaine		**Total**	
Arrondissements	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abomey-Calavi	25	23,15	06	5,56	66	61,11	05	4,63	02	1,85	04	3,70	108	100
Godomey	85	20,83	25	6,13	148	36,27	25	6,13	13	3,19	04	0,98	300	100

%: Pourcentage; n: Effectif **;** **Source:** *Enquête de terrain, Mars 2013*

Du tableau XIV, il ressort que près de la moitié soit 52,45 % des ménages interrogés vident leurs poubelles deux fois par semaine, 7,60 % une fois par semaine, 7,35 % trois fois par semaine, 3,68 % quatre fois par semaine, 1,96 % cinq fois par semaine et 26,96 tous les jours.

5-1-2-2- Pratiques en matière d'évacuation des déchets

Des investigations de terrain, il ressort que les pratiques concernant l'évacuation des déchets dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey se résument à la collecte primaire qui revêt deux modes : la pré-collecte par apport volontaire et la pré-collecte porte à porte.

❖ Pré-collecte par apport volontaire

Dans les deux arrondissements de recherche, l'activité de pré-collecte par apport volontaire est réalisée par les ménages qui apportent les déchets à l'aide des poubelles du domicile vers des sites de décharges incontrôlées (Planche II).



Photo 4: Apport de déchets sur un dépotoir sauvage par un membre d'un ménage à Cococodji.



Photo 5 : Apport de déchets sur un dépotoir sauvage par un membre d'un ménage à Tokpa-Zoungo.

Planche II : Apport de déchets sur des dépotoirs sauvages dans les quartiers des arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

La planche II montre l'apport des déchets aux dépotoirs par des enfants. Comme le retracent les photos (4 et 5), cette tâche est souvent réservée aux enfants. Sur 454 ménages ayant répondu à cette question, 341 soit 75,11 % ont signalé que cette tâche est assurée par les enfants et 113 soit 24,89 % par les adultes. Ces usagers mènent cette activité à des heures variées. 59,91 % d'entre eux se débarrassent de leurs déchets très tôt le matin entre cinq (5) heures et sept (7) heures, 23,35 % dans la journée entre sept (7) heures et dix-huit (18) heures et 16,74 % après dix-huit (18) heures jusqu'à vingt-trois (23) heures. Ces heures sont adoptées pour divers motifs (Tableau XV).

Tableau XV: Motifs des heures d'évacuation des déchets dans les arrondissements de recherche

	Lieux interdits		Disponibilité		Distance Dépotoir/ Habitation		Fin travaux domestiques matinaux		Sans motif		**Total**	
Arrondissements	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abomey-Calavi	06	5,36	09	8,04	00	0,00	75	66,96	22	19,64	112	100
Godomey	33	9,65	44	12,87	34	9,94	180	52,63	51	14,91	342	100

%: Pourcentage; **n:** Effectif

Source: *Enquête de terrain, Mars 2013*

D'après le tableau XV en dehors des sites de décharges dont l'accès est interdit, où les ménages préfèrent aller soit tard la nuit ou très tôt le matin, les heures d'évacuation des

déchets par les ménages sont surtout liées à celles de la fin des travaux domestiques matinaux. Pour atteindre les dépotoirs, ces ménages parcourent diverses distances qui sont très souvent proches du lieu d'habitation. La figure 23 présente les distances parcourues par les ménages interrogés pour atteindre les sites de décharges incontrôlées.

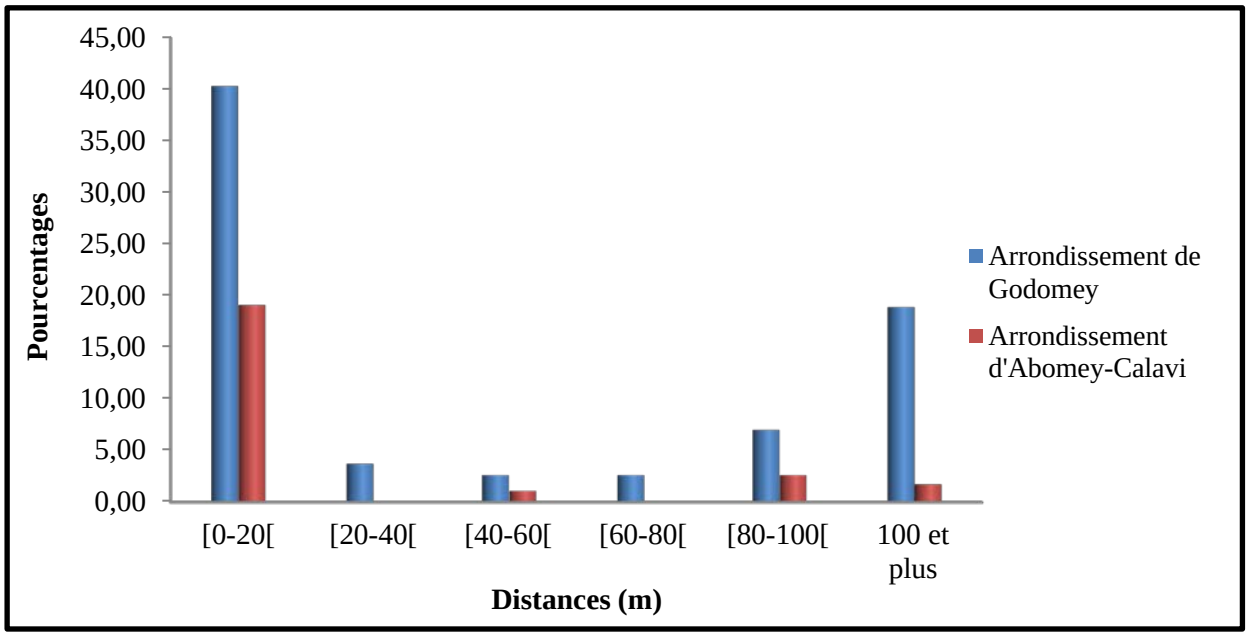

Figure 23: Distance effectuée par les ménages pour atteindre les sites de décharges incontrôlées

Source: *Données de terrain, Mars 2013*

L'observation de la Figure 23 montre que la plupart des ménages questionnés dans les deux arrondissements parcourent moins de distance pour évacuer leurs déchets. 59,47 % de ces ménages (19,16 % et 40,31 % respectivement dans les arrondisements d'Abomey-Calavi et de Godomey) font une distance de 0-20 m ; ceux qui parcourent de longues distances (plus de cent mètres) sont minoritaires avec un taux 1,76 % dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 18,94 % dans celui de Godomey.

- **Pré-collecte porte à porte**

Dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, deux formes de pré-collecte porte-à-porte sont à distinguer. Il s'agit de la pré-collecte porte-à-porte par les ONG de pré-collecte et de la pré-collecte porte-à-porte par les récupérateurs ambulants.

- **Pré-collecte porte-à-porte par les ONG**

Dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, la pré-collecte porte-à-porte est assurée par le COSGAC. D'après les informations recueillies auprès des ONG de pré-collecte, cette activité est organisée par zone. Ainsi, chaque ONG de pré-collecte a une zone d'intervention qui est attribuée par le COSGAC. Les critères d'attribution de ces zones sont entre autres :

- ancienneté d'intervention dans la zone ;
- importance des abonnés dans la zone ;
- capacité opérationnelle de l'ONG (moyens matériels et humains).

Notons qu'actuellement ce zonage réalisé par le COSGAC a été réaménagé par le PUGEMU suivant de nouveaux critères:

- la quantité approximative de déchets et le nombre d'abonnés par secteur ;
- la capacité technique de l'ONG à exercer efficacement ;
- le nombre et la concentration des abonnés déjà acquis ;
- la qualité des prestations évaluées à partir des plaintes de la mairie et celles reçues des abonnés ;
- le taux de couverture effectivement réalisé par la structure ;
- l'expérience et l'expertise de la structure.

Pour le nouveau zonage, l'attribution des zones d'intervention sera matérialisée par une convention entre la Mairie, le COSGAC et chaque ONG de pré-collecte.

D'après les investigations de terrain, la plupart des ONG enquêtées ne maîtrisent pas ces critères et ne veulent même pas en discuter. Elles demandent de se renseigner auprès du collectif. Pour l'instant, elles restent dans l'attente de leur nouvelle zone mais continuent d'intervenir dans les anciennes.

L'activité de pré-collecte dans les arrondissements de recherche se fait sept jours sur sept. Cette activité commence à partir de 6 h 30 mn et prend fin entre seize (16) et dix sept (17) heures.

Les charretiers se répartissent dans les quartiers qui leur sont attribués par leurs responsables et recueillent les déchets chez les ménages abonnés (Planche III). L'observation faite sur le terrain et les données collectées auprès des ONG ont révélé que les charrettes manuelles ou à traction humaine sont les plus exploitées et représentent 65,52 % des moyens utilisés soit respectivement 24,14 % à Abomey-

Calavi et 41,38 % à Godomey, suivi respectivement des charrettes motorisées (24,14 %) et des autos (10,34 %).



Photo 6: Retrait des poubelles par les charretiers chez les ménages abonnés à Cocotomey



Photo 7: Déversement des déchets des poubelles dans la charrette à traction humaine par les charretiers

Planche III : Retrait des poubelles par les charretiers au niveau des ménages dans les arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

La planche III montre la pré-collecte des déchets par les charretiers dans les ménages. Il a été constaté sur le terrain qu'à chaque remplissage de la charrette au cours de la pré-collecte, les charretiers convoient les déchets recueillis vers les décharges incontrôlées (planche IV).

D'après les données recueillies au niveau du COSGAC, ces charretiers recueillent les déchets auprès de 14.949 ménages dont 5.118 dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 9.831 dans celui de Godomey. Selon les enquêtes de terrain, 176 ménages interrogés sur 630 soit près de 28 % sont abonnés. Ces ménages abonnés, déclarent payer une tarification mensuelle qui varie entre 500 F CFA et 4000 F CFA pour une fréquence d'enlèvement de deux fois par semaine. Ces informations ont été confirmées par les ONG de pré-collecte qui ont notifié que le coût de l'enlèvement des déchets varie entre 500 F CFA et 5000 F CFA contre une fréquence de deux fois par semaine. Aussi, ont-elles signalé que le frais d'abonnement varie en fonction du standing et du nombre de ménages au sein d'une concession. Sur ces frais d'abonnement, un prélèvement de

75 F CFA est effectué par mois et par abonné. De cette somme, 50 F CFA sont retournés à la mairie et 25 F CFA au COSGAC pour son fonctionnement.



Photo 8: Charrette remplie de déchets et en train d'être convoyés vers un site de décharge incontrôlée à Godomey



Photo 9: Charrette remplie de déchets et en train d'être convoyés vers un site de décharge incontrôlée à Agamadin

Planche IV : Charrette remplie de déchets en train d'être convoyés sur des décharges incontrôlées

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

La planche IV montre le transport des déchets vers les sites de décharges incontrôlées. De l'observation de la photo (8) et celle faite sur le terrain, il ressort que les charrettes remplies par un mélange de toutes les catégories de déchets, sont pour la majorité intercalées par les bois, les contreplaqués ou les feuilles de tôle afin qu'elles puissent garder une quantité importante de déchets. Malgré ce support, les déchets débordent les charrettes et échouent par terre le long du trajet. De plus, du fait que les charrettes ne sont pas couvertes, par l'action du vent, ces déchets s'envolent, s'éparpillent dans les quartiers et le long du circuit du transport jusqu'aux sites de décharge (Planche V).



Photo 10 : Déchets convoyés sur un site de décharge à Abomey-Calavi pour être déversés



Photo 11 : Déchets convoyés vers un site de décharge à Tokpa-Zoungo et en train d'être déversés

Planche V: Déchets convoyés sur des sites de décharges dans les arrondissements d'étude

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

Après le déchargement des déchets sur les dépotoirs (photo 10 et 11), les charretiers retournent dans les ménages et recommencent la même opération. Selon les déclarations de ces derniers, la navette maison des ménages et sites de décharge est de quatre à six tours par jour. Mais, pendant les week-ends, le nombre de tours augmente et peut atteindre sept à huit.

- **Pré-collecte porte-à-porte par les récupérateurs ambulants**

Cette forme de pré-collecte porte-à-porte est réalisée dans les arrondissements choisis pour la recherche par des femmes qui sont très souvent des béninoises qu'on appelle communément "Gohoto" qui signifie en dialecte fon «acheteur de bouteilles» et des hommes qui sont généralement des Nigériens ou des Ghanéens appelés "Gankpogblégblé" qui signifie métal usé. A la différence des ONG de pré-collecte, ces derniers font une pré-collecte sélective des déchets. Ils s'intéressent aux déchets réutilisables, réemployables et recyclables.

Sagisant des récupérateurs ambulants femmes, elles sont munies de panier sur la tête et passent dans les quartiers (Planche VI).



Photo 12 : Récupérateur ambulant dans un quartier de Godomey



Photo 13 : Récupérateur ambulant dans un ménage à Godomey

Planche VI : Récupérateurs ambulants dans les quartiers des arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

De la planche VI, il est observé une femme ayant sur la tête un panier et qui sillonne les rues des quartiers et la seconde femme dans une maison. Ces dernières sont à la recherche des bouteilles et des plastiques. Comme le montre les photos (12 et 13), ces femmes pré-collectent les bouteilles en verre, en plastique et des boîtes de canette chez les ménages et les rémunèrent en retour. Les prix d'achat subissent des variations selon la taille, la couleur, l'état des objets et la demande sur le marché. Ces objets achetés par les femmes sont ensuite revendus en gros aux "Gosato" (vendeuses de bouteille) installées dans les marchés les plus animés de la Commune (Tokpa, Cocotomey, Cococodji, Godomey) ou dans le marché Dantokpa à Cotonou. Ces dernières à leur tour les revendent en détail aux ménages qui les réutilisent, les réemploient ou les recyclent.

En ce qui concerne les hommes, ils sillonnent les vons des quartiers avec leur pousse-pousse en criant "Gankpogblégblé" pour signaler eux aussi aux ménages leur passage (Photos 14 et 15). Pour ces derniers, le prix est fixé en fonction du poids des objets. Selon les informations recueillies sur le terrain, le prix d'un kilogramme d'objets cédés s'élève à 75 F CFA.



Photo 14: Récupérateur ambulant à Agori



Photo 15: Point de regroupement des objets récupérés à Tokan

Planche VII: Objets récupéres par les Gankpogblégblé dans les quartiers des arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Octobre 2013*

De la planche VII, il est observé un jeune homme (récupérateur) avec le pousse-pousse rempli des éléments métalliques et un lieu de stockage de ces objets. L'observation de ces photos montre que ces hommes s'intéressent surtout aux ferrailles, aux objets en aluminium, aux plastiques, aux batteries usées, aux fils électroniques, aux vieux véhicules, aux vieux engins, vélos et ventilateurs… Selon les informations recueillies auprès des récupérateurs, les objets sont ramenés au point de regroupement pour être revendus aux gérants de ces points à cent (100) francs CFA le kilogramme ou pour être déposés si le récupérateur est payé mensuellement.

Du côté des gérants des points de regroupement, les objets sont revendus sur place aux forgerons et aux ménages pour une réutilisation, un réemploi ou un recyclage ou bien sont convoyés vers le siège principal à Cotonou dans la zone d'Akpakpa. Au siège principal, le prix de vente dépend aussi du poids des objets.

5-1-2-3- Traitement des déchets

Selon les investigations de terrain, deux modes de traitement des déchets sont plus pratiqués dans les arrondissements de la recherche. Il s'agit de la valorisation et de la mise en décharge traditionnelle.

❖ Valorisation

Dans les arrondissements sélectionnés, la valorisation des déchets se résume essentiellement au réemploi, à la réutilisation et au recyclage.

- **Réemploi et réutilisation**

Les résultats d'enquête de terrain ont révélé que 100 % des ménages interrogés font le réemploi ou la réutilisation de certains de leurs déchets. Au nombre de ces déchets il est retenu les bouteilles en verre signalées par 34,24 % des ménages, les sacs en sachet par 18,42 %, les bouteilles en plastique par 23,68 %, le reste des nourritures par 7,89 %, les vieux vêtements par 7,88 %, les sacs par 2,63 % puis les déchets métalliques et les boîtes de canettes par 5,26 %.

Par rapport au réemploi, ces ménages ont déclaré utiliser les boîtes de canettes pour les sucettes, le reste des nourritures comme aliments pour les animaux domestiques, les sacs en sachets déjà utilisés ou les plastiques pour faire des emplettes et les bouteilles en verre et en plastique pour y mettre l'eau de boisson, de l'huile, des savons liquides, des boissons locales et des jus de fruits locaux. Les sacs, les chaussures et les vêtements font objet de don pour un réemploi. Ce mode de valorisation est pratiqué aussi par les charretiers qui au cours de la pré-collecte récupèrent des chaussures, des vêtements (Photo 16) qu'ils utilisent comme tenues de travail. On note également l'utilisation des déchets plastiques et des chaussures abîmées pour réparer d'autres objets plastiques (Photo 17) ou chaussures pour un réemploi.



Photo 16: Récupération des vêtements par les charretiers sur un dépotoir à Abomey-calavi



Photo 17: Atelier de réparation des objets plastiques à Abomey-Calavi

Planche VIII: Valorisation des déchets par le réemploi

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2013*

La photo 16 montre des charretiers qui récupèrent certains objets dont les vêtements sur les dépotoirs après le rejet des déchets et la photo 17 un atelier de réparation des objets en plastique à partir des déchets plastiques récupérés.

En ce qui concerne la réutilisation, l'observation de terrain révèle que les sacs en sachet déjà utilisés ou les objets en plastique sont réutilisés par les ménages pour attiser le feu (Photo 18), les bouteilles en verre et en plastique pour conserver les ingrédients de cuisine (piment, sel, ail, poivre, crevettes…..) et des tisanes (écorces des plantes thérapeutiques), les haillons et des coupons de tissus qui servent de chiffons dans le ménage ou à fabriquer des oreillers (Photo 19) et les chaussures abîmées pour couvrir les bidons.



Photo 18 : Réutilisation des sachets pour attiser le feu dans un ménage à Abomey-Calavi



Photo 19: Oreillers fabriqués avec des haillons par un récupérateur à Tokpa-Zoungo

Planche IX: Valorisation des déchets par la réutilisation

Prise de vue : *Yêmadjè, Octobre 2013*

La photo 18 montre la manière d'attisser le feu à l'aide des sachets et la photo 19 la technique de fabrication des oreillers.

- **Recyclage**

Le recyclage n'est pas noté au sein des ménages. Il est plus observé hors de la sphère domestique dans les deux arrondissements. Il est plus noté au niveau des ateliers de fonderie et de forge où les flacons de désodorisants, d'insecticides, les boîtes de canettes de boisson, les casseroles et les marmites usées sont utilisés dans la fabrication des ustensiles de cuisine (Photo 20). Les fils de fer des vieux pneus servent à faire des cages (Photo 21).



Photo 20: Marmites recyclées dans un atelier de fonderie dans le marché de Tokpa-Zoungo



Photo 21: Cage fabriquée à l'aide des fils de fer extraits des vieux pneus

Planche X: Valorisation des déchets par récyclage

Prise de vue : *Yêmadjè, Octobre 2013*

Les nouvelles marmites (photo 20) sont fabriquées à partir des marmites usées et des boîtes de canettes. Ces marmites sont vendues ou remises aux clients qui ont amené des marmites usées, des boîtes de canettes ou des objets en aluminium. En ce qui concerne la cage (photo 21), elle est fabriquée par des récupérateurs enfants ou adolescents.

Dans ces arrondissements, ces quelques formes de valorisation sont accompagnées dans le traitement des déchets par la mise en décharge traditionnelle.

- **Mise en décharge traditionnelle des déchets**

La mise en décharge traditionnelle est le moyen le plus adopté pour l'élimination des déchets dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. Ce mode d'élimination des déchets est pratiqué aussi bien par les ménages que par les structures de pré-collecte. Sur 630 ménages interrogés, 419 soit 71,27 % évacuent directement leurs déchets sur les sites de décharges incontrôlées et 28,73 % passent par les structures de pré-collecte. Les ménages non abonnés utilisent comme sites de décharges les bas-fonds, les trous perdus, les espaces libres, la cour des concessions et la brousse. Le tableau XVI présente les sites de décharges qu'utilisent les ménages interrogés.

Tableau XVI : Lieux d'évacuation des déchets par les ménages

Arrondissements	Bas-fonds		Espaces vides		Trous perdus		Cours des concessions		Brousses		Total	
Arrondissements	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Abomey-Calavi	14	13,08	71	66,36	15	14,02	00	0,00	07	6,54	107	100
Godomey	73	21,35	211	61,69	53	15,50	05	1,46	00	0,00	342	100

Source : *Données de terrain, Mars 2013*

Le Tableau XVI révèle que les sites de décharges les plus exploités par les ménages non abonnés sont les espaces vides, les bas-fonds et les trous perdus. En ce qui concerne les ONG de pré-collecte, 100 % de celles interviewées ont déclaré exploiter ces mêmes sites. Parmi elles, 54,84 % utilisent les bas-fonds, 25,80 % les trous perdus, 12,90 % les espaces vides, 3,23 % les champs et 3,23 % les anciennes carrières de sable. Pour 86,96 % soit près de 6/7 des structures de pré-collecte interviewées, les sites de décharges sont privés et leur utilisation demande des négociations. Elle peut être payante et ceci mensuellement ou gratuite accompagnée des fois par des dons en nature ou en espèces. Pour le contrat payant, ces structures ont déclaré payer des sommes qui varient entre 10.000 et 15000 F CFA aux propriétaires terriens par mois. Dans le cas contraire, ce sont les propriétaires terriens qui invitent les charretiers ; afin qu'ils viennent déverser les déchets sur leur domaine situé au niveau des bas-fonds ou dans les anciennes carrières de sable ; ceci, dans le but de combler ces bas-fonds et anciennes carrières de sable pour les mettre en valeur. Dans ce cas, les charretiers sont rémunérés ou non par les propriétaires des domaines. Ce type de contrat n'est pas toujours respecté car les charretiers rompent le contrat s'ils trouvent mieux ailleurs.

Cette pratique très courante qui consiste à mettre en décharge pêle-mêle engendre la prolifération des dépotoirs incontrôlés dans les quartiers de villes et les villages des arrondissements d'étude.

En dehors de ces formes d'élimination des déchets notées dans les arrondissemnts d'étude, il existe d'autres moins importantes telles que le brûlage des déchets pratiqué surtout au niveau des dépotoirs sauvages et la pratique de la fosse ménagère qui consiste à enfouir les déchets dans des trous et à les enterrer.

5-2- Caractéristiques des sites de décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-2-1- Localisation

Les résultats du recensement des sites de décharges dans les deux arrondissements de recherche ont révélé l'existence de cent quarante deux (142) sites de décharges incontrôlées importants dont trente-quatre (34) dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et cent huit (108) dans celui de Godomey (figure 24).

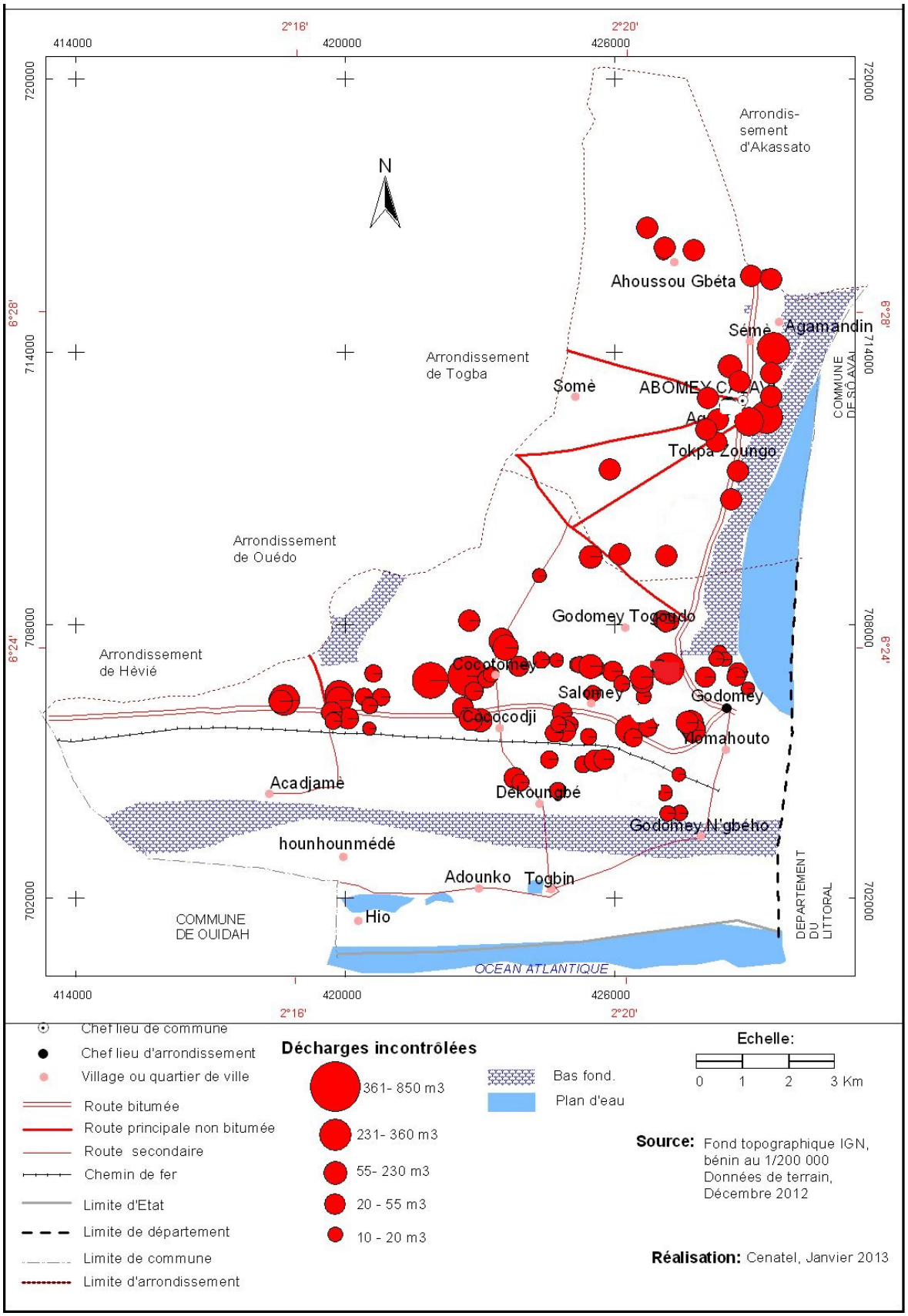

Figure 24: Répartition des sites de décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey.

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

De la figure 24, il est observé des sites de décharges incontrôlées. Ce recensement ne rend pas compte de façon exhaustive du nombre de dépotoirs existants dans ces arrondissements. Mais, il montre l'expansion et les zones où les sites de décharges sont plus concentrés. L'arrondissement de Godomey regroupe plus de sites de décharges incontrôlées. Les décharges sont installées au niveau des bas-fonds, des plans d'eau, dans les anciennes carrières de sable et sur la terre ferme. (Figure 25).

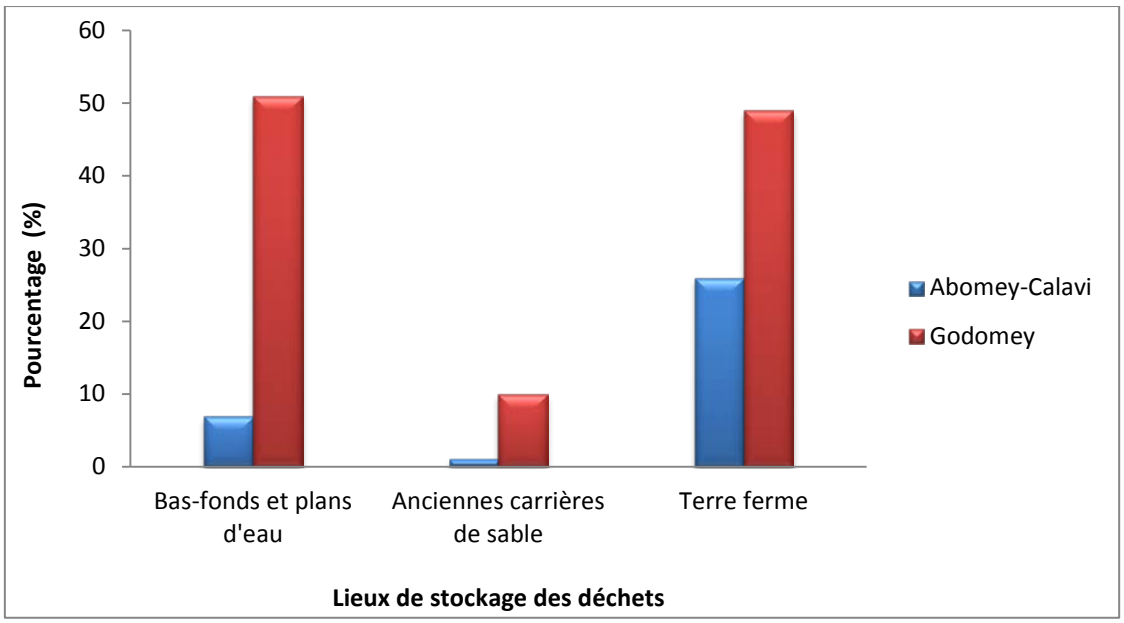

Figure 25: Emplacement des sites de décharges dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey.

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

De la figure 25, Il ressort que dans l'arrondissement de Godomey, 46,36% soit près de la moitié des décharges se trouvent dans les bas-fonds et les plans d'eau. Par contre dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi, ces sites s'observent plus sur la terre ferme soit 76,47%. Le nombre important de sites de décharges au niveau des bas-fonds et plans d'eau dans l'arrondissement de Godomey par rapport à celui d'Abomey-Calavi observé sur la figure 18, est lié au site de cet arrondissement qui est constitué dans sa grande partie de marécages.

5-2-2-Description des sites de décharges incontrôlées

De l'observation faite sur le terrain, il ressort que dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, les décharges incontrôlées prolifèrent dans les quartiers de villes et de villages. Elles ont des superficies variant entre 9,8 m² et

2943,7 m² puis des hauteurs comprises entre 0,1 m et 12 m. Leur volume varie entre 10 m^3 et 850 m^3. Elles sont à ciel ouvert et à proximité des habitations. Leur distance par rapport aux premières habitations varie entre 0 et 30 m. Elles constituent des lieux de déversement des eaux usées et de défécation. Ces décharges sont périodiquement brûlées. Les lixiviats provenant de ces dernières s'écoulent dans les plans d'eau, s'infiltrent dans le sol ou ruissellent autour de la décharge. Quant au biogaz, il s'échappe dans l'atmosphère. Les décharges reposent sur des sols hydromorphes, le long du lac Nokoué, de la lagune Djonou et au niveau des marécages. Elles se retrouvent aussi sur les sols ferralitiques et ferrugineux au niveau des terres fermes et dans les anciennes carrières de sable. Ces zones se trouvent sur des altitudes comprises entre 1 et 5 m pour des pentes de 0,1 à 1 % et des altitudes de 5 et 30 m pour des pentes de 1 à 5 %. Notons que certaines décharges se situent sur des versants.

5-2-3-Pratiques autour des sites de décharges

5-2-3-1- Entretien des sites de décharges

Des informations recueillies sur le terrain, il ressort que ces sites de décharges sont nettoyés et brûlés périodiquement par les ménages et les structures de pré-collecte (Photos 22 et 23). L'entretien est effectué lorsque les décharges atteignent de grands volumes ou débordent sur les voies. (40,10 % des ménages non abonnés et 52,17 % des structures de pré-collecte questionnées pratiquent ces modes de traitement des déchets.



Photo 22: Site de décharge brûlé à Agori



Photo 23: Nettoyage d'un site de décharge à Sèmè par une structure de collecte

Planche XI : Entretien des sites de décharges dans les arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*

La fumée libérée après le brûlage des déchets de la décharge (photo 22) et l'odeur que dégagent les déchets après un long séjour sur la décharge plus particulièrement aux heures du nettoyage (photo 23) font que les propriétaires terriens ou les riverains interdisent l'évacuation des déchets sur ces sites en adoptant des pratiques endogènes.

5-2-3-2- Pratiques endogènes pour empêcher l'érection des sites de décharges incontrôlées

L'observation sur le terrain a permis de relever trois pratiques endogènes. Il s'agit des plaques d'interdiction, de l'emblème du culte Zangbéto et de la construction des haies. Les photos 24 et 25 témoignent ces faits.



Photo 24 : Emblème du culte zangbéto au niveau d'un dépotoir à Agori à Abomey-Calavi



Photo 25 : Construction de haie autour d'un dépotoir à Houédonou à Godomey

Planche XII: Pratiques endogènes utilisées dans les arrondissements de recherche pour empêcher l'érection des sites de décharges.

Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*

Des investigations de terrain, il ressort que l'utilisation de l'emblème du culte zangbéto présenté par la photo 24 est très efficace. Les autres pratiques endogènes ne sont fonctionnelles que le jour.

5-2-3-3- Activités autour des décharges incontrôlées

Les observations directes sur le terrain ont permis de noter deux principales activités autour des sites de décharges. Ces activités sont : les activités agricoles et la récupération.

Par rapport aux activités agricoles, ces sites sont exploités pour les semences après un bref nettoyage ou les déchets extra-fins sont prélevés pour servir du compost dans les jardins (photo 26). Aussi les plans d'eau qui se trouvent au pied de ces décharges sont-ils utilisés pour arroser les cultures (photo 27). Au nombre des cultures produits, on peut citer : les laitues, les carottes, du *Solanum macrocarpum.*



Photo 26: Un jardinier en train de prélever les déchets extra-fins sur une décharge à Zogbadjè

Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*



Photo 27: Jardin au pied d'une décharge à Godomey

Hormis ces différents services qu'offrent les sites de décharges dans le domaine agricole illustrés par les photos 26 et 27, il existe aussi l'activité de récupération. Cette activité est pratiquée par les enfants et les adultes des deux sexes. Signalons que les charretiers s'adonnent également à cette activité. Ces récupérateurs sillonnent les dépotoirs à n'importe quelle heure de la journée même sous le soleil ardent munis d'un sac et parfois d'un instrument leur permettant de faire la fouille, en quête de tout ce qui peut être recyclable (Planche XIII).



Photo 28 : Récupérateurs enfants sur un site de décharge à Tokpa-Zoungo



Photo 29 : Récupérateur adulte sur un site de décharge à Godomey

Planche XIII: Récupérateurs d'objets sur les sites de décharges dans les arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*

L'activité de récupération illustrée par la planche XVIII est focalisée surtout sur la collecte des plastiques, des objets métalliques, des chaussures, des fils électriques, des chargeurs, des batteries, des objets électroniques, des livres, des vêtements, des sacs (photos 30 et 31).



Photo 30: Objets récupérés par des Récupérateurs enfants



Photo 31: Nettoyage des objets par un récupérateur à Abomey-Calavi

Planche XIV: Objets récupérés sur les sites de décharges dans les arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*

De la planche XIV, il est observé les différents types d'objets collectés par les récupérateurs sur les décharges. Ces objets sont vendus, réemployés ou réutilisés. Ils servent également de jouets pour les enfants (photo 30).

5-2-4- Caractérisation des déchets des sites de décharges incontrôlées

5-2-4-1- Aspects physiques des déchets des sites de décharges

- **Répartition granulométrique**

La séparation des déchets par taille a été réalisée suivant quatre granulométries : les gros (>100mm), les moyens (>20mm), les fins (>8mm) et les extra-fins (<8mm). La figure 26 présente les résultats du tri des déchets par taille et par dépotoir sélectionné.

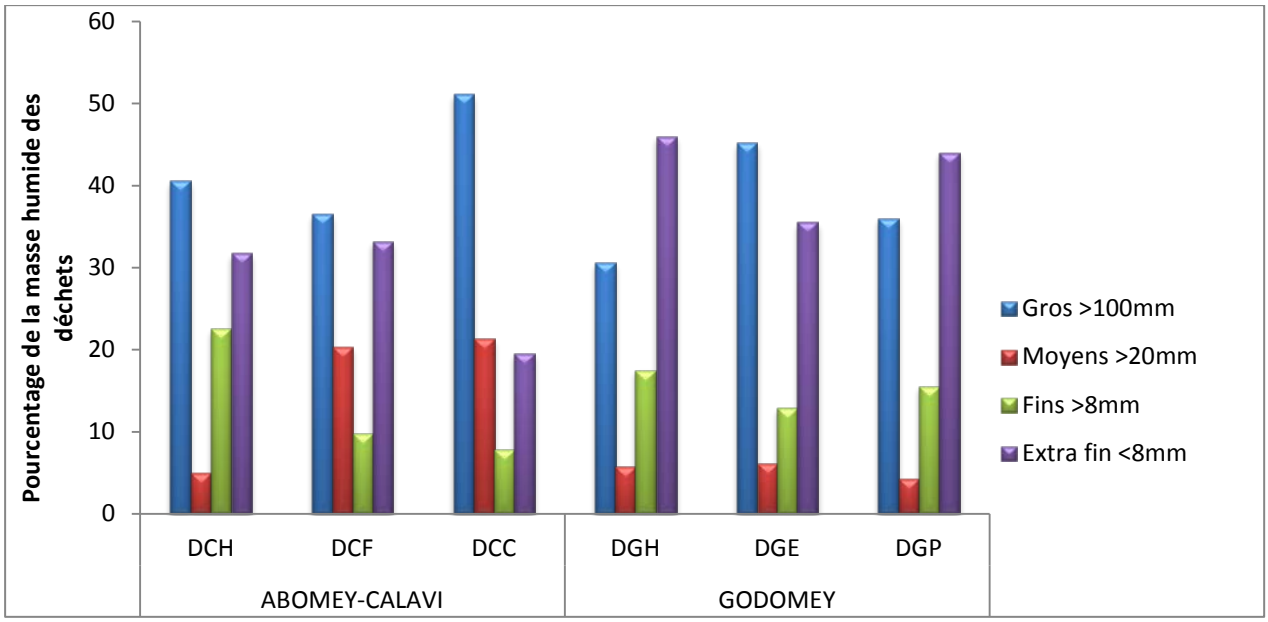

Figure 26: Répartition des déchets par taille et par décharge incontrôlée dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

DCC, DCH et DCF représentent les sites de décharge sélectionnés dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi

DGE, DGH et DGP représentent les sites de décharge sélectionnés dans l'arrrondissement de Godomey

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

D'après la figure 26, la fraction des déchets des gros >100 mm se trouve en proportion importante (40,04 %) au niveau des déchets prélevés sur les sites de décharges sélectionnés suivi des extra-fins (32,14 %) à l'exception de deux sites dans l'arrondissement de Godomey où c'est l'inverse.

- **Répartition par catégorie**

Des résultats du tri par catégorie des déchets prélevés sur les décharges sélectionnées, il ressort que les extra-fins sont majoritaires. Ils représentent en moyenne 28,75 % et 43,28 % des déchets triés respectivement dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de Godomey comme l'indique la figure 27.

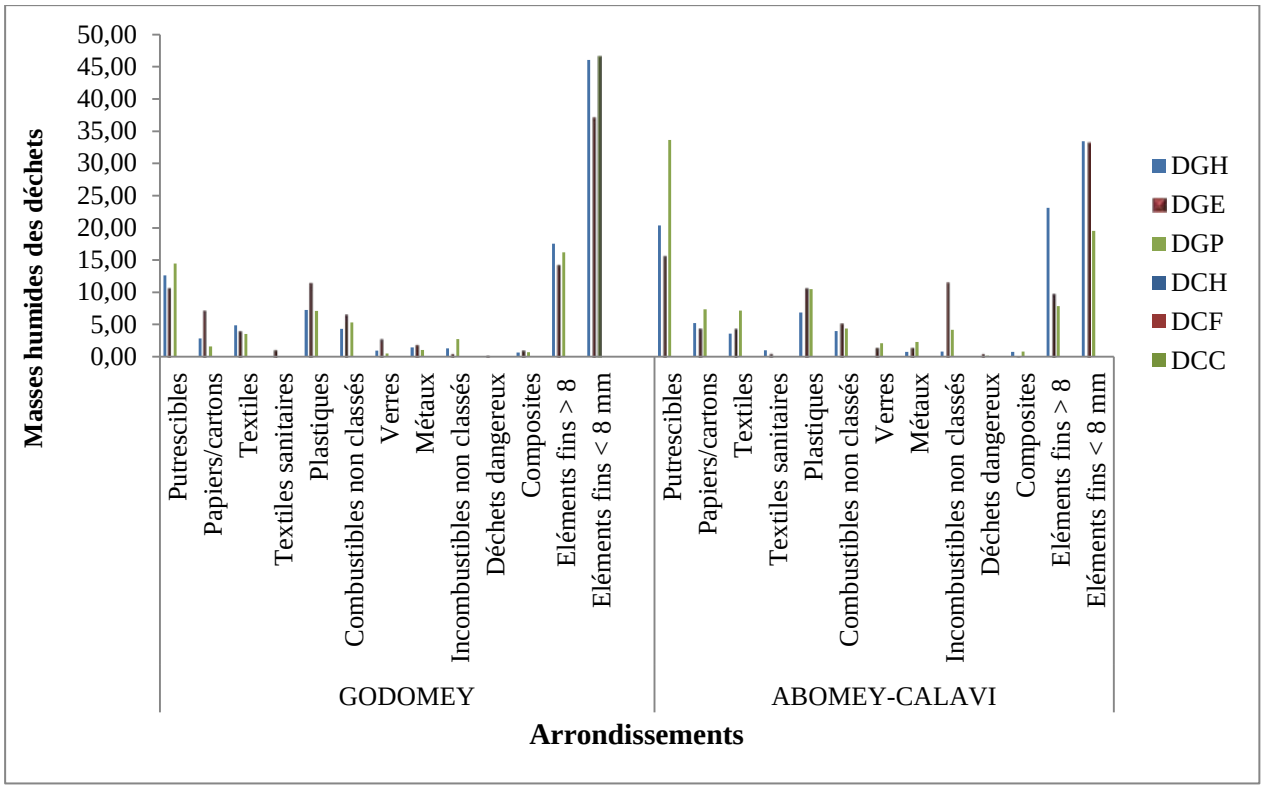

Figure 27: Composition des déchets des décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

DGE, DGH et DGP représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrrondissement de Godomey

DCC, DCH et DCF représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

De la figure 27, il ressort que quatre catégories de déchets prédominent sur les décharges. Suivant l'ordre d'importance, il est noté les éléments extra-fins, les putrescibles, les éléments fins et les plastiques. Les autres catégories comme les textiles, les papiers/cartons, les textiles sanitaires, les déchets dangereux et les composites sont en proportion faible. Les sous-catégories de déchets retrouvés dans ces dernières sont : les piles, les batteries, les médicaments, les aiguilles d'injection, les seringues, les compresses, les tiges coton, les couches bébé, les produits cosmétiques, les gants et les perfuseurs, des haillons et des coupons de tissus.

❖ Densité des déchets sur sites de décharges

La densité des déchets au niveau des sites de décharges a été déterminée à partir de la masse des déchets prélevés dans des trous creusés sur chaque décharge et le volume d'eau pouvant remplir ces trous. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau XVII.

Tableau XVII: Densité des déchets par site de décharge

Arrondissements	Sites de décharge	Densité moyenne par décharge	Densité moyenne par arrondissement
Abomey-Calavi	DCH	0,91	**0,84**
	DCF	0,77	
	DCC	0,81	
Godomey	DGH	0,66	**0,79**
	DGE	0,91	
	DGP	0,81	

DGE, DGH et DGP représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrrondissement de Godomey

DCC, DCH et DCF représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

Les résultats du tableau XVII montrent que les densités moyennes des déchets sur les sites de décharges sont très élevées (0,66 et 0, 91) dans les deux arrondissements de recherche. Ces densités élevées sont liées à l'importance de la fraction extra-fine, constituant plus lourd des déchets.

- **Humidité des déchets des sites de décharges**

L'humidité a été déterminée sur les échantillons de déchets prélevés sur les sites de décharges. Ces échantillons ont été mis à l'étuve quelques minutes après le prélèvement et ont duré 24 heures. Les taux d'humidité obtenus sont moyens (Figure 28).

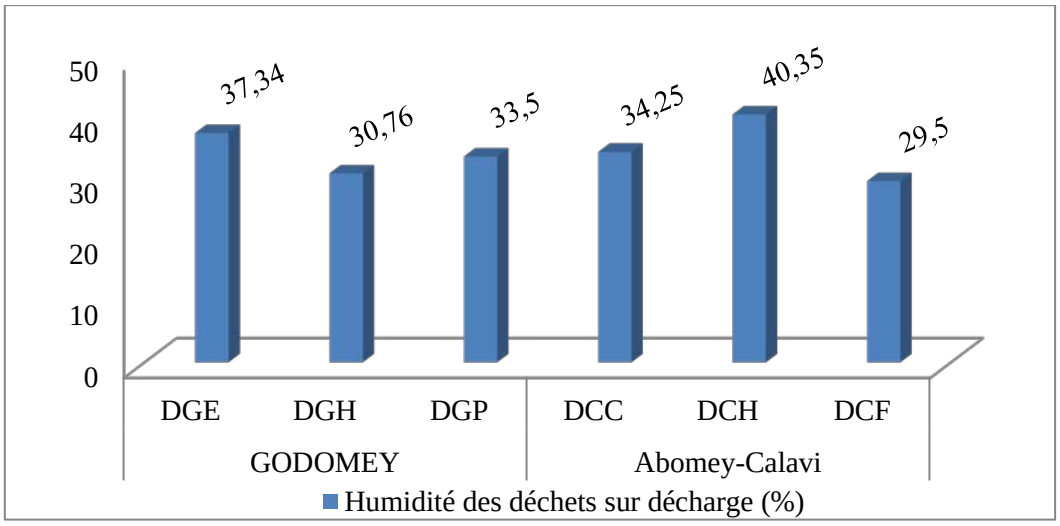

Figure 28: Humidité des déchets sur les décharges dans les arrondissements de recherche

DGE, DGH et DGP représentent les sites de décharge sélectionnés dans l'arrrondissement de Godomey

DCC, DCH et DCF représentent les sites de décharge sélectionnés dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

De la Figure 28, il est constaté que les taux d'humidité moyens obtenus sur les sites de décharges sont élevés. Cela constitue un atout pour le compostage. Dans ce cas, le traitement par incinération est non recommandé.

Ces différents paramètres ne sont pas suffisants pour déterminer le type de traitement à adopter pour une gestion efficace et durable des déchets dans les arrondissements d'étude. Les paramètres chimiques pourront mieux aider pour un choix respectant les normes environnementales.

5-2-4-2- Paramètres chimiques des lixiviats et minéralisâts des déchets des sites de décharges

Le tableau XVIII indique les valeurs des teneurs moyennes obtenues pour les paramètres chimiques des lixiviats et minéralisâts des déchets extra-fins des sites de décharges sélectionnés.

Tableau XVIII: Teneurs moyennes des paramètres chimiques des lixiviats et minéralisâts des éléments extra-fins des sites de décharges

	Paramètres	Arrondissement d'Abomey-Calavi		Arrondissement de Godomey		Norme	ANOVA
		Moy	ES	Moy	ES		
Lixiviats	pH	6,87	0,05	7,1	0,19	**5,5-8,5**	NS
	Cond (µS/cm)	815,33	135	595	110	**2500**	NS
	OD (mg/l)	2,2	0,81	2,37	1,07	**> 5**	NS
	DCO (mg/l)	291,2	66,1	425	144	**125**	NS
	DBO5 (mg/l)	26,66	5,36	19,66	3,21	**30**	NS
	DBO5/DCO	0,01	-	0,05	-	**-**	-
Minéralisâts	NTK (mg/l)	2,99	0,57	2,52	0,74	**30**	NS
	DBO5/NTK	8,92	-	7,80	-	**-**	-
	Ni (mg/l)	2,06	0,11	1,38	441	**2,5**	NS
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	nd	**1**	-
	Cu (mg/l)	10,03	1,82	4,21	0,33	**2,5**	*
	Pb (mg/l)	520	516	4,42	2,29	**1**	NS

* = faiblement significatif

Source: *Résultats d'analyse, Décenbbre 2012 et Janvier 2013*

Du tableau XVIII, il est à retenir qu'en dehors de la teneur en Cu, tous les autres paramètres mesurés n'ont pas varié significativement (P > 0,05) en fonction des arrondissements de recherche. Cependant, dans ces arrondissements les valeurs moyennes de la plupart des paramètres mesurés tendent à être plus élevées dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi que dans celui de Godomey. Le pH est neutre dans les deux arrondissements avec des valeurs moyennes de 6,87 et de 7,1 respectivement à Abomey-Calavi et à Godomey. La conductivité électrique est plus élevée dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi avec une moyenne de 815,33 µS/cm que celui de Godomey pour une moyenne de 595 µS/cm. Ces valeurs traduisent une minéralisation moyenne des lixiviats des décharges, en l'occurrence celui de l'arrondissement de Godomey. Quant à l'oxygène dissous, les valeurs moyennes sont de 2,2 mg/l dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 2,37 mg/l dans celui de Godomey. Ceci met en évidence une très faible oxygénation des lixivats des décharges de ces arrondissements surtout de celui d'Abomey-Calavi.

Les concentrations moyennes des matières organiques oxydables (DCO) mesurées sont de 291,2 mg/l et 425 mg/l respectivement dans les arrondissements d'AbomeyCalavi et de Godomey. Ces valeurs sont plus importantes que celles des

matières organiques biodégradables (DBO5) qui sont respectivement de 19,66 mg/l et de 26,66 mg/l dans l'arrondissement de Godomey et d'Abomey-Calavi. En moyenne, les concentrations en azote Kjedhal obtenues sont aussi faibles. Elles sont de 2,99mg/l dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de 2,25 mg/l dans celui de Godomey. Par contre, le rapport DBO5/NTK est très élevé (9,18 et 9,63) mais celui DBO5/DCO est faible (0,06 et 0,01).

Par rapport aux métaux, les valeurs moyennes du cuivre sont significativement différentes ($p < 0,05$). La valeur maximale est de 10,06 mg/l dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et celle minimale est de 4,21 mg/l dans l'arrondissement de Godomey. En ce qui concerne le nickel et le plomb, ces valeurs semblent être plus élevées dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi que celui de Godomey. Le classement par ordre décroissant des métaux dans les minéralisâts des sites de décharges des deux arrondissements montre que le cuivre a les concentrations les plus élevées suivi du plomb, du nickel et du cadmium (Cu > Pb > Ni > Cd). Les valeurs moyennes des paramètres (pH, conductivité, Oxygène dissout, DBO5, NTK et le nickel) sont en dessous ou dans la fourchette des valeurs fixées par la norme des qualités des eaux résiduaires en République du Bénin. Contrairement aux valeurs de ces paramètres, celles de la DCO, du plomb et du cuivre sont au-delà des valeurs de cette norme.

Les problèmes de la gestion des déchets dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey sont récapitulés par le modèle PEIR comme le présente la figure 29.

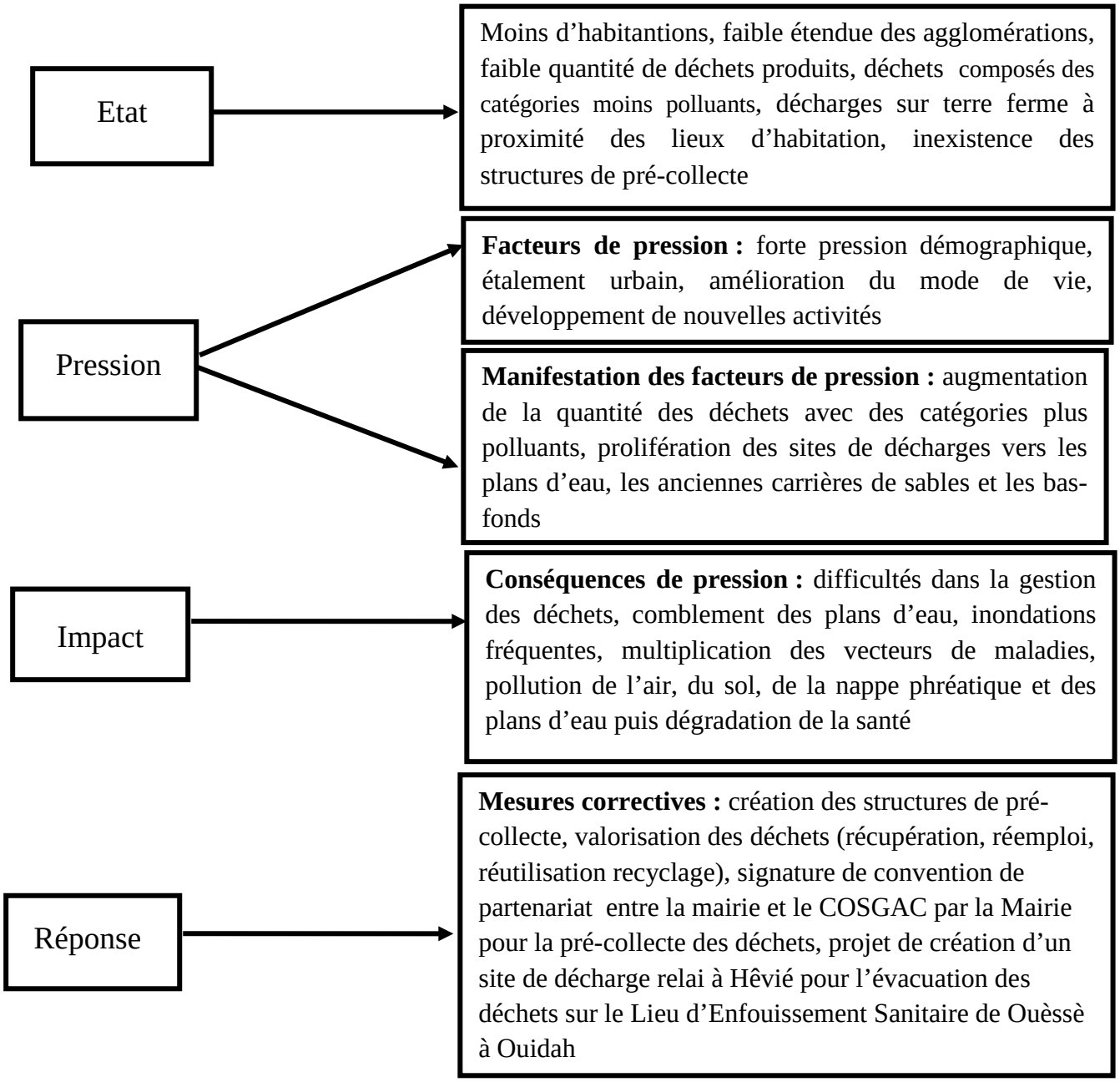

Figure 29: Synthèse de l'état de l'environnement par le modèle PEIR

L'analyse de la figure 29 permet de comprendre qu'il existe une forte relation entre la pression démographique, la gestion des déchets et les problèmes environementaux. Les manifestations des factreurs de pression et les conséquences des pressions montrent l'état dégradant de l'environnement qui constitue l'une des sources des problèmes d'insalubrité dans les arrondissements de recherche, confirmant ainsi la première hypothèse.

Les catégories de déchets évacuées sur les sites de décharges et la proximité de ces sites des lieux d'habitation, la nature des sols qui est imperméable, l'humidité des déchets et l'état physico-chimique des lixiviats des déchets extra-fin constituent des

sources de pollution pour les sols, les eaux superficielles et souterraines, puis des nuisances pour la santé des populations. Cet état de choses confirme la deuxième hypothèse.

5-3- Discussion

5-3-1- Caractérisation des déchets solides ménagers des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-3-1-1- Production et densité des déchets solides ménagers

Le ratio de production des déchets noté dans les arrondissements de recherche est élevé et plus important en saison pluvieuse qu'en saison sèche (0,63 et 0,53 respectivement en saison sèche et en saison pluvieuve), mais ne varie pas signigicativement en fonction des saisons (Tableau VIII). Cette production non négligeable de déchets, observée dans les arrondissements de recherche surtout en saison pluvieuse peut s'expliquer par le poids considérable des déchets extra-fins dû à l'alourdissement de cette fraction qui s'intensifie dans la période pluvieuse par l'apport d'eau dû à la précipitation. Elle peut être aussi liée à la présence des déchets agricoles et de jardins (le maïs frais, l'arachide fraîche, les légumes et certains fruits) qui sont de nature riche en eau et qui augmente du point de vue quantitatif pendant la période pluvieuse. Le tri par catégorie de déchets réalisé dans ces arrondissements confirme cet état de choses où il est noté une augmentation des déchets putrescibles, notamment les déchets agricoles et de jardins pendant cette période. Cette situation a pour conséquence l'alourdissement de la charge des déchets à transporter et demande beaucoup de moyens pour le transport et le traitement des déchets. C'est l'un des facteurs qui explique la fatigue au niveau des charretiers et qui les empêche parfois de satisfaire aux besoins des ménages abonnés. Cette situation a pour conséquence les longues durées de séjour des poubelles dans les maisons.

Notons par ailleurs que le taux de génération des déchets observé aussi bien en saison sèche que pluvieuse, comparé à ceux des pays développés (1,4-1,9 kg.hab-1.j-1) est faible ; mais reste dans la gamme des ratios journaliers des pays en développement (0,21-0,90 kg.hab-1.j-1) (Charnay, 2005). Cependant, dans certaines grandes villes des pays en développement comme Yaoundé au Cameroun, la production de déchets

dépasse cette tranche et atteint déjà un ratio de 1 kg par jour et par habitant (Ngnikam et Tanawa, 2006). Ces auteurs justifient ce taux élévé par la présence massive des fractions fermentescibles dans ces déchets (60 à 90 % selon les villes). Pour plusieurs auteurs, le faible taux de production des déchets dans les pays en développement est lié au faible niveau de vie qui caractérise ces pays (Thonart et Diabaté, 2005; Chalmin, 2009 et Sotamenou, 2012).

Quant à la densité, elle a différé selon les saisons. Elle a été plus forte (0,41) pendant la période pluvieuse qu'en période sèche (0,20) (Tableau IX). Les fortes densités retrouvées sont en adéquation avec la forte productivité des déchets observée dans ces arrondissements et qui ne peuvent s'expliquer comme notifier précédemment que par la charge importante de la fraction extra-fine, constituant plus lourd des déchets, et à la proportion des putrescibles dont la teneur en eau augmente en saison pluvieuse à cause de la pluie. Ainsi, ces fortes densités constituent également un facteur déterminant dans le processus du transport et du traitement des déchets.

Les résultats du présent travail corroborent avec ceux notés à Yaoundé qui sont de 0,36 en saison de pluie et 0,24 en saison sèche (Ngnikam, 2002). Selon Cointreau-Levine (1997), ces fortes densités obtenues restent dans la tranche des valeurs des pays en développement qui est de 0,25 à 0,5. Justifiant cet état de choses, Cointreau-Levine et *al.*, (1984) ont notifié que la forte densité des déchets dans ces pays dépend de la richesse des déchets en eau.

5-3-1-2- Humidité, pouvoir calorifique inférieur et rapport carbone/azote

Le taux d'humidité a différé en fonction des saisons. Il est plus élevé (24,63 %) en saison pluvieuse et plus faible en saison sèche (18,25 %) (Tableau X). Cet écart noté entre les deux saisons a été favorisé par la proportion importante des putrescibles notamment des déchets agricoles et de jardins, expliquée précédemment, puis l'augmentation de la teneur en eau des déchets en l'occurence des papiers, des cartons, des textiles due à la précipitation. Les taux d'humidité obtenus pendant les deux saisons sont très faibles par rapport à ceux des pays en développement qui varient entre 40 % et 75 % (Sotamenou, 2012) avec une moyenne de 50 % (Charnay, 2005). Ces faibles taux d'humidité déterminés dans les arrondissements de recherche s'expliquent par la forte proportion des fractions extra-fines qui n'ont pas la capacité

de retenir l'eau, alors que les putrescibles qui sont riches en eau y sont en propotion moyenne. Ces résultats se rapprochent de ceux de Alouéimine (2006) qui a trouvé à Nouakchott en Mauritanie un taux d'humidité de 11 %. Cet auteur a justifié ce faible taux par la faible teneur en putrescible qui constitue un atout en faveur du traitement par la mise en décharge sans risques majeurs. Par contre, dans les arrondissements de recherche, ce faible taux d'humitité ne favorise pas le traitement par la mise en décharge à cause du taux moyen des putrescibles qui peuvent par biodégradation générer une quantité importante de lixiviat suceptible d'affecter l'environnement et par conséquent la santé. Mais, cette option peut être envisagée si elle est accompagnée de la valorisation des putresibles par compostage ou par la fabrication du biogaz afin de réduire les riques sur l'environnement et la santé.

Par rapport au pouvoir calorifique inférieur (PCI), les résultats obtenus ont mis en évidence une différence significative en fonction des saisons. Il est plus élévé en saison sèche (1776,11 Kcal/kg) qu'en saison pluvieuse (1377,73 Kcal/kg) (Tableau XI). Cependant, les valeurs moyennes trouvées pendant les deux saisons sont très élevées. Ces valeurs élevées obtenues sont la conséquence directe du faible taux d'humidité des déchets surtout pendant la saison sèche noté dans le secteur de la recherche. Yao-Kouassi (2010), abonde dans le même sens et notifie qu'en règle générale, plus la teneur en eau est élevée, plus le pouvoir calorifique est faible. Les valeurs moyennes du PCI retrouvées dans les arrondissements de recherche sont supérieures à celles des pays en voie de développement (800-1100 Kcal/kg) et tendent vers ou se situent dans la gamme des pouvoirs calorifiques des pays développés (1500-2700 Kcal/kg) (Cointreau-Levine, 1997). Pour Gillet (1985), les valeurs du PCI supérieures à 1200 Kcal/kg, indiquent la possibilité d'adaptation du traitement par incinération sans apport extérieur d'énergie. Dans le cas de cette recherche, ce mode de traitement ne pourrait être envisagé du fait des teneurs élévées des éléménts extra-fins et des putrescibles. Dans le cas contraire, la valorisation de ces catégories de déchets ou l'apport du caburant serait un atout pour le choix de ce mode de traitement. Mais, le choix par apport du caburant ne pourrait être économiquement rentable à cause du coût du caburant. Par contre, à Nouakchott l'adoption de ce mode de traitement est sans condition à cause du PCI élevé (2652 Kcal/kg), de l'humidité faible

(11 %) due surtout à la baisse de la teneur en putrescible (4,8 %) et le taux relativement important des plastiques (20 %).

Du point de vue du rapport carborne/azote (C/N) des déchets extra-fins de ces arrondissements, il n'a pas différé selon les saisons. Cependant il est plus élevé durant la saison pluvieuse (9,81) qu'en saison sèche (9,45) (Tableau XII). Cette légère augmentation du rapport (C/N) noté pendant la saison pluvieuse peut s'expliquer par le taux élevé des putresciibles surtout des déchets agricoles qui ont augmenté le taux de matières organiques pendant cette saison. Ceci peut se justifier aussi par la décomposition rapide de ces déchets favorisée par la précipitation. D'après CEFREPADE (2008), Cette catégorie de déchets correspond alors à de l'humus stabilisé qui a un rapport (C/N) qui oscille autour de 9. Pour cet auteur cet humus serait du mull avec une teneur en matières organiques qui varie de 5 à 20 % et un taux de saturation qui est très élevé (85 %). Cette fraction des déchets des arrondissements de recherche présente alors des indices qui définissent une bonne décomposition de la matière carbonée et la disponibilité de l'azote. Ainsi, cette partie des déchets peut être utilisée comme fertilisant dans les activités agricoles. Cependant, retenons que d'autres indices comme la disponibilité de cette fraction en métaux sont nécesaires pour une meilleure appréciation de la qualité de cette partie des déchets.

5-3-1-3- Taille et composition des déchets

La granulométrie des déchets (figure 20) montre que les déchets fins (<8 mm et >8 mm) sont prédominants suivis de ceux moyens > 20 mm. La part importante de la fraction extra-fine (45,93 % pendant la saison sèche et 48,46% en saison pluvieuse) dans les DSM des arrondisements de recherche peut s'expliquer par la méthode du balayage et du ramassage des déchets qui consiste à balayer et à ramasser une quantité importante de sable puis à les entasser dans les poubelles. Aussi, les débris de charbon et la cendre évacués dans les poubelles favorisent cet état de chose. De plus, les types de poubelles (Tableau XIII) et de pelles utilisées par les ménages favorisent cet état de chose. Ces poubelles pour la majorité non ajourées ne permettent pas le passage du sable. Gantin (2011) a fait la même remarque à Cotonou. Pour cet auteur, l'importance de la fraction fine dans les déchets est liée au balayage des espaces privés. En Côte-d'Ivoire, Yao-Kouassi (2010), a trouvé des résultats simulaires aux nôtres. Il a constaté

que la teneur de la fraction fine des déchets au sein des habitations sociales est plus élevée. Il a justifié cette situation par le système du balayage quotidien des cours, généralement sableuses et des cendres issues des cuisines du fait qu'au niveau de ces habitations, il est utilisé plus du charbon de bois que du gaz butane pour faire la cuisine. Alouémine (2006) a notifié que cette quantité importante de sable dans les déchets rend la collecte plus difficile. Alors, le désensablement des déchets à la source serait bénéfique surtout pour le transport et le traitement des déchets.

Pour ce qui concerne le taux élevé (29,90 et 29,28 % respectivement en saison sèche et en saison pluvieuse) des déchets >20 mm, il est dû au fait que la grande partie des déchets évacués par les ménages est de taille moyenne au profit des déchets de grosses tailles > 100 mm en proportion faible qui sont récupérés par les ménages qui les réutilisent, les réemploient ou les vendent. Topanou (2012) a fait les mêmes constatations dans la ville d'Abomey-Calavi. Il a trouvé que la fraction de déchets dont le diamètre est supérieur à 100 mm représente la plus faible proportion et la proportion des déchets de diamètre compris entre 80 mm et 20 mm reste la plus élevée quel que soient le standing et la saison.

Au niveau de la composition des déchets (figure 21), quatre catégories de déchets sont importantes. Par ordre d'importance, il y a la fraction extra-fine <8 mm (67,01% en saison pluvieuse et 62,65% en saison sèche), la fraction fine >8 mm (13,74 et 18,98% respectivement en saison pluvieuse et en saison sèche), les putrescibles (12,97% en saison pluvieuse et 13,34% en saison sèche) et les plastiques (1,87 et 3,02% respectivement en saison pluvieuse et en saison sèche). Le taux élevé de la fraction extra-fine comme expliqué précédemment est lié aux méthodes de balayage et de ramassage des déchets puis au type de poubelles et de pelles. Mais, les taux de cette fraction des fines restent relativement comparables à ceux trouvés pour les déchets d'autres villes des PED. A Antananarivo, ce taux est de 68 %, 74% à Ouagadougou et 26 % à Dakar (Tezanou et *al*, 2001). En ce qui concerne la fraction fine > 8 mm, ce taux pourrait être dû au début de dégradation des déchets surtout putrescibles liée aux trois jours de séjours des déchets au niveau du site de transit. Quant à la proportion relativement élevée des putrescibles, elle peut s'expliquer par la faible valorisation de cette catégorie de déchets. Les déchets valorisés à ce niveau sont surtout le reste des

aliments qui servent de nourriture aux animaux domestiques au niveau de quelques ménages. Par ailleurs, la proportion des fractions putrescibles dans ces déchets constitue un atout pour la valorisation en compost. Cette méthode de traitement permettra de réduire le gisement des déchets à transporter et à mettre en décharge. Selon ATS (1995), cette réduction peut atteindre plus de 30 % des déchets à mettre en décharge et par conséquent participe aussi à la réduction des coûts de la gestion des déchets. En ce qui concerne les plastiques, leur proportion est relativement élevée. Ils sont essentiellement composés des sacs en sachet. A ce niveau, une politique doit être mise en œuvre pour la valorisation des sacs en sachet ou une sensibilisation sur la réglementation de l'utilisation dans les activités quotidiennes. Les autres catégories de déchets sont en de faibles proportions. Le faible taux de ces catégories peut être lié à leur valorisation au sein des ménages ou à leur pré-collecte par les récupérateurs ambulants. Les catégories récupérées sont principalement les métaux et les verres.

5-3-2-Mode de gestion des DSM dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-3-2-1- Du ramassage dans la sphère domestique à l'évacuation

Dans les arrondissements de reccherche, les déchets sont repoussés directement sur des dépotoirs situés dans un coin de la concession, évacués aussitôt après ramassage sur des dépotoirs ou stockés dans des poubelles pendant un à six jours, soit jusqu'au moment où elles sont pleines avant d'être convoyés au niveau des sites de décharges. Parfois, elles séjournent dans les maisons des abonnés pendant plus de deux semaines. Cette situation fait que certains ménages se désabonnent et ceux non abonnés n'ont plus le désir de s'abonner car pour eux il ne sert à rien de payer pour un service non réalisé ou partiellement réalisé alors qu'il existe des dépotoirs à proximité des concessions où l'on peut soi-même évacuer régulièrement ces déchets sans aucune contrepartie. Pour Allasani (2007), c'est ce qui explique le non abonnement d'une bonne partie de la population, soit un taux de couverture de 32 %. Selon les structures de pré-collecte, ce faible taux de couverture est lié à l'insuffisance du matériel de travail face à l'évolution croissante de la population des deux arrondissements et aux moyens de transport qui sont rudimentaires et qui tombent régulièrement en panne. Ils

ont aussi notifié que c'est ce qui est surtout à l'origine du non respect des calendriers de pré-collecte. Cette manière de gérer les poubelles participe à l'insalubrité qui règne au niveau des lieux d'habitation. Dès lors, les poubelles deviennent très tôt des gîtes pour les mouches, les fourmis et autres insectes qui menacent la tranquillité et la santé des ménages. Ainsi, elles ne sont plus toujours efficaces pour jouer convenablement leur rôle de conservatrices des ordures et d'assainissement du milieu, mais constituent un problème pour l'environnement et la santé des ménages. Cette situation peut s'expliquer par le niveau de vie des populations et le manque d'une politique communale rigoureuse en matière de gestion des déchets. Ces résultats notés au cours de cette étude rejoignent ceux de Ali en 1995 qui a notifié que dans la ville de Parakou, les déchets sont évacués directement sur les dépotoirs d'ordures après le balayage ou conservés dans des récipients hors d'usage pendant deux à trois jours par semaine avant d'être évacués. Bras (2010), a fait les mêmes remarques à Port-au-Prince (Haïti). Il a constaté que le déchet est aussitôt évacué de la maison dans les quartiers précaires, mais dans les quartiers de haut et moyen standing, il est stocké pendant un à deux jours dans les poubelles à l'extérieur des maisons avant d'être évacué. Cet auteur a noté aussi que quoiqu'il en soit le déchet, n'est jamais stocké à l'intérieur de la maison. Ce comportement comparé à celui des ménages de la zone d'étude participe à la salubrité à l'intérieur des concessions et limite le contact avec les déchets et par conséquent les risques liés à ces derniers. Pour cet auteur, ce comportement des ménages est lié à leur culture comme c'est le cas au Bénin où le stockage des déchets à l'intérieur de la maison est un porte-malheur. Mais malheureusement de nos jours, cette théorie qui instaure la salubrité et par conséquent met les ménages à l'abri des affections liées à la mauvaise gestion des déchets n'est plus appliquée surtout dans les villes. Cependant, elle est encore en vigueur dans certains villages. La disparition de cette théorie dans les habitudes des béninois est due surtout au fait que la nouvelle génération n'a pas pris la relève et aussi du fait que tout ce qui provient de la tradition est diabolisé.

Du point de vue de l'évacuation des déchets, il n'existe que la collecte primaire dans les arrondissements d'étude. Cette collecte revêt deux modes: la pré-collecte par

apport volontaire pratiquée par les ménages et la pré-collecte porte-à-porte réalisée par les ONG de pré-collecte et les récupérateurs ambulants.

Au niveau de la pré-collecte par apport vonlontaire, le transport des déchets vers les sites de décharges est assuré surtout par les enfants (Photos 4 et 5). 75% des ménages interrogés ont confirmé ces faits. Des propos recueillis auprès des ménages, cette tâche est la plus simple qu'on puisse confier aux enfants. Mais très souvent, les parents ignorent les dangers auxquels sont exposés ces enfants dans l'accomplissement de cette tâche. Aussi les heures d'évacuation des déchets soit très tôt les matins entre 5 et 7 heures ou tard les nuits entre 19 et 23 heures ne garantissent pas la sécurité des enfants. En effet l'évacuation des déchets très tôt les matins à 5 heures et très tard les nuits vers 23 heures a pour raison principale l'interdition du lieu au rejet des déchets. Néanmoins les enfants sont envoyés et livrés aux déconvenues. Par rapport à la distance qui pour la majorité des cas est près des lieux d'habitaion entre 0 et 20 m, les risques pour ces enfants sont moindres. Face aux risques que courent les enfants, il serait intéressant que les adultes s'adonnent à cette activtié comme c'est le cas au port-au-prince où les adultes, en particulier, les femmes sont majoritairement responsables de l'évacuation du déchet de la maison (52,68% ; 84,56% ; 86,77%, respectivement au niveau du bas, moyen et haut standing) (Bras, 2010).

Par rapport à la pré-collete porte à porte par les ONG, elle est réalisée par les charretiers (photos 6, 7, 8 et 9). Ces derniers commencent leur activité à partir de 6 h 30 mn et finissent entre 16 et 17 h. L'heure du démarrage constitue une peine pour certains clients car ils perturbent leur sommeil. Cette situation parfois aboutit à des disputes. Tout comme les enfants, les charretiers courent beaucoup de risques. Ils exercent cette activité sans aucune protection. Ils sont sans gants, sans cache nez ni bottes et sans suivie médicale. Ils sont exposés aux odeurs, à la pousière, aux piqûres et coupures des objets tranchants. Les charretiers, connaissent bien les dangers auxquels ils sont confrontés mais adoptent néanmoins ce comportement. Pour certains, ils n'ont pas le choix mais d'autres jettent le tort sur les responsables d'ONG.

Les déchets pré-collectés par les ménages et les structures de pré-collecte sont déposés au niveau des espaces libres en l'occurrence des terrains non encore bâtis ou non habités, des bas-fonds, les trous perdus et les anciennes carrières de sable. Cette pratique qui prévaut dans ces arrondissements a été notée par Sagbohan (2011), Yêmadjè (2009), Alassani (2007), Dossou (2005), Kèkè (2002) et Adjahi (1994). Pour ces auteurs, un tel comportement expose la population à la pollution esthétique. Ils expliquent cette situation qui prévaut dans ces arrondissements par l'absence des points de regroupement et des bacs à ordures. Pour Sagbohan (2011), cette pollution est remarquée aussi le long des rues où les déchets échouent lors du passage des structures de pré-collecte. Cet auteur évoque comme facteurs liés à l'insalubrité des rues issue de la pré-collecte par les ONG, les moyens de pré-collecte qui sont rudimentaires et qui ont de faibles capacités de collectes puis la surchage et la non couverture des charrettes. Cette manière de pré-collecter les déchets est observée dans presque tous les pays en développement. En Côte-d'Ivoire, la population achemine les déchets vers un espace de regroupement, le plus souvent sur des terrains vagues sans protection et au milieu des résidences des populations (Bah, 2011). Au Bénin, dans certaines grandes villes comme Cotonou en dehors des lieux de dépôts anarchiques, des points de regoupement et des bacs à ordures sont disponibles.

Contraitrement à la pré-collcte effectuée par les ménages et les structures de pré-collecte qui est une source de pollution esthétique, celle réalisée par les récupérateurs ambulants constitue une source de revenus et de réduction des déchets à convoyer vers les lieux de stockage.

5-3-2-2- Traitement des déchets

Dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, deux modes de traitement sont prédominants : la valorisation et la mise en décharge traditionnelle.

Par rapport à la valorisation d'après les résultats de terrain, la réutilisation, le réemploi et le recyclage, sont les plus pratiqués. Le recyclage se fait notamment au niveau des ateliers où les déchets constituent les matières premières. Quant à la réutilisation et le réemploi, ils sont développés dans les ménages et surtout ceux pauvres. Cette remarque est confirmée par les résultats issus de la campagne de caractérisation des déchets sur le terrain où il a été constaté que les déchets des ménages à faible niveau

de vie sont composés essentiellement de sable et pauvres dans les catégories de déchets valorisables (les bouteilles en verre, les sachets, les bouteilles en plastique, le reste des nourritures, les vieux vêtements, les déchets métalliques). Le réemploi et réutilisation de certaines catégories des déchets par les ménages constituent des sources de nuisances pour leur santé. Les photos 16 et 18 en sont des preuves. Par rapport à la photo 16, le réemploi des vêtements d'autres personnes peut engendrer chez les charretiers des maladies dermatologiques et contagieuses. Pour ce qui est de la photo 18, l'utilisation des sachets pour attiser le feu expose les ménages aux maladies respiratoires et cancerogènes. Alors ces formes de valorisation sont à déconseiller au profit des formes de valorisation sans impacts majeurs.

L'esprit de valorisation constaté au niveau des ménages pauvres n'est pas volontaire, mais constitue une contrainte liée surtout à leur faible niveau de vie. Dans le domaine de la gestion des déchets, cette action de la part des ménages participe à la réduction de la quantité de déchets à évacuer et à mettre en décharge. Mais, elle demeure insuffisante pour venir à bout des problèmes liés à la gestion des déchets dans les arrondissements de recherche.

Dans la ville de Porto-Novo, ces formes de valorisation ne sont pas notées seulement au niveau des ménages. L'ONG « Qui dit mieux » réutilise les déchets plastiques souples pour fabriquer des objets tels que des sacs, des poupées, des tortues, des essuie- pieds, des tapis pour support de machine (CREPA, 2001). Un tel effort dans les arrondissements d'étude pourrait rehausser le niveau de valorisation et contribuer au développement économique de ces arrondissements. Cela participera aussi à la réduction de la quantité de déchets à évacuer, et par conséquent, à régler un tant soit peu le problème d'insalubrité lié à la prolifération des dépotoirs sauvages dans les arrondissements.

Contrairement au mode de traitement par la valorisation des déchets qui est prometteuse, la mise en décharge traditionnelle qui est pleine de conséquences est le mode de traitement le plus répandu dans le secteur de recherche. Les déchets sont déposés de façon anarchique à des endroits non prévus à cet effet. Il ressort des investigations de terrain que les lieux de prédilection aussi bien des ménages que des structures de pré-collecte pour le rejet des déchets sont : les bas-fonds, les trous

perdus, les espaces vides, la brousse, la cour des concessions, le long des plans d'eau et les anciennes carrières de sable. Ces pratiques observées sont à l'origine de la prolifération des dépotoirs sauvages dans ces arrondissements. Les principales raisons du choix des sites de décharge dans les arrondissements concernant la recherche sont entre autres :

- le désir de combler les bas-fonds et les anciennes carrières de sable pour la valorisation et le système de commercialisation des déchets développé dans les quartiers marécageux ;
- la disponibilité d'espaces non occupés à accès facile;
- le manque de moyens financiers pour construire le site de décharge finale.

Ces résultats confirment ceux de Dossou en 2005. Cet auteur a noté que 98 % des ONG de la Commune d'Abomey-Calavi jettent les ordures sur des parcelles non bâties, isolées dans les quartiers périphériques ou non, dans les marécages les plus proches des zones de collecte, dans les rues inondées pour boucher les trous et dans les anciennes carrières de sable abandonnées. Sagbohan (2011) et Kèkè (2002) ont fait les mêmes remarques. Ils ont constaté aussi que les ordures sont déposées sur des espaces non encore occupés qui donnent souvent lieu à la formation de petits tas servant de lieu d'aisance pour certains ménages. Brey (1999), dans le même ordre d'idées a souligné que les conditions d'insalubrité créées par les dépôts d'ordures constituent un accès facile aux déjections humaines. Ce comportement participe à la pollution olfactive qui règne dans les arrondissements de recherche. Nkituahanga Yenamau (2010), dans une étude faite dans la ville de Kinshasa en 2010 a noté que les ménages jettent leurs ordures dans les rues, dans les cours d'eau, dans les ravins et dans la brousse. Il a souligné que cette manière d'éliminer les déchets favorise la multiplication des immondices qui gagnent de plus en plus les places des avenues et constituent des milieux propices pour les agents pathogènes. Elle pollue également les eaux et dégradent le sol.

En ce qui concerne la méthode d'enfouissement, elle contribue à la pollution esthétique, du sol et de la nappe phréatique, du moment où les ménages des arrondissements de recherche creusent des fosses, soit à l'intérieur ou à l'extérieur de leurs maisons pour y déverser les déchets sans protection aucune. Cette manière de

traiter les déchets concorde avec celle des ménages du quartier de Médina Gounass au Sénégal qui creusent eux aussi des trous pour déverser leurs ordures (Djigo, 2005). Cet auteur a signalé également que cette manière de gérer les déchets ménagers contribue à la pollution du sol et de la nappe phréatique. Du côté du brûlage à l'air libre des déchets, les ménages estiment qu'il est plus simple et très facile et ne nécessite pas des efforts physiques. Cependant, cette méthode expose les populations riveraines aux fumées toxiques dégagées par les déchets et participe à l'insalubrité des cours d'habitation. Pour Nyassogbo (2005), ces fumées libèrent dans l'atmosphère certains gaz comme le HCl (gaz chlorhydrique), le SO_2 (dioxyde de soufre), le H_2S (sulfure d'hydrogène) et du phosgène très nocifs à l'Homme.

Alors, à l'exception de la valorisation très peu développée et qui participe à la salubrité, toutes les autres formes d'élimination des déchets dans les arrondissements sont nuisibles à l'environnement et à la santé des populations. Il est alors nécessaire d'apporter des mesures de correction. Pour Djigo (2005), corriger ces pratiques d'élimination des déchets sera un travail de longue haleine car elles sont ancrées dans les pratiques de la plupart des populations des pays en voie de développement.

5-3-3- Etat des sites de décharges dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey

5-3-3-1- Localisation et description des sites de décharges

Des résultats d'enquête de terrain, il ressort que les sites de décharges dans les quartiers de ville et villages des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey prolifèrent. Mais, ils sont plus concentrés dans celui de Godomey. Cette situation peut s'expliquer par le fait que l'arrondissement de Godomey a un poids démographique plus important que celui d'Abomey-Calavi et est constitué essentiellement des zones de bas-fonds et d'anciennes carrières de sable qui sont des lieux de prédilection pour l'évacuation des déchets. Le choix de ces sites est dû surtout au fait qu'ils sont à l'origine des inondations et de l'accès difficile aux lieux d'habitation. Comme expliqué précedemment c'est ce qui amène surtout les populations de cet arrondissement à combler les bas-fonds et les anciennes carrières de sable par les déchets faute de moyens financiers. Mais, la résolution de ces problèmes crée d'autres

qui paraissent plus nuisibles du moment où ces sites reposent sur des sols hydromorphes et perméables. Abordant dans le même sens, Nye (2000) a mis l'accent sur les réactions chimiques qui se produisent sur les dépotoirs. Ce dernier a notifié que lorsque les dépotoirs séjournent des années à un endroit, la fermentation aréobie est réalisée, ce qui entraîne le dégagement des odeurs putrescibles, la production du biogaz qui est constitué essentiellement de méthane, un gaz à effet de serre dangereux pour l'environnement. Aussi, Renou et *al.* (2008), ont mis l'accent sur les eaux et surtout celles apportées par la précipitation qui percolent les décharges, favorisant la biodégradation des matières organiques et qui produit du lixiviat, chargé des substances organiques et minérales. Alors, le lixiviat produit par les déchets, par le phénomène d'infiltration peut constituer une source de contamination pour le sol et la nappe phréatique. De plus, les dépotoirs étant situés entre 0 et 30 m des lieux d'habitation, l'odeur pestilentielle qu'ils dégagent, le soulèvement des déchets par le vent et le dégagement des fumées issues de l'entretien des sites de décharge par brûlage constituent des menaces permanentes pour les populations les plus proches. François Xavier, habitant du quartier Agori dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi a témoigné cet état de chose. Il a révélé que lorsque les agents de pré-collecte passent pour brûler le dépotoir situé juste derrière sa chambre, le feu dure une dizaine de jours avant de s'éteindre et des éclats de bouteilles échouent dans sa maison. Pour lui, l'odeur qui se dégage et respirée par les membres de sa famille au quotidien, les rend malades. Cette situation est similaire à celle de la ville de Cotonou où les lieux de prédilection de déversement des ordures par les ONG de pré-collecte et surtout les habitants des zones marécageuses sont les bas-fonds et les berges lagunaires (PNUD, 2011) dont les effets de pollution sur l'eau et l'air ont été montrés par Dovonon (2008).

5-3-3-2- Pratiques autour des sites de décharges

Des observations faites sur le terrain, il ressort que les sites sont à ciel ouvert à la portée des récupérateurs surtout les enfants, des jardiniers à la recherche du terreau, les ménages et les charretiers qui y déposent tous les types de déchets même les déchets hospitaliers sans protection. Toutes ces activités constituent des risques pour ceux qui les excercent. Ils s'exposent à de nombreuses blessures qui vont de la banale coupure

et piqûre aux maladies transmises par le biais des objets tranchants ou les maladies dues au manque d'hygiène. Certains auteurs ont fait les mêmes constatations. Hounkpatin et Kottin (2009) ont signalé que les enfants qui déambulent sur les tas d'immondices peuvent contracter le tétanos en jouant avec les morceaux de métaux rouillés et les objets tranchants tels que les lames et ciseaux usagers qui présentent d'énormes risques d'infections. Pour Lavergne et Gabert (2005), les récupérateurs le plus souvent à mains nues sont exposés aux maladies d'hygiène et respiratoires dues à l'inhalation des odeurs nauséabondes et de fumées toxiques très fréquentes sur les décharges puis aux problèmes dermatologiques qui sont particulièrement nombreux à cause des contacts directs avec des produits irritants.

Face à ces nuisances, certaines pratiques endogènes sont utilisées par les populations pour empêcher l'érection des dépotoirs et l'accès aux sites (Photo 24 et 25). Ayigbédé (2012) a fait lui aussi la même remarque dans la ville de Porto-Novo. Cet auteur a noté que le zangbéto lié au vodoun est souvent sollicité par les autorités locales et les riverains pour régler des problèmes d'environnement notamment des décharges sauvages dans les espaces publics ou privés. Alors, la mise en application de cette pratique serait un atout pour réduire ou pallier le problème lié à la prolifération des décharges et aussi parvenir à la destruction des sites de décharges dans les arrondissements de recherche.

5-3-3-3- Aspects physiques des déchets des sites de décharges

❖ Taille et composition des déchets des sites de décharges

Des résultats du tri par taille des déchets des sites de décharges (figure 26), il ressort que la fraction de gros > 100 mm se trouve en proportion plus importante suivie de celle des extra-fins hormis deux des sites sélectionnés dans l'arrondissement de Godomey où c'est la fraction extra-fine qui se trouve en première position. La part importante de la fraction des gros > 100 mm dans les déchets des sites de décharge est surtout liée aux déchets provenant des marchés, des services et des boutiques et prouve que ces déchets sont récents et n'ont pas encore subi une décomposition ou sont en début de décomposition. Quant à la prédominance des éléments extra-fins, elle peut s'expliquer par la présence en quantité importante du sable provenant essentiellement

des déchets déjà décomposés et aussi du sable contenu dans les ordures qui ont quitté directement la source. Ceci témoigne que ces sites de décharges sélectionnés sont en cours d'exploitation. François (2004) dans une étude a constaté que la taille des composants des déchets semble évoluer avec l'âge du déchet. Cet auteur a remarqué qu'un déchet de 3 ans est constitué majoritairement de grosses fractions (environ 50 %) alors que pour un déchet de 30 ans, ce sont les fractions les plus fines qui prédominent. Les déchets de 8 ans et de 20 ans apparaissent comme des étapes intermédiaires. . En se basant sur les investigations de terrain qui révèlent que les sites de décharges choisis ont des âges compris entre 7 et 20 ans puis les indicateurs de la granulométrie des déchets des sites de décharges sélectionnés, il est constaté que les décharges choisies sont des décharges intermédiaires.

Du côté du tri par catégorie, les treize catégories de déchets recommandées par MEDECOM sont identifiées avec une prédominance des extra-fins, des fins, des putrescibles et des plastiques (figure 27). Comme souligner précédemment, le taux élevé des déchets fins et extra-fins est surtout lié à la dégradation des déchets. Quant aux putrescibles, la proportion importante se justifie par la non ou la faible valorisation de ces déchets. Ceci révèle la possibilité de valorisation par compostage avec un tri préalable de certains déchets. La fraction importante des déchets plastiques est due à la part importante des emballages en sachet dans les déchets prélevés sur les sites. Cette situation se justifie du fait que ces déchets sont non biodégradables, ont une longue durée de vie qui varie entre 10 et 20 ans (Alouémine, 2006) et sont peu valorisés. Ces résultats obtenus corroborent avec ceux de Mehdi (2007). Il a trouvé dans les déchets de la décharge publique de la ville de Tiaret en Algérie trois catégories de déchets dominantes. Il s'agit des putrescibles (73,6 %), les papiers/cartons (11,40 %) et les plastiques (6,66 %). Gbédo (2002), dans une étude dans la ville de Cotonou a constaté que parmi les composantes non biodégradables, les plastiques occupent la première place avec un taux de 7,74 %. François (2004), a souligné que la fraction importante des plastiques au sein des massifs de déchets est due à leur caractère réfractaire à la dégradation. Ces déchets plastiques présents de façon permanente sur les décharges retiennent les eaux de pluies ou celles usées et deviennent ainsi des habitats pour les moustiques vecteurs du paludisme. Pour Nkituahanga Yenamau (2010), la présence

des sachets sur les déptoirs diminue la perméabilité du sol. Yao-Kouassi (2010), a mis l'accent sur l'envol des déchets plastiques qui sont des sources d'insalubrité des alentours des décharges. Du côté des déchets putrescibles, ils sont sources de nombreux micro-organismes qui accélèrent la biodégradation qui génère des odeurs désagréables.

5-3-3-4- Paramètres chimiques des lixiviats et minéralisâts des déchets extra-fins des sites de décharges

Les lixiviats des déchets extra-fins des sites de décharges présentent des valeurs de pH neutres avec des moyennes de 6,87 et de 7,1 respectivement à Abomey-Calavi et à Godomey (Tableau XVIII). Ces valeurs de pH sont semblables à ceux des lixiviats de la décharge d'Al Hociema observés par Rassam et al. (2012). Pour cet auteur, ces valeurs de pH montrent que la décharge est en phase acide. Selon Millot (1986) et Ramad (1998), les valeurs du pH ≈ 7 des lixiviats indiquent que ces lixiviats sont intermédiaires et ont des âges compris entre cinq et dix ans. Ceci confirme la conclusion précédente selon laquelle les sites de décharges sélectionnés sont à phase intermédiaire. A cette étape pour Kruempelbeck et Ehrig (1999), la teneur de certains métaux comme Cd, Ni et le Pb semble fortement lixiviable contrairement au cuivre dont la teneur décroît. Ainsi, ces lixiviats constituent une menace pour l'environnement et pour la santé des populations. Cependant, Daouda (2012) dans une étude sur le traitement des lixiviats des massifs de déchets est parvenu à la conclusion que le pH ne croît pas toujours avec l'évolution de la décharge et ne serait pas un indicateur fiable pour suivre l'évolution d'une décharge.

Par rapport à la conductivité électrique, les lixiviats ont des valeurs moyennes importantes. Bodjona (2010) a justifié la forte minéralisation des lixiviats des décharges par une dégradation avancée des déchets donnant lieu à une forte présence de sels minéraux. Pour Christensen et *al.*, (2001) et Khattabi et *al.* (2002), c'est un caractère commun à toutes les décharges d'ordures ménagères. En ce qui concerne l'oxygène dissous, les valeurs moyennes obtenues traduisent une très faible oxygénation des lixivats des sites de décharges. Les faibles valeurs de l'oxygène dissous indiquent la présence importante des micro-organismes dans ces milieux et par conséquent des matières organiques.

Les teneurs en matières organiques des lixiviats des déchets extra-fins des sites de décharges exprimées en DCO, DBO5 et NTK, sont faibles pour la DCO, très faibles pour la DBO5 et le NTK. Les faibles teneurs obtenues pour ces paramètres sont surtout dues aux déchets extra-fins utilisés pour produire les lixiviats. En effet, dans ces déchets, la majorité des matières organiques disponibles sont déjà dégradées ; ce qui est à l'origine du caractère très pauvre en matières organiques des lixiviats exploités. C'est ce qui explique également les très faibles valeurs des rapports DBO5/DCO (0,01 dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 0,05 dans celui de Godomey) calculées. Ce rapport étant un indicateur de la biodégradabilité de la matière organique et la maturation des lixiviats, s'il est supérieur à 0,1, il marque une charge organique un peu moindre avec une biodégradabilité assez faible ; inférieur à 0,1, il indique une faible charge organique avec une biodégradabilité très faible (Millot, 1986 ; Amokrane, 1994 et Ramade, 1998). Du point de vue de la maturation, les décharges jeunes ont une activité biologique correspondant à la phase acide de dégradation anaérobie et ce rapport atteint la valeur de 0,83. Il décroît jusqu'à la valeur 0,05 pour les vieilles décharges où l'étape de fermentation ultime, la méthanogenèse, est atteinte (Diamadopoulos, 1994). Ce stade de fermentation est caractérisé par la diminution de la DCO et surtout de la DBO5, un pH basique et de fortes teneurs en ammonium (Chofqi, 2004; Amokrane, 1994 et Ehrig, 1983). Il ressort de ces théories et des indicateurs de la granulométrie des déchets que les lixiviats des sites de décharge sélectionnés dans les deux arrondissements sont peu ou très faiblement biodégradables. Aussi, ces sites de décharges semblent être des décharges intermédiaires en cours de stabilisation qui traversent actuellement le stade de la méthanogénèse. Par ailleurs, les rapports DBO5/NTK des lixiviats des sites de décharges sont supérieurs à 5 alors la dénitrification est optimale (Bietlot et *al*, 2011). Cette situation confirme les faibles valeurs de l'oxygène obtenues. Cette insuffisance de l'oxygène dans le milieu a conduit à la conversion de l'azote organique ou minéral présent dans ce milieu en azote gazeux qui est dispersé dans l'air. C'est ce qui pourrait aussi justifier les faibles teneurs en azote kjedhal dans les lixiviats des sites de décharges sélectionnés.

Par rapport aux métaux étudiés, en dehors du cadmium qui n'est pas détecté, tous les autres métaux (cuivre, plomb et nickel) ont été détectés. Les concentrations moyennes des lixiviats des déchets des sites de décharges en ces métaux sont faibles. Elles sont alors typiques des décharges à caractère ménager dominant (Christensen, 2001 et Chofqi, 2004). Ces valeurs des métaux lourds dosés à l'exception du plomb sont relativement faibles à celles trouvées par Mehdi et *al.* (2007) dans les lixiviats de la décharge publique de la ville de Tiaret en Algérie (Pb: 0,90 à 0,92mg/L; Cd: 0,3 à 0,6mg/L; Ni: 6,5 à 6,7mg/L). Mais, elles sont supérieures aux teneurs obtenues par Bennama et *al.* (2011) sur la décharge d'El-Kerma d'Oran en Algérie (130µg/L pour le plomb, 400µg/L pour le cadmium et 1260µg/L pour le nickel). Cette variation des concentrations d'une décharge à une autre peut s'expliquer par la nature des déchets déversés au niveau de la décharge. Ainsi, le cas particulier du lixiviat des décharges de l'arrondissement d'Abomey-Calavi où il est noté une concentration moyenne très élevée du plomb (520 mg/L) n'a rien d'étonnant. Ceci pourrait s'expliquer par la nature des déchets déversés sur les décharges, car à proximité de l'une des décharges choisies dans cet arrondissement se trouvent des ateliers de peinture et d'électricité auto dont les déchets riches en plomb sont évacués sur la décharge. Er-raioui et *al.,* (2011) ont notifié aussi que les peintures contiennent du chrome, du cadmium et du plomb.

L'état des lixiviats et des minéralisâts des déchets extra-fins des sites de décharges étudiés prouve que ces sites ont connu une double pollution : une pollution organique traduite par un taux de la DCO dépassant le seuil acceptable des qualités des eaux résiduaires en République du Bénin et une pollution métallique (Plomb et cuivre). Certains auteurs ont fait les mêmes constats. Mehdi et *al.,* (2007) ont relevé que le lixiviat de la décharge publique de la ville de Tiaret en Algérie est pollué par le plomb et le cadmium. Dans une autre étude, Djorfi1 et *al.,* (2010) ont noté une pollution en chrome, en cuivre et en plomb du lixiviat de la décharge publique d'ANNABA. Alors, par le phénomène d'infiltration ou de ruissellement, ces percolâts pollués pourraient contaminer le sol ainsi que la nappe phréatique. Il est donc indispensable de traiter les percolâts des sites de décharge pour éviter tout risque de contamination ultérieure du milieu par drainage ou infiltration.

Chapitre VI : Evaluation de la contamination des sols, des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharges

6-1-Caractéristiques physico-chimiques des sols

6-1-1- Localisation des sites de prélèvement des échantillons de sols

Les sols ont été prélevés au niveau des sites de décharges après enlèvement des déchets et dans la zone témoin située à près de 7 km de ces sites de décharges

Les différents échantillons de sols prélevés ont subi des analyses physico-chimiques.

6-1-2- Paramètres physiques des sols

6-1-2-1- Analyse granulométrique des sols

Elle a permis de faire l'analyse de la texture du sol des sites de décharges incontrôlées et de la zone témoin. Cette étude a fait ressortir différentes textures du sol à chaque niveau de prélèvement (0 cm, 20 cm et 100 cm) qui a varié d'un site à l'autre. La répartition granulométrique des sols des sites de décharges sélectionnés et de la zone témoin est présentée par la Figure 30.

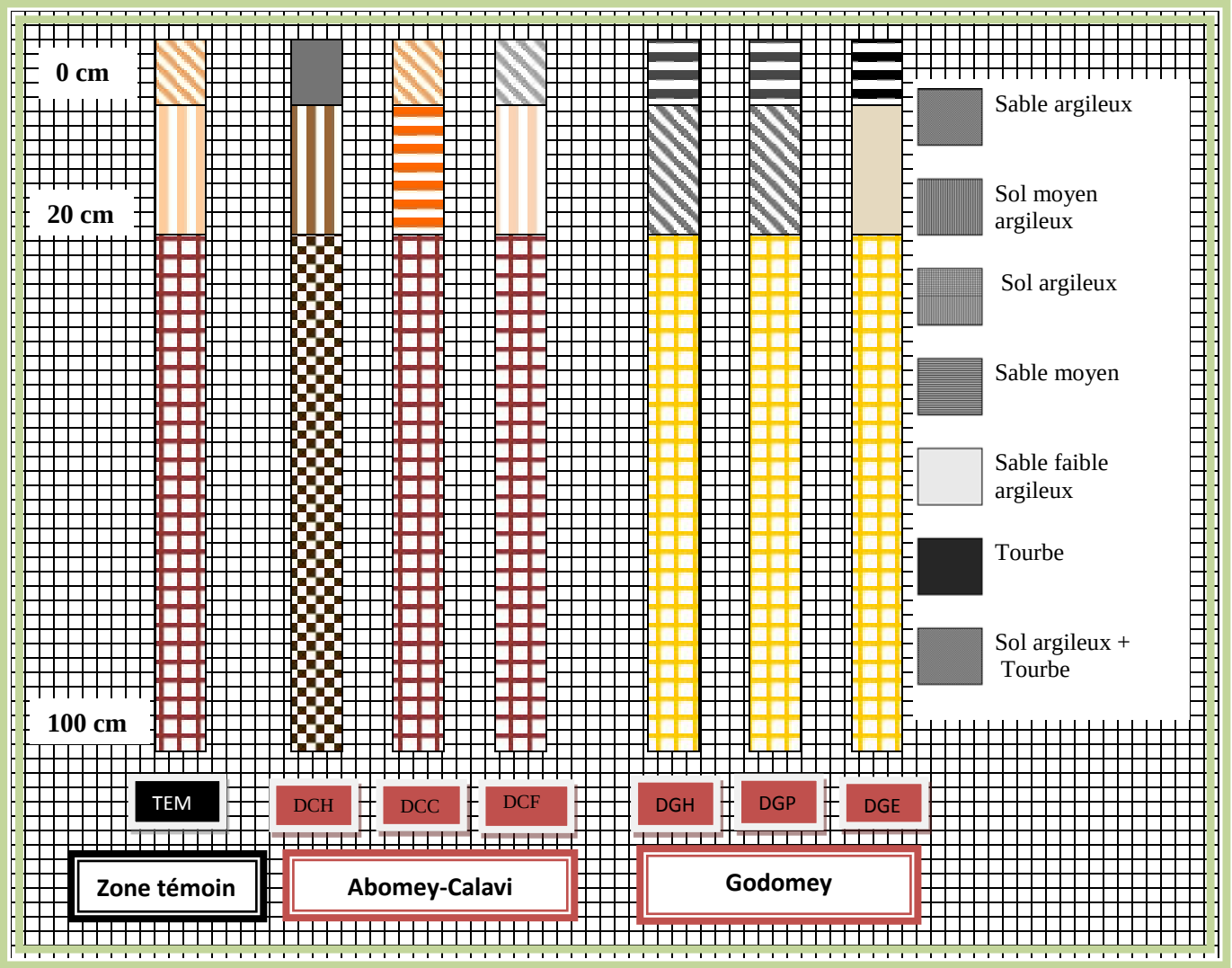

Figure 30: Profils des sols de la zone témoin et des sites de décharges sélectionnés

DGE, DGH et DGP représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrrondissement de Godomey

DCC, DCH et DCF représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

La figure 30 montre une variation de la texture des sols surtout selon les niveaux de prélèvement. Dans l'arrondissement de Godomey sur les trois sites de décharges, à l'horizon 0 cm se trouve du sable moyen, à 20 cm des sables moyennement argileux et à 100 cm des sols argileux. L'arrondissement d'Abomey-Calavi et la zone témoin présentent des textures de sols similaires. A 0 cm se trouve du sable moyen ou faiblement argileux, à 20 cm du sable faiblement ou moyennement argileux et à 100 cm du sol argileux. La distinction de ces zones se remarque surtout par la couleur des textures des sols.

6-1-2-2- Teneur en eau et indice de plasticité des sols

Par rapport à la teneur en eau, elle est tributaire de la texture des sols. Elle est comprise entre 33 et 55 % pour les sables faiblement argileux, 40 et 80 % pour les sols moyennement argileux et 34 et 82 % pour les sols argileux (figure 28). Pour l'indice de plasticité, elle suit les mêmes variations que la teneur en eau des sols (figure 31).

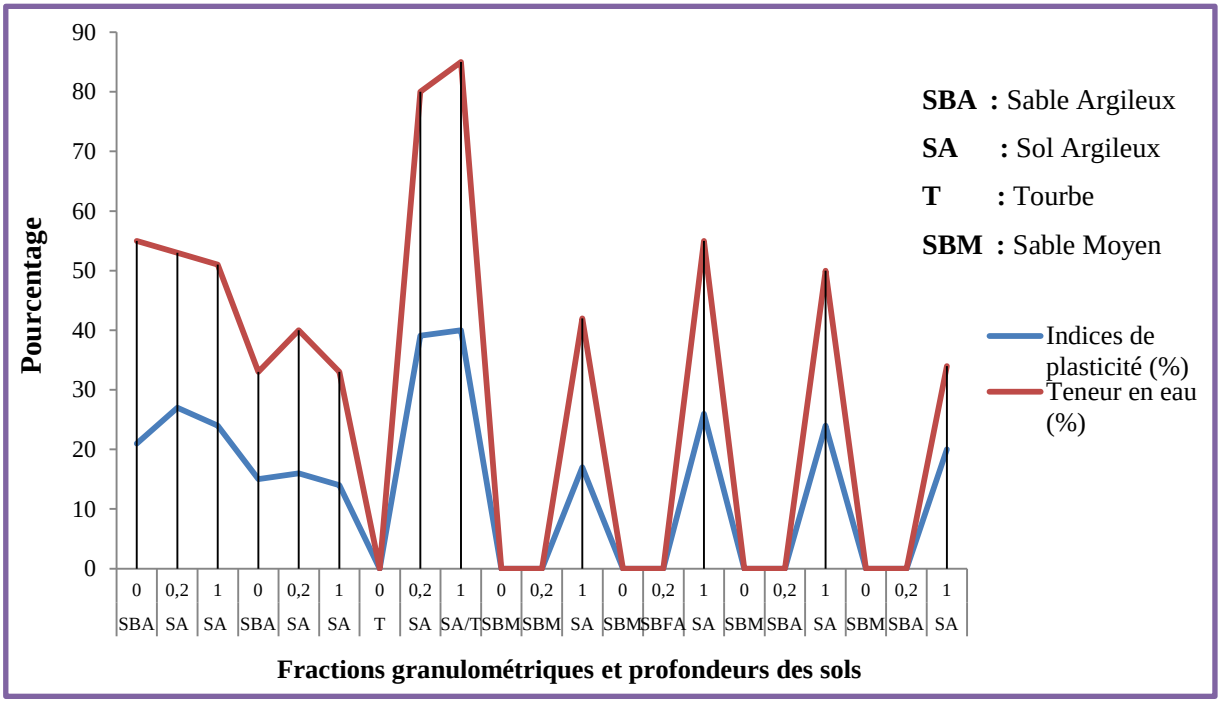

Figure 31: Indice de plasticité et teneur en eau des sols

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

Il ressort de l'examen de la figure 31 que l'indice de plasticité devient plus fort lorsque la teneur en eau est élevée. Aussi, la plasticité est forte au niveau des sols argileux en l'occurrence dans les zones marécageuses. L'observation faite sur le terrain a montré que dans ces zones, les décharges sont immergées pendant la saison pluvieuse (photo 32).



Photo 32: Submersion d'un site de décharge dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi
Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*

L'observation de la photo 32 montre surtout la présence des déchets non facilement biodégradables (les plastiques et les métaux) à la surface de l'eau. Ce phénomène facilite la migration des polluants des déchets des décharges vers le sol.

6-1-3- Propriétés physico-chimiques des lixiviats des sols et leurs effets sur les lieux et les niveaux de prélèvement

6-1-3-1- Variations des propriétés physiques des lixiviats de sols en fonction des régions et des niveaux de prélèvement

La variation des paramètres généraux des lixiviats de sols en fonction des régions et des niveaux de prélèvement est consignée dans le tableau XIX.

Tableau XIX: Effets régions et niveaux de prélèvement des paramètres généraux des lixiviats des sols

	Variables	**pH**		**Conductivité (µS/cm)**		**Oxygène dissous (mg/L)**	
	Profondeurs (cm)	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES
	0	6,13	0,18	36	1,73	6,90	0,12
Zone témoin	20	5,80	0,35	17	1,73	7,8	0,17
	100	5,50	0,17	19	2,31	8,3	0,231
Sites de décharge	0	6,28	0,54	273	30,2	4,7	1,46
arrondissement	20	6,24	0,74	212,3	46,1	5,63	0,95
d'Abomey-Calavi	100	5,69	0,92	156	56,9	6,57	0,52
Sites de décharge	0	6,88	0,23	312,7	77,9	6,50	0,20
arrondissement de	20	6,10	0,31	194	146	5,97	1,53
Godomey	100	6,50	0,20	142,3	90,08	7,83	0,32
Effet région		**NS**		**NS**		**NS**	
Effet niveau de prélèvement		**NS**		*****		**NS**	

Moy = Moyenne ES = Erreur standard NS = Non Significatif * = faiblement significatif

Source: *résultats d'analyse, Décembre 2012*

Il ressort du tableau XIX que la conductivité électrique a varié significativement ($p < 0,05$) en fonction du niveau de prélèvement avec les valeurs maximales enregistrées au niveau 0 cm et les minimales à 20 et 100 cm ; ce qui traduit une forte minéralisation au niveau superficiel qu'en profondeur. Mais par rapport à l'effet région, ce paramètre n'a pas varié significativement ($p > 0,05$). Aussi, les autres paramètres physiques mesurés n'ont-ils pas été affectés par la région de même que le niveau de prélèvement (Figure 32).

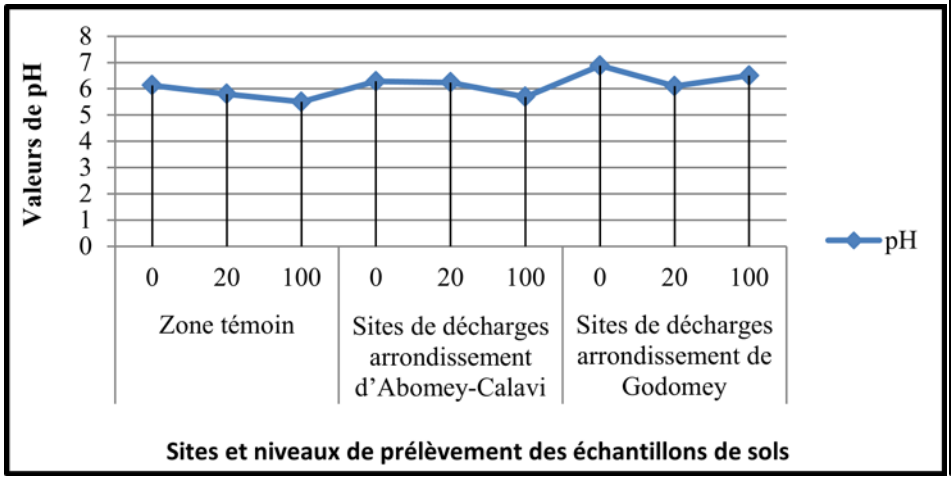

Figure 32a: Evolution des pH suivant les sites et les niveaux de prélèvement des sols

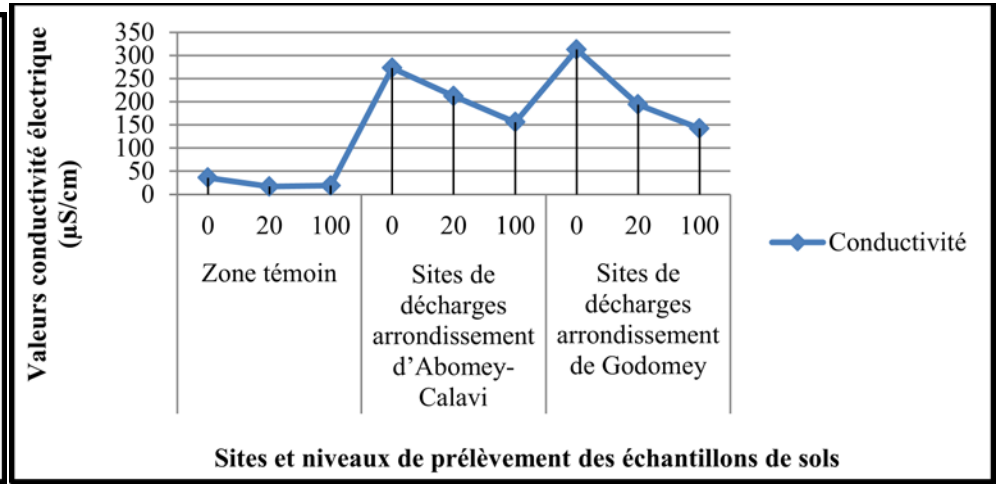

Figure 32 b: Evolution de la conductivité électrique suivant les sites et les niveaux de prélèvement des sols

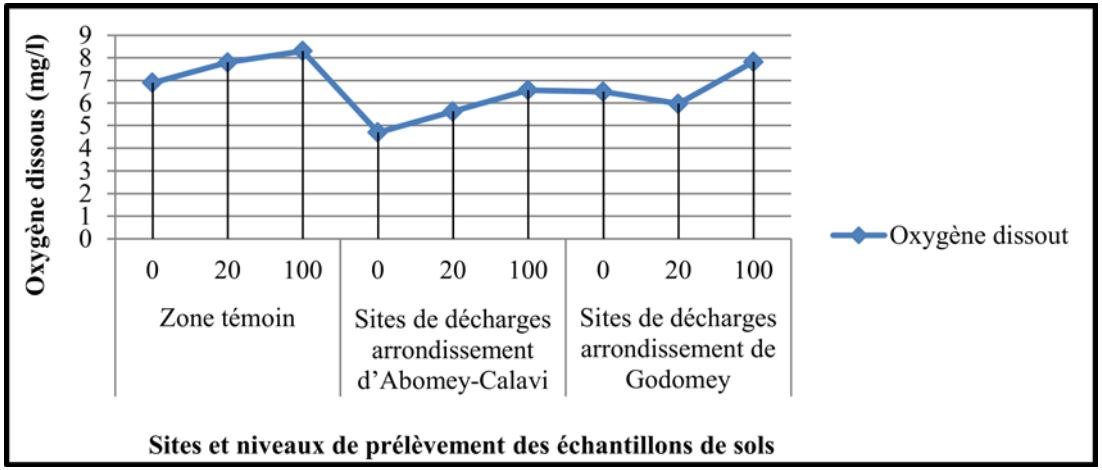

Figure 32c: Evolution de l'oxygène dissous selon les sites et les niveaux de prélèvement de sol

Figure 32 : Evolution des paramètres (pH, conductivité, et oxygène dissous) selon les sites et les niveaux de prélèvement de sol

Source: *Données de terrain, Décembre 2012*

L'analyse de la figure 32 a montré que la plupart des sols d'étude deviennent plus acides en profondeur. De plus ces sols sont moins acides sur les sites de décharges que dans la zone témoin. Ils sont pour la majorité, moyennement acides à 20 et 100 cm dans la zone témoin avec des valeurs moyennes de pH comprises entre 5,50 et 5,80 et faiblement acide à 0 cm pour une valeur de pH égale à 6,13. Par contre, à l'exception des sols des sites de décharges qui ont un pH moyennement acide à 100 cm dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et neutre à 0 cm dans celui de Godomey, la plupart des sols des sites de décharges sont faiblement acides et ont pour valeurs moyennes de pH comprises entre 6,10 et 6,88 respectivement notées à 0 et 20 cm au niveau des sols des sites de décharges d'Abomey-Calavi, puis 0 et 100 cm sur ceux de Godomey.

Pour ce qui est de la conductivité électrique, il ressort de la figure 32b que les sols de la zone témoin sont faiblement minéralisés par rapport à ceux des sites de décharge. La valeur de la conductivité électrique la plus élevée (312,7 µS/cm) et la plus faible (142,3 µS/cm) au niveau des lixiviats des sols des sites de décharges de l'arrondisement de Godomey sont supérieures à celles des sols témoin de plus de 8 (huit) fois. Contrairement à la conductivité, les valeurs de l'oxygène dissous des sols de la zone témoin ont tendance à être plus élevées (valeurs variant entre 6,90 mg/l à 0 cm et 8,3 à 100 cm) que celles des sites de décharges (valeurs se trouvant entre 4,7 mg/l à 0 cm et 7,83 à 100 cm) et à augmenter en profondeur (Figure 32c).

6-1-3-2- Variations des propriétés chimiques des lixiviats de sols en fonction des régions et des niveaux de prélèvement

❖ Les matières organiques (DCO, DBO5 et NTK)

Le tableau XX indique les variations des paramètres (DCO, DBO5 et NTK) des lixiviats de sols en fonction de la région et du niveau de prélèvement.

Tableau XX: Effets régions et niveaux de prélèvement des paramètres (DCO, DBO5 et NTK) des lixiviats des sols

	Variables	**DCO (mg/L)**		**DBO5 (mg/L)**		**NTK (mg/L)**	
	Profondeurs (cm)	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES
Zone témoin	0	37,65	0,66	2,33	2,33	3,92	0,04
	20	19,46	1,17	2,00	2,00	0,00	0,00
	100	9,41	0,18	2,67	2,67	0,00	0,00
Sites de décharge arrondissement d'Abomey-Calavi	0	1667	1137	26,7	12	1,96	0,81
	20	1380	1191	40,7	29,7	6	5,41
	100	467	326	4,67	2,91	2,80	1,29
Sites de décharge arrondissement de Godomey	0	1199	423	40	15,3	9,89	4,71
	20	577	247	30,67	9,33	16,67	1,67
	100	198,8	70	1,47	1,23	0,84	0,42
Effet région		**NS**		**NS**		**NS**	
Effet niveau de prélèvement		*****		**NS**		**NS**	

Moy = Moyenne ES = Erreur standard NS = Non Significatif * = faiblement significatif

Source: *Résultats d'analyse, Décembre 2012*

Du tableau XX, il ressort qu'il n'existe pas de différence significative ($p > 0,05$) pour les paramètres (DBO5 et NTK) par rapport aux niveaux et aux sites de prélèvement. Mais au niveau de la DCO, une différence significative a été notée par rapport au niveau de prélèvement au seuil de 50 % ; ce qui signifie que les matières organiques sont plus concentrées en surface qu'en profondeur et témoignent de la migration de ces matières organiques vers le sol. Ce paramètre n'a pas varié par rapport aux sites de prélèvement. Néanmoins, les concentrations en DCO ont tendance à varier par rapport aux sites de prélèvement.

Aussi, les paramètres (DBO5 et NTK) des lixiviats de sols paraissent varier en fonction des niveaux et des sites de prélèvement (Figure 33).

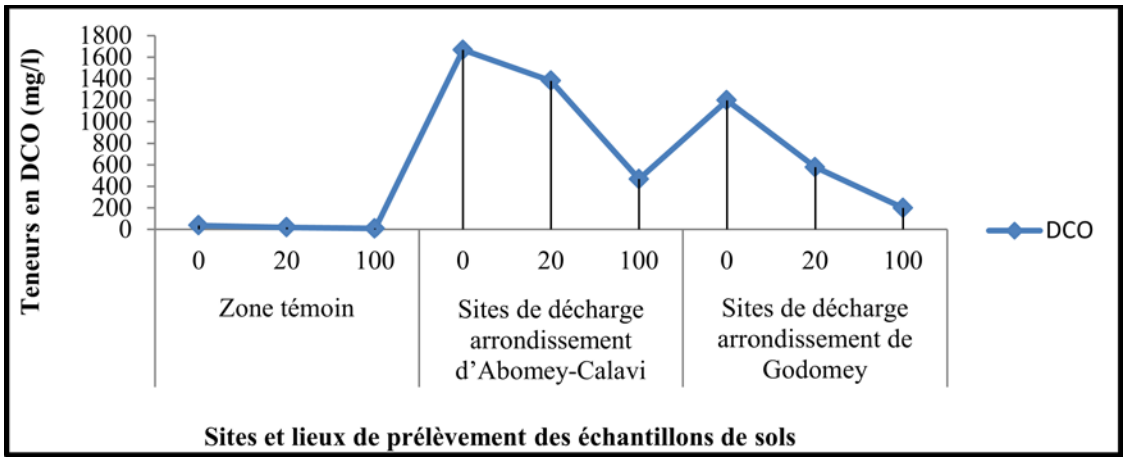

Figure 33a: Variation des teneurs en DCO des lixiviats de sols

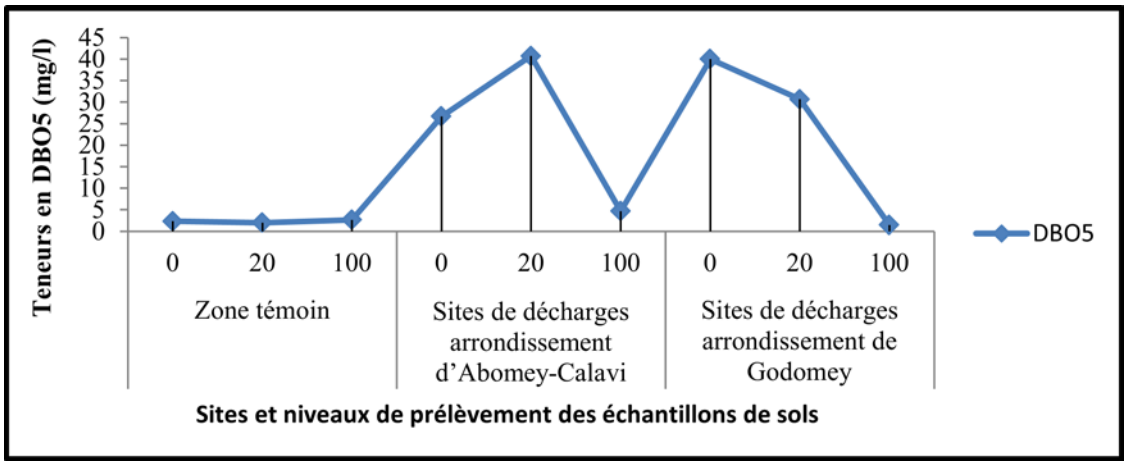

Figure 33b: Variation des teneurs en DBO5 des lixiviats de sols

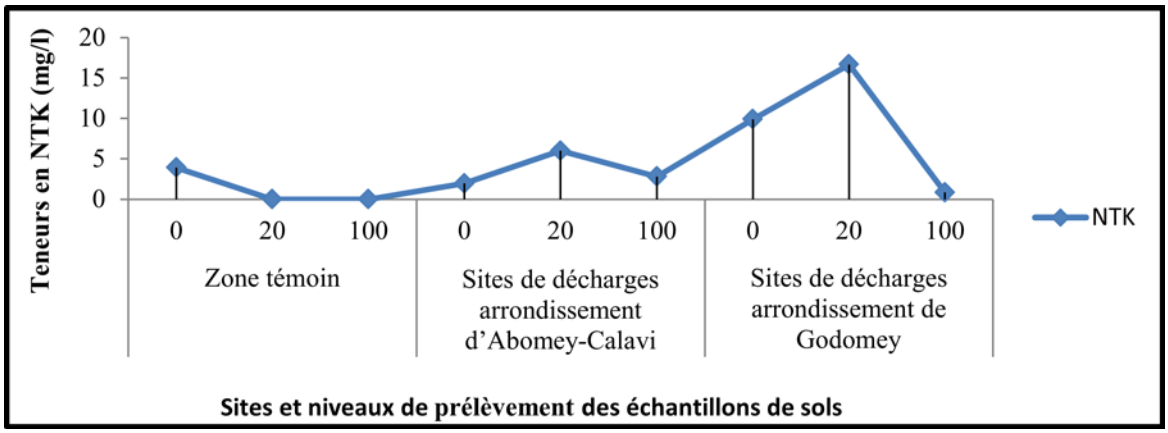

Figure 33c: Variation des teneurs en NTK des lixiviats de sols

Figure 33: Variation des teneurs des paramètres (DCO, DBO5 et NTK) des lixiviats de sols en fonction des sites et du niveau de prélèvement

Source: *Données de terrain, Décembre 2012*

L’examen de la figure 30a, montre que les teneurs en DCO sont moyennement élevées au niveau des sols des sites de décharge et très faibles dans la zone témoin. La teneur la plus élevée dépasse plus de 44 fois et la plus faible plus de 21 fois celle la plus élevée et la plus faible de la zone témoin.

Par rapport à la figure 30b, les teneurs maximum de la DBO5 sont observées en surface. Elles ont l’air d’être plus faibles en profondeur hormis les lixiviats des sites de décharges de Godomey qui sont élevés à 20 cm et ceux de la zone témoin à 100 cm. Aussi, il est remarqué que les teneurs en DBO5 des lixiviats des sols sont très basses dans la zone témoin, mais moyennement élevées sur les sites de décharges. La teneur moyenne la plus forte en DBO5 des lixiviats des sols des sites de décharges dépassent plus de 15 fois celle de la zone témoin. En ce qui concerne l’azote kjeldhal (NTK), les teneurs des lixiviats des sols sont moyennement élevées à 20 cm sur les sites de décharges et faibles à 0 cm dans la zone témoin. Elles semblent être plus fortes à chaque niveau de prélèvement sur les sols des sites de décharges que ceux de la zone témoin où elles deviennent nulles à 20 et 100 cm (Figure 30c). La valeur la plus élevée de la teneur en NTK est plus de 4 fois celle de la zone témoin.

❖ Eléments métalliques

Le tableau XXI résume la variation des métaux dans les minéralisâts de sols en fonction des régions et des niveaux de prélèvement.

Tableau XXI : Effets régions et niveaux de prélèvement des métaux (Cu, Ni Pb et Cd) des minéralisâts des sols

	Prof (cm)	IP		Minéralisât							
				Cu (mg/L)		Ni (mg/L)		Pb (mg/L)		Cd (mg/L)	
		Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES
Zone témoin	0	0,03	00	4,98	0,13	1,95	0,14	4,15	0,20	00	00
	20	0,01	00	1,10	0,10	1,85	0,15	0,86	0,06	00	00
	100	0,08	00	4,46	1,24	4,43	0,11	00	00	00	00
Sites arrondissement d'Abomey-Calavi	0	0,07	0,027	9,23	1,97	3,39	0,63	3,2	0,88	0,17	0,17
	20	0,02	0,01	2,89	1,87	2,62	0,49	0,79	0,70	00	00
	100	0,06	0,035	10,45	6,84	3,32	1,58	5,78	4,03	00	00
Sites arrondissement de Godomey	0	1,80	1,80	5,30	4,95	1,47	0,80	713	713	00	00
	20	0,02	0,015	2,24	2,24	2,30	1,54	0,87	0,40	00	00
	100	0,08	0,06	2,34	2,05	0,89	0,65	2,09	1,73	0,52	0,52
Effet région	-	-	-	**NS**		**NS**		**NS**		**NS**	
Effet niveau de prélèvement	-	-	-	**NS**		**NS**		**NS**		**NS**	
Norme sol normal	-	-	-	**30**		**50**		**35**		**0,35**	
Norme AFNOR	-	-	-	**100**		**50**		**100**		**2**	

Prof = Profondeur Moy = Moyenne ES = Erreur Standard NS = Non Significatif Ip = Indice de pollution

Source: *Résultats d'analyse, Janvier 2013*

Il découle du tableau XXI que les teneurs en métaux lourds (cuivre, nickel, plomb et cadmium) des minéralisâts des sols sont faibles à l'exception du plomb à 0 cm sur le site de décharge de Godomey qui a une concentration élevée. Les résultats statistiques ont montré que les teneurs moyennes de ces sols n'ont pas varié significativement ($p > 0,05$) du point de vue profondeur et sites de prélèvement. Cependant, l'observation de la figure 34 montre que les teneurs en ces métaux ont tendance à varier par rapport aux niveaux et aux sites de prélèvement.

Les concentrations moyennes des métaux étudiés (cuivre, cadmium, nickel et plomb) quels que soient le site et le niveau de prélèvement sont en deçà des teneurs de la norme en ces métaux dans un sol normal à l'exception du plomb et du cadmium dont les teneurs moyennes sont supérieures à cette norme respectivement à 0 et 100 cm (Tableau XXI). Ceci traduit une contamination du sol des sites de décharges par le plomb à 0 cm et le cadmium à 100 cm dans l'arrondissement de Godomey. En comparant les teneurs moyennes de ces métaux à celles de la norme AFNOR, il a été

remarqué que seule la teneur moyenne des minéralisâts de sols des sites de décharges contaminés par le plomb à 0 cm dans l'arrondissement de Godomey est au-dessus de celle de la norme AFNOR (Tableau XXI) ; Ce qui confirme la pollution au plomb de ce sol à 0 cm.

En effet, les valeurs moyennes de l'indice de pollution à différentes profondeurs des sols des sites étudiés montrent que quel que soit le niveau de prélèvement, l'indice de pollution est plus élevé au niveau de la majorité des sols des sites de décharges que de ceux de la zone témoin (tableau XXI). Parmi les sols étudiés, le sol qui présente un indice de pollution supérieur à 1 (IP > 1) est celui du site de décharge de l'arrondissement de Godomey prélevé à 0 cm. Par conséquent, ce sol est considéré comme étant contaminé par plusieurs éléments.

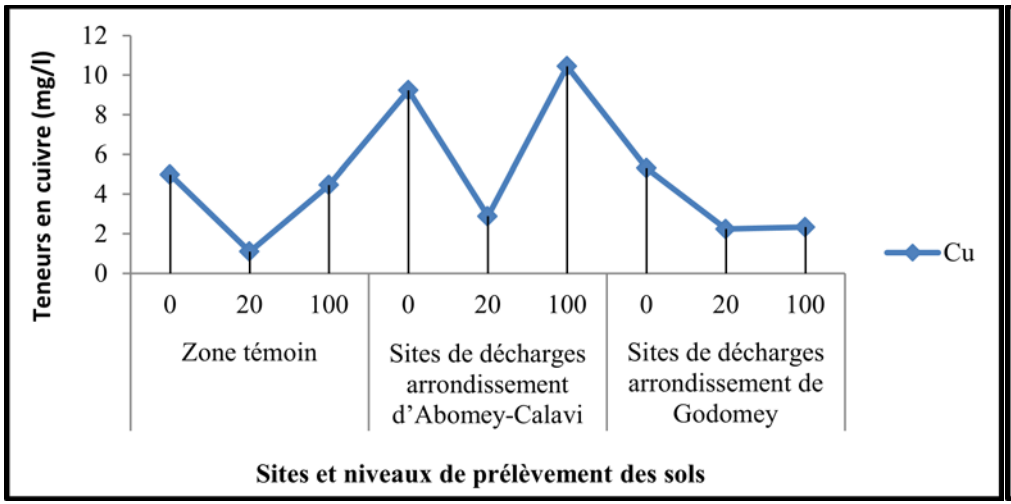

Figure 34a: Variation de la teneur en cuivre des minéralisâts de sols

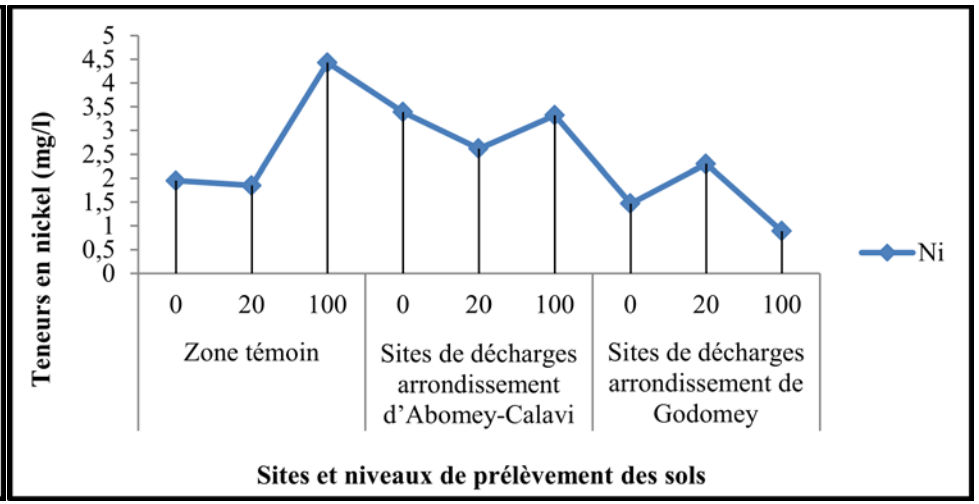

Figure 34b: Variation de la teneur en nickel des minéralisâts de sols

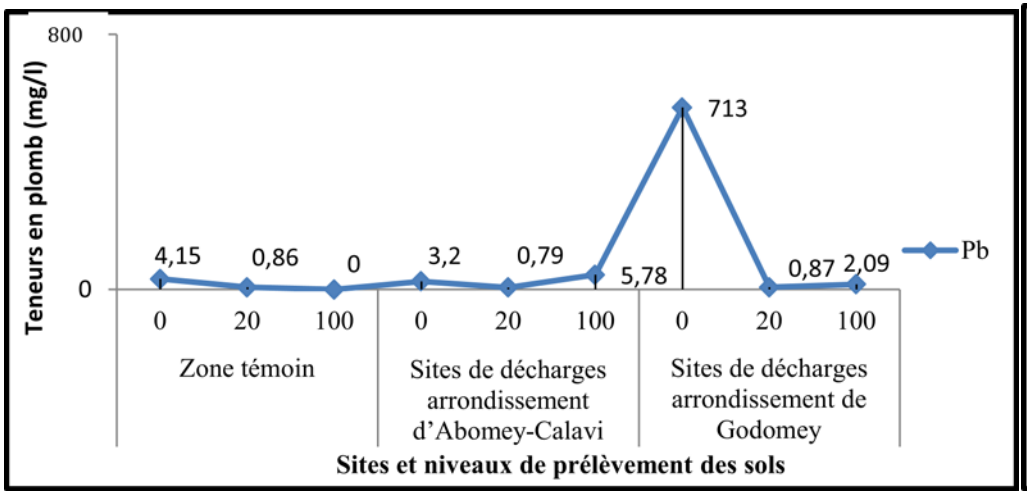

Figure 34c: Variation de la teneur en plomb des minéralisâts de sols

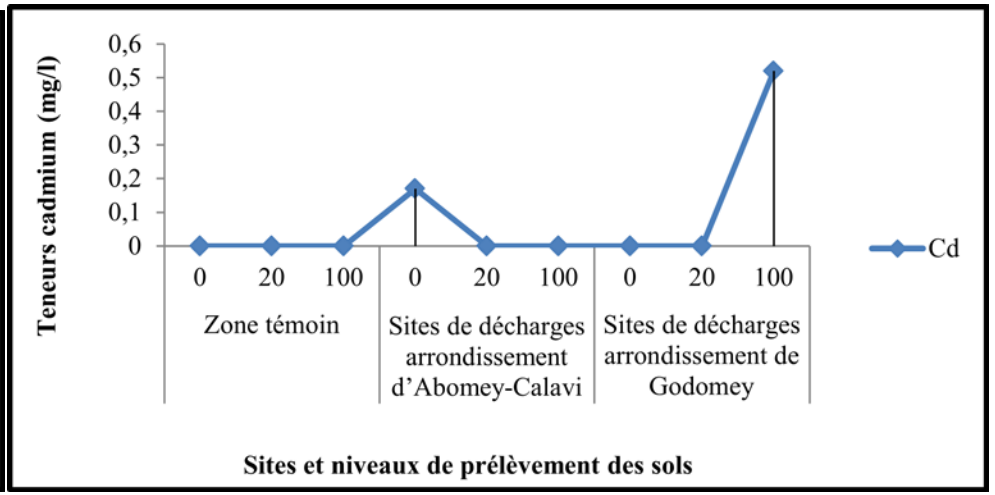

Figure 34d : Variation de la teneur en cadmium des minéralisâts de sols

Figure 34: Variation des teneurs en métaux (Cu, Ni, Pb et Cd) des minéralisâts des sols en fonction des sites et des niveaux de prélèvement

Source: *Résultats d'analyse, Janvier 2013*

De l'observation de la figure 34a, il ressort que les teneurs en cuivre paraissent avoir une variation uniforme au niveau profondeur. Elles sont plus élevées à 0 et 100 cm et plus faibles à 20 cm sauf sur les sites de décharges d'Abomey-Calavi où la teneur en cuivre est plus élevée à 100 cm. Aussi, à chaque niveau de prélèvement les plus grandes valeurs moyennes en cuivre semblent celles des sites de décharges excepté le site de décharges de Godomey où la teneur en cuivre à 100 cm est plus basse que celle de la zone témoin. La teneur moyenne maximale et minimale en cuivre des minéralisâts de sol des sites de décharges sont deux fois supérieures à celles de la zone témoin.

Les valeurs moyennes en nickel des minéralisâts des sols suivent presque les mêmes variations en profondeur que le cuivre (Figure 34b). Les fortes tenneurs sont notées à 0 et 100 cm et les faibles à 20 cm à part les sites de décharges de Godomey où c'est l'inverse. De plus, les valeurs moyennes à chaque niveau de prélèvement des sols sur des sites de décharges paraissent supérieures à celles de la zone témoin hormis le niveau superficiel sur les sites de décharges de Godomey et à 100 cm sur ceux d'Abomey-Calavi où c'est l'inverse.

Par rapport au plomb, les teneurs moyennes élevées des minéralisâts des sols sont notées à 0 cm en dehors des sols des sites de décharges d'Abomey-Calavi où la forte teneur est enregistrée à 100 cm (Figure 34c). Les plus faibles teneurs sont obtenues à 20 cm. Les concentrations moyennes les plus élevées sont celles des sols des sites de décharges. La teneur en plomb des minéralisâts de sols la plus élevée obtenue à 0 cm sur les sites de décharges de Godomey dépasse 172 fois celle de la zone témoin.

Le cadmium a été quasi absent dans les minéralisâts où sa teneur est inférieure à la limite de détection de l'appareil. Dans les sols de la zone témoin ce paramètre n'a pas été détecté. Il n'a été retrouvé qu'à 0 cm pour une teneur moyenne de 0,17 mg/l et à 100 cm avec une concentration moyenne de 0,52 mg/l respectivement sur les sites de décharges d'Abomey-Calavi et de Godomey. La forte teneur moyenne est enregistrée à 100 cm (Figure 34d).

6-2- Evaluation de la pollution des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharges incontrôlées

6-2-1- Effets des sites de décharges sur la qualité des eaux superficielles

Les valeurs moyennes des concentrations des eaux superficielles prélevées sont rapportées dans le tableau XXII.

Tableau XXII: Concentrations moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles prélevées

Paramètres	Normes	Moyennes	ES
pH	5 à 9	6,17	0,19
Cond (µS/cm)	1500	981	655
OD (mg/L)	>5	2,57	0,80
DCO (mg/L)	<125	1549	805
DBO5 (mg/L)	<30	146,7	78,6
NTK (mg/L)	6	17,60	4,16
Cu (mg/L)	0,05	0,0075	0,00445
Pb (mg/L)	0,05	nd	nd
Ni (mg/L)	0,05	nd	nd
Cd (mg/L)	0,001	nd	nd

Moy = Moyenne ES = Erreur Standard nd = non détecté

Source: *Résultats d'analyse, 2012 et 2013*

Il ressort du tableau XXII que les eaux prélevées au niveau des plans d'eau au pied des décharges sont faiblement acides avec un pH moyen de 6,17, très minéralisées pour une valeur moyenne de conductivité électrique de 981µS/cm et peu oxygénées avec une valeur moyenne de 2,57 mg/L. Les matières organiques oxydables (DCO) et biodégradables (DBO5) sont élevées avec des moyennes respectives de 1549 mg/l et 146,7 mg/L. La teneur moyenne de l'azote kjedhal obtenue est relativement élevée. Contrairement à ces paramètres, les métaux étudiés ont été quasi absents dans les eaux prélevées où leurs teneurs sont inférieures à la limite de détection de l'appareil. Seul le cuivre a été détecté avec une moyenne très faible qui est de 7,5 µg/L.

Dans l'ensemble, les valeurs moyennes du pH, de la conductivité électrique et du cuivre mesurées au niveau des eaux superficielles respectent la norme. Par contre,

celles de l'oxygène dissous, de la DCO, de la DBO5 et de la NTK sont hors norme, ce qui met en évidence une pollution essentiellement organique des eaux superficielles.
Par le phénomène d'infiltration, cette pollution pourrait-être aussi notée au niveau des eaux souterraines.

6-2-2- Evaluation de la contamination des eaux souterraines par les sites de décharges

6-2-2-1- Localisation des puits prélevés

Les puits sélectionnés dans le cadre de la présente recherche ont été ceux les plus proches des dépotoirs sauvages ciblés et de la zone témoin. La distance séparant ces puits des sites de décharges est comprise entre 18 et 133 m pour ceux situés dans les environs des sites de décharges puis 6 et 7 km pour ceux de la zone témoin.

6-2-2-2- Caractéristiques des puits sélectionnés

Lors des investigations sur le terrain, 100 % des puits sélectionnés étaient de types traditionnels disposant d'un matériel rudimentaire. Parmi ces derniers, 81 % étaient à ciel ouvert. Les 19 % restants étaient couverts à moitié avec une dalle, des couvercles en élément métallique, des branches d'arbre ou avec les feuilles de tôles rouillées percées par endroits supportées par des branches d'arbre. Les puisettes sont déposées par terre, sur la margelle ou le couvercle du puits photo 33 et 34.



Photo 33: Puits couvert à moitié avec des feuilles de tôles dans l'arrondissement de Godomey

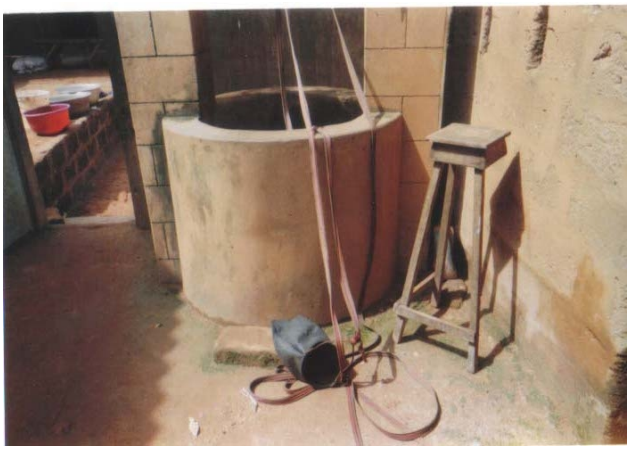

Photo 34 : Puits laissé à ciel ouvert dans l'arrondissement d'Abomey-calavi

Planche XV : Aspect des puits dans les arrondissements de recherche

Prise de vue : *Yêmadjè, Novembre 2012*

De la planche XV, il est observé que les puits sont à ciel ouvert ou couvert à moitité avec des feuilles de tôles rouillées. L'eau du puits est trouble et à une couleur dorée. La puisette est déposée par terre. De l'observation de terrain, il est noté que les puisettes sont mal entretenues. Certaines sont sales et ont une couleur verdâtre à l'intérieur.

Les investigations de terrain ont permis de noter que le niveau piézométrique des puits varie entre 0,4 et 21,72 m. Quant la profondeur, elle oscille entre 1,40 et 24,67 m (Tableau XXIII).

Tableau XXIII: Données piézométriques et distances des puits par rapport aux dépotoirs

Sites	Puits	Niveau Piézométrique (m)	Profondeur (m)	Distance puits Dépotoirs (m)
	P_1	19,55	22,45	6500
TEM	P_2	19,4	21,8	6550
	p_3	21,72	24,23	7000
	P_1	10,82	13,53	18
DCF	P_2	10,69	13,02	37
	p_3	11,45	13,45	86
	P_1	0,55	1,65	21
DCH	P_2	2,78	4,58	24
	p_3	5,7	6,9	27
	P_1	13,64	14,64	32
DCC	P_2	11,31	13,71	33
	p_3	10,55	12,2	55
	P_1	1	1,51	45
DGE	P_2	1,32	2,22	54
	p_3	1	1,4	65
	P_1	4,18	6,88	51
DGH	P_2	4,45	6,15	94
	p_3	4,48	6,99	133
	P_1	2,95	4,7	20
DGP	P_2	4,26	5,62	28
	p_3	2,7	3,7	39

DGE, DGH et DGP représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrrondissement de Godomey

DCC, DCH et DCF représentent les sites de décharges sélectionnés dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi

Source: *Données de terrain, Novembre 2012*

De l'observation du tableau XXIII, il est à retenir que les puits situés aux environs des sites de décharges sont moins profonds que ceux de la zone témoin. La proximité de ces puits par rapport aux décharges et leur faible profondeur font que ces puits peuvent être sujets à toute sorte de pollutions.

6-2-2-3- Influence des sites de décharges sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines

❖ Paramètres physico-chimiques des eaux de puits et leur variation en fonction de la profondeur

Le tableau XXIV montre l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux de puits en fonction des profondeurs.

Tableau XXIV : Influence de la profondeur des puits sur la qualité physico-chimique de l'eau des puits

Profondeur (m)	**1-7**		**12-14**		**21-25**		
Variables	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES	ANOVA
Ph	6,01	0,25	4,42	0,21	5,90	0,15	***
Cond (µs/cm)	379,2	43,50	280,20	64,00	212,30	63,10	NS
OD (mg/l)	9,29	0,66	11,85	0,45	7,87	0,39	NS
DCO (mg/l)	14,87	3,44	7,63	0,84	6,17	0,58	**
DBO5 (mg/l)	6,75	0,39	5,83	0,79	4,67	0,88	NS
NTK (mg/l)	0,44	0,24	0,47	0,47	0,19	0,19	NS
Ni (µg/l)	0,76	0,50	0,52	0,46	0,37	0,32	NS
Cu (µg/l)	5,73	2,55	1,4	0,733	2,43	2,43	NS
Pb (µg/l)	1,95	1,95	nd	nd	nd	nd	NS

OD= Oxygène dissous Cond = Conductivité Moy = Moyenne ES = Erreur standard NS = Non Significatif ** = moyennement significatif *** = fortement significatif.

Source: *Résultats d'analyse, Novembre 2012*

Le tableau XXIV montre que le pH a varié significativement ($p < 0,001$) en fonction de la profondeur. Il a été extrêmement acide (4,42) au niveau des puits de profondeur compris entre 12 et 14 m et moyennement acide à des profondeurs situées entre 1 et 7 m et 21 et 25 m avec des valeurs moyennes comprises respectivement entre 5,9 et 6,01. Cette évolution du pH en fonction de la profondeur indique que les eaux des puits peu profonds sont moins acides que les eaux des puits profonds. La DCO a été

significativement affectée par la profondeur des puits ($p < 0,01$). La valeur moyenne la plus élevée est de 14,87 mg/l notée au niveau des puits ayant une profondeur de 1 à 7 m puis la plus faible de 6,13 mg/l est enregistrée au niveau des puits d'une profondeur située entre 21 et 25 m. Ceci traduit une concentration élevée de la matière organique dans les eaux des puits peu profonds que celles des puits plus profonds. Pour les autres paramètres, aucune différence n'a été notée par rapport à la profondeur. Toutefois, la conductivité électrique, la DBO5, le nickel et le plomb ont des concentrations qui tendent à diminuer avec la profondeur (Figure 35).

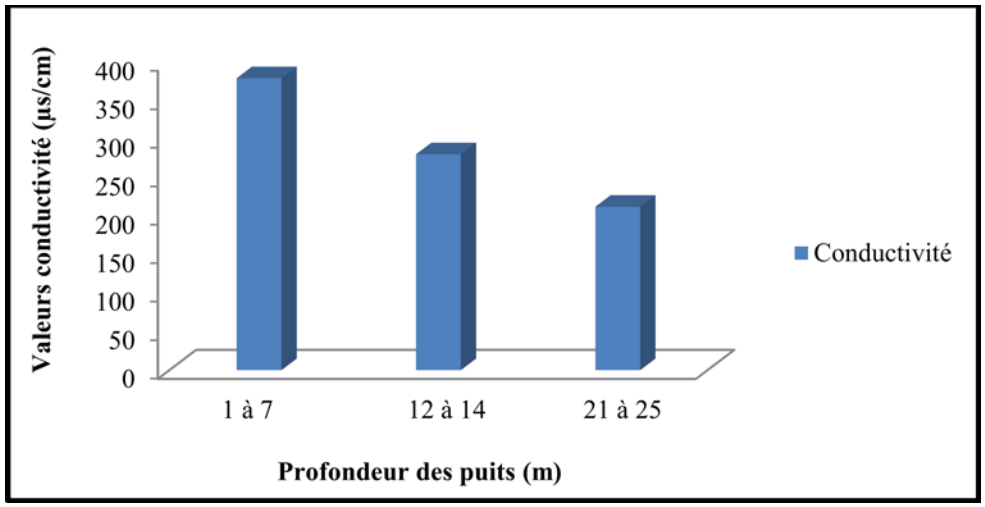

Figure 35a: Evolution de la conductivité en fonction de la profondeur des puits

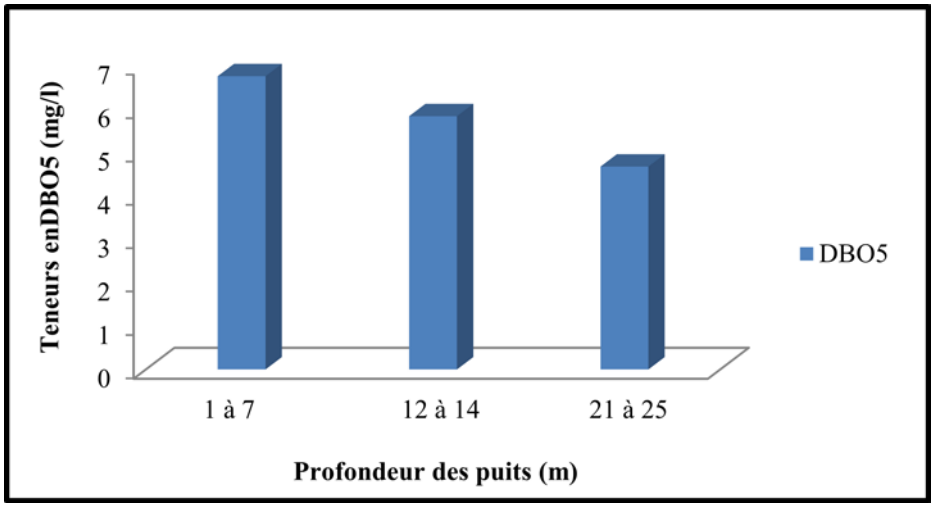

Figure 35b: Evolution de la DBO5 en fonction de la profondeur des puits

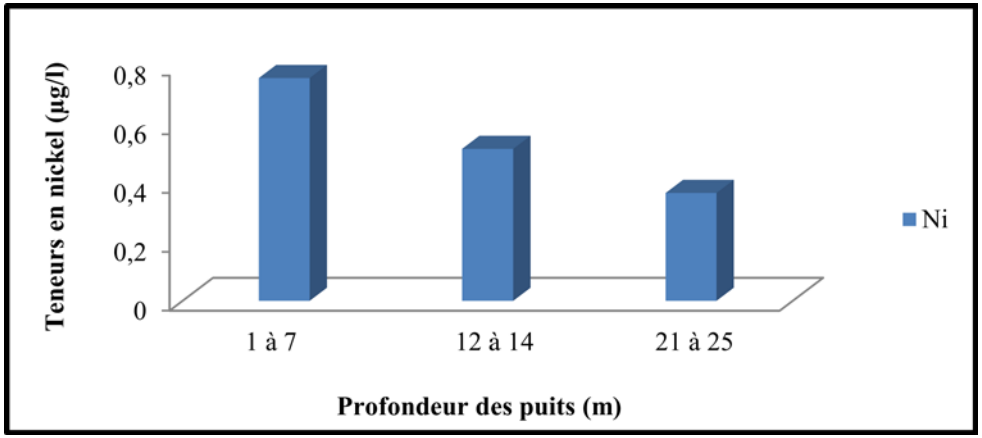

Figure 35c: Evolution du nickel en fonction de la profondeur des puits

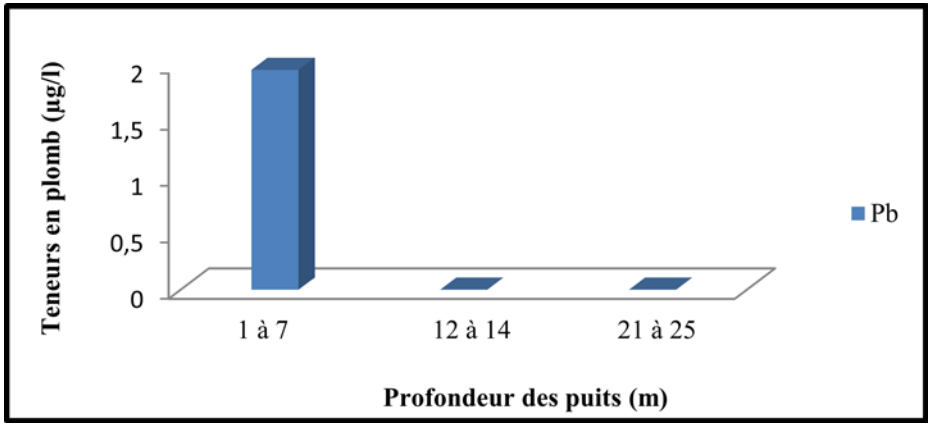

Figure 35d: Evolution du plomb en fonction de la profondeur des puits

Figure 35: Evolution des teneurs en conductivité, DBO5 et en métaux (Ni, Pb) en fonction des profondeurs des puits

Source : *Données de terrain, Novembre 2012*

La figure 35 montre que les valeurs de la conductivité, de la DBO5, du nickel et du plomb diminuent en fonction des profondeurs des puits. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées pour une profondeur variant entre 1 et 7 m puis les plus faibles entre 21 et 25 m. Alors, les eaux des puits peu profonds sont plus riches en sels minéraux, en matières organiques et en métaux (nickel et plomb) que celles des puits profonds. Contrairement à ces paramètres, les eaux des puits profonds ont des concentrations en oxygène dissous et en NTK plus élevées que celles des puits peu profonds. Quant au cuivre, la plus faible teneur a été notée au niveau des puits ayant une profondeur de 12 à 14 m et plus élevée au niveau des puits compris entre 1 et 7 m.

En dehors des variations par rapport à ces profondeurs, les paramètres étudiés ont aussi varié en fonction des distances.

❖ Effet de la distance sur la qualité physico-chimique des eaux de puits

Le tableau XXV présente la variation de la qualité physico-chimique de l'eau en fonction de la distance.

Tableau XXV: Variation de la qualité physico-chimique de l'eau des puits en fonction de la distance.

Distances (m)	**20-37**		**39-65**		**86-133**		**6000-7000**		**ANOVA**
Variables	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES	NS
pH	5,25	0,36	6,03	0,34	5,07	0,85	5,9	0,15	NS
Cond (µs/cm)	317,1	46,9	403,3	71,6	319	108	212,3	63,1	NS
OD (mg/L)	10,91	0,31	8,63	1,41	10,87	0,71	7,87	0,93	NS
DCO (mg/L)	12,55	2,85	15,29	5,92	6,49	1,02	6,17	0,58	NS
DBO5 (mg/L)	6,67	0,41	07	0,45	4,67	1,45	4,67	0,88	*
NTK (mg/L)	0,47	0,33	0,28	0,28	0,74	0,75	0,19	0,19	NS
Ni (µg/L)	0,47	0,33	1,1	0,99	0,47	0,33	0,37	0,032	NS
Cu (µg/L)	2,33	0,73	9,37	0,47	00	00	2,43	2,43	NS
Pb (µg/L)	2,6	2,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	NS

OD= Oxygène dissous Cond = Conductivité Moy = Moyenne ES = Erreur standard NS = Non Significatif * = faiblement significatif

Source: *Résultats d'analyse, 2012 et 2013*

Du tableau XXV, il est noté que tous les paramètres physico-chimiques étudiés hormis la DBO5 n'ont pas varié significativement ($p > 0,05$) en fonction des distances. Les valeurs moyennes les plus élevées de la DBO5 (6,67 et 7 mg/L ; $p < 0,05$) ont été enregistrées au niveau des puits plus proches (20 et 37 m) des décharges tandis que celles plus faibles sont notées au niveau des puits situés entre 39 et 133 m puis dans la zone témoin localisée à près de 7 km des décharges. Ces valeurs traduiraient une faible concentration des matières organiques dans les eaux des puits éloignés des sites de décharges. Néanmoins, il est à remarquer que les valeurs moyennes des autres paramètres à l'exception du plomb qui est retrouvé que dans les eaux des puits près des décharges (20 et 37 m) paraissent varier aussi en fonction de la distance (Figure 36).

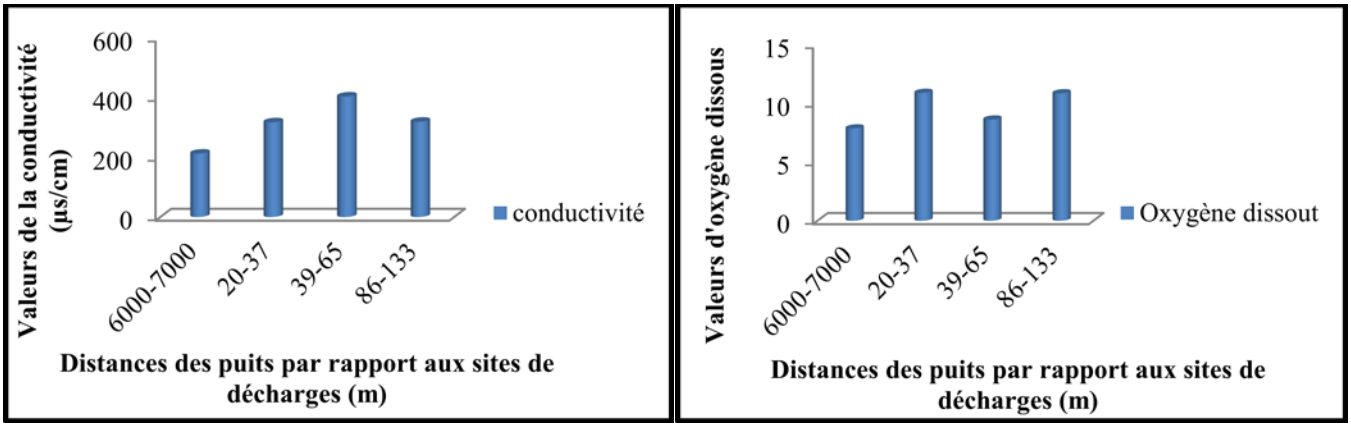

Figure 36a: Evolution de la conductivité et de l'oxygène dissous dans les eaux des puits en fonction de la distance des puits par rapport aux sites de décharges

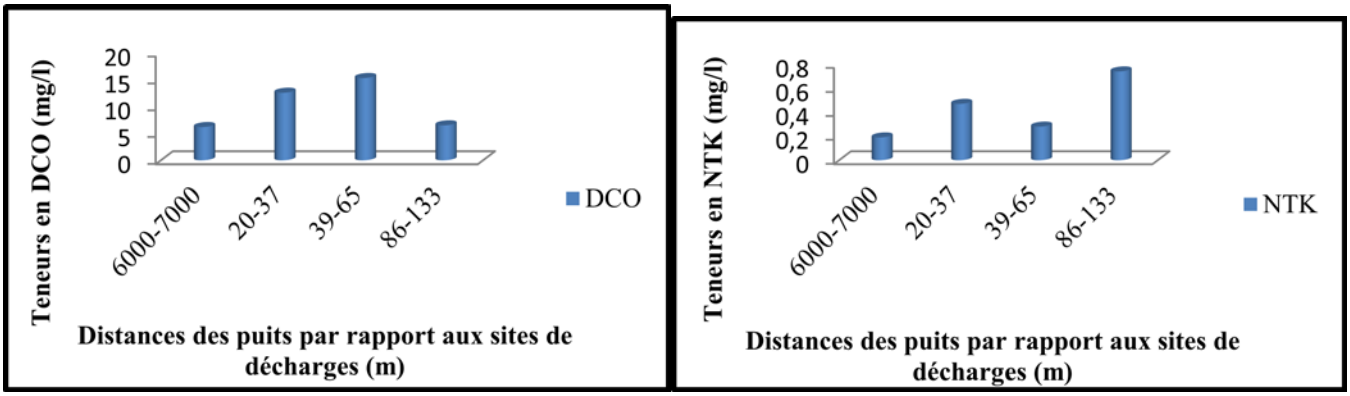

Figure 365b: Evolution de la DCO et de l'azote kjedhal dans les eaux des puits en fonction de la distance des puits par rapport aux sites de décharges

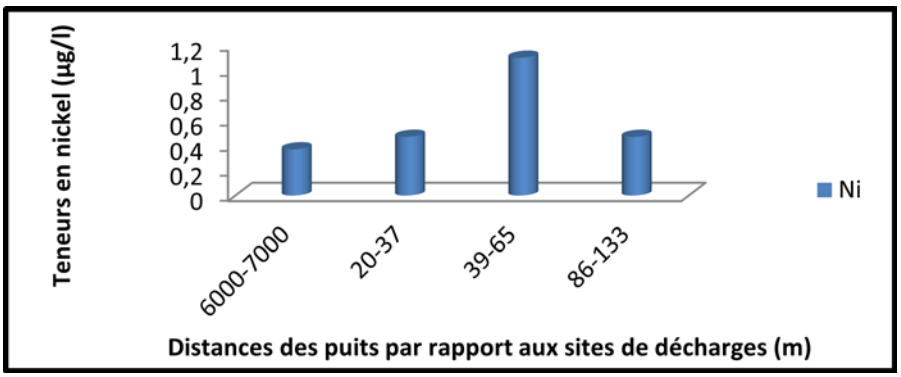

Figure 36c: Evolution du nickel dans les eaux des puits en fonction de la distance des puits par rapport aux sites de décharges

Figure 36: Evolution de la conductivité, de l'oxygène dissous, de la DCO, du NTK et du nickel dans les eaux des puits en fonction de la distance des puits par rapport aux sites de décharges

Source: *Données de terrain, 2012 et 2013*

De la figure 36, il ressort que les plus faibles concentrations en conductivité électrique, en oxygène dissous, en azote kjeldhal, en DCO, en nickel et plomb des eaux des puits sont celles de la zone témoin à l'exception du cuivre où c'est le contraire. De plus, il a été remarqué que les eaux des puits situés entre 39 et 65 m aux environs des décharges ont les valeurs moyennes les plus élevées pour la majorité de ces paramètres (conductivité électronique, DCO et nickel).

❖ Influence des lieux sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines

La variation des propriétés physico-chimiques des eaux de puits selon les sites de localisation est résumée dans le tableau XXVI.

Tableau XXVI: Effet de la zone sur les propriétés physico-chimiques des eaux de puits

Variables		Zone témoin		Abomey-Calavi		Godomey		ANOVA
	Normes (mg/l)	Moy	ES	Moy	ES	Moy	ES	
pH	**6,5-8,5**	5,9	0,15	4,75	0,36	6,21	0,12	**
Cond (µs/cm)	**400**	212,3	63,1	322,1	52,8	370,2	52,7	NS
OD (mg/l)	**>5**	7,867	0,393	11,367	0,408	8,922	0,841	*
DCO (mg/l)	**<10**	6,173	0,575	11,66	3,02	13,25	3,96	NS
DBO5(mg/l)	**<5**	4,667	0,882	5,889	0,611	7	0,373	NS
NTK (µg/l)	**1**	0,187	0,187	0,467	0,33	0,436	0,292	NS
Nickel (µg/l)	**0,02**	0,037	0,032	0,05	0,033	0,086	0,066	NS
Cu (µg/l)	**2**	2,43	2,43	2,48	0,75	6,10	3,44	NS
Pb (µg/l)	**0,05**	00	00	00	00	2,6	2,6	NS
Cd (µg/l)	**-**	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-

OD= Oxygène dissous Cond = Conductivité Moy = Moyenne ES = Erreur standard NS = Non Significatif * = faiblement significatif ** = moyennement significatif

Source: *Résultats d'analyse, 2013*

Du tableau XXVI, il est noté qu'à l'exception du pH et de l'oxygène dissous, les autres paramètres étudiés n'ont pas différé au seuil de probabilité $p > 0,05$ selon les sites de localisation des puits. Par rapport au pH, les eaux prélevées des puits sont acides tandis que celles situées à proximité des décharges de l'arrondissement d'Abomey-Calavi sont extrêment acides et au niveau de l'arrondissement de Godomey, elles sont

faiblement acides. Dans la zone témoin, ces eaux sont moyennement acides. Quant à l'oxygène dissous, les eaux des puits situés aux environs des sites de décharges sont plus oxygénées que celles des puits de la zone témoin. La valeur moyenne maximale de l'oxygène dissous est de 11,66 mg/l obtenue au niveau des puits de l'arrondissement d'Abomey-Calavi. Cependant, il est à constater qu'à l'exception du plomb retrouvé uniquement dans les eaux des puits près des décharges de l'arrondissement de Godomey, les valeurs moyennes des autres paramètres semblent être plus faibles au niveau des eaux de puits de la zone témoin que ceux situés dans les environs des sites de décharges (Figure 37).

Il ressort également du tableau XXVI que les teneurs moyennes des eaux de puits des paramètres étudiés quel que soit le site de localisation des puits sont en deçà de la norme excepté le pH et la DCO où il a été noté des valeurs moyennes au-delà de la norme pour les eaux de puits localisées près des sites de décharges.

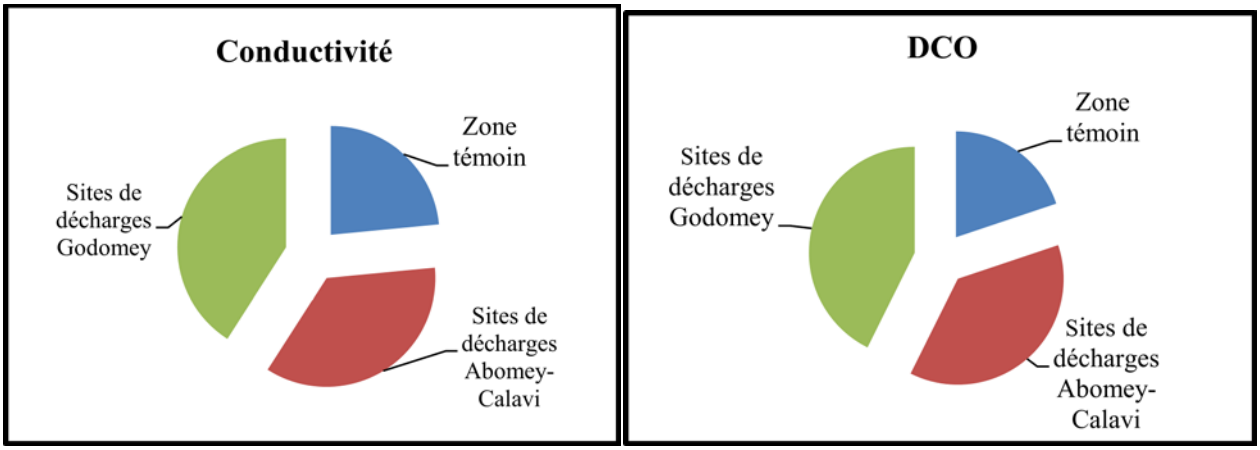

Figure 37a: Teneurs moyennes de la conductivité et de la DCO des eaux des puits en fonction des sites de localisation des puits

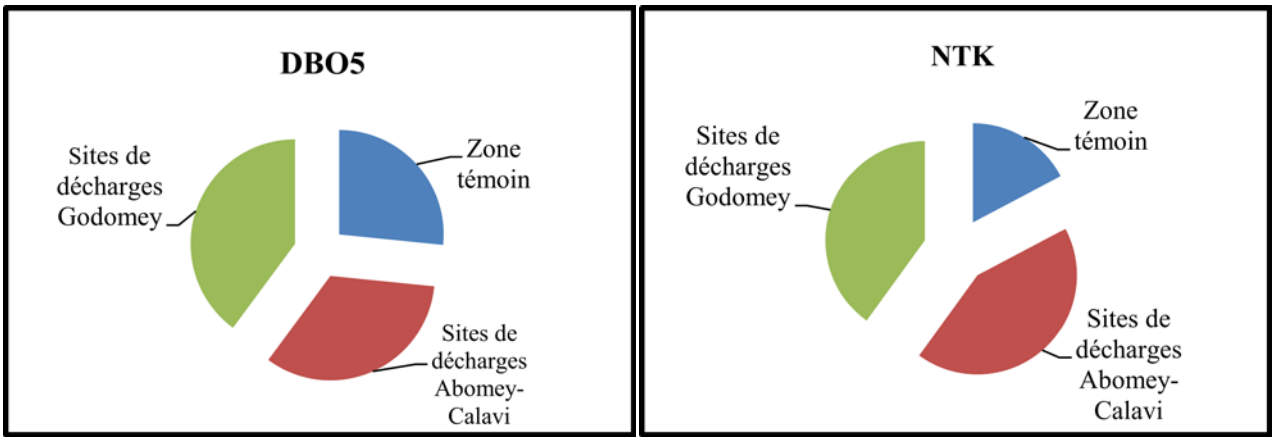

Figure 37b: Teneurs moyennes de la DBO5 et de la NTK des eaux des puits en fonction des sites de localisation des puits

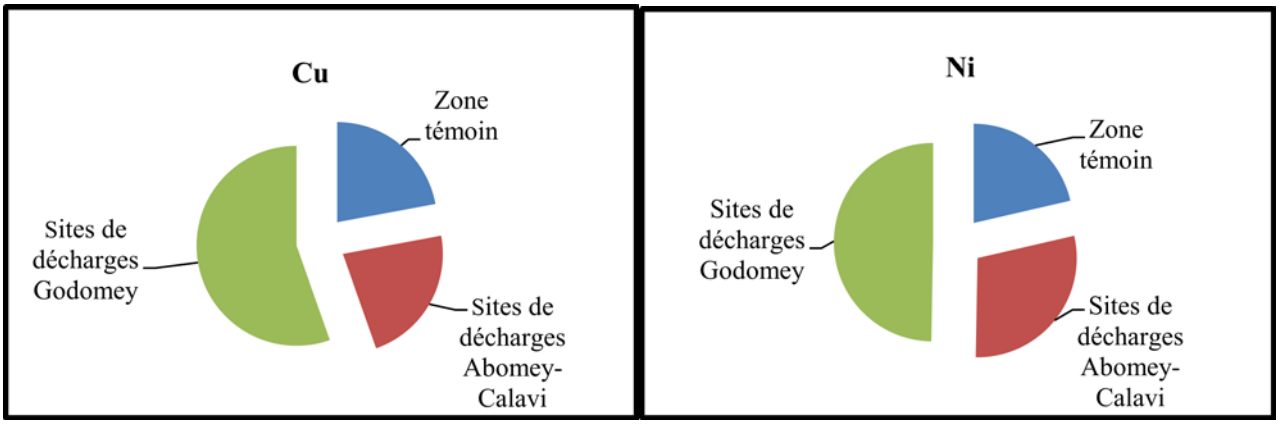

Figure 37c: Teneurs moyennes du Cu et du Ni des eaux des puits en fonction des sites de localisation des puits

Figure 37: Teneurs moyennes de la conductivité, de la DCO, de la DBO5, du NTK, du Cu et du Ni des eaux des puits en fonction des sites de localisation des puits

Source: *Données de terrain, 2012 et 2013*

L’observation de la figure 37 montre que les valeurs moyennes les plus élevées des paramètres (conductivité, DCO, DBO5, NTK, cuivre et nickel) paraissent être celles des puits localisés dans les alentours des sites de décharges sélectionnés dans les arrondissements d’étude en l’occurrence celui de Godomey.

6-3- Discussion

6-3-1- Paramètres physiques des sols

Les sols des arrondissements d’étude ont une texture sableuse et légèrement argileux à 0 cm, moyennement argileux à 20 cm et plus argileux à 100 cm (Figure 27). Afouda (1981) a fait les mêmes constatations. Il a noté que les sols des arrondissements d’Abomey-Calavi et de Godomey ont une texture sableuse en surface et deviennent progressivement argileux en profondeur. Selon les observations faites par cet auteur, entre 10 et 30 cm, les sols de ces arrondissements présentent un horizon humifère dont la teneur en argile est de 5 à 15 %. A partir de 30 à 60 cm et au-delà se trouve un horizon sablo-argileux dont la teneur est de 35 à 45 % d’argile et dépasse plus de 50 % après 60 cm. Cette texture des sols constitue un risque de pollution car facilite l’infiltration rapide des polluants.

Par rapport à la teneur en eau, elle est très forte sur les sols argileux et dans les zones marécageuses. Le taux le plus élevé est noté à 100 cm de profondeur sur le sol argileux riche en matières organiques. Ainsi, la teneur en eau dépend de la texture du sol, mais aussi de sa nature et de la présence des matières organiques et des argiles. D’après Mbonigaba et *al.*, 2009 (2007), la capacité de rétention en eau est grandement liée à la texture minéralogique qui détermine la structure du sol. Pour Klute (1986), et Annabi (2005), le taux des matières organiques a un effet direct sur la fonction de rétention en eau à cause de sa nature hydrophilique ou hydrophobique. Quant à l’indice de plasticité, elle est fonction de la teneur en eau et en argile puis a les mêmes caractéristiques que ce dernier. Les forts indices de plasticité ont été observés sur les sols des sites de décharges localisés dans les zones marécageuses. A ces endroits, pendant la saison pluvieuse lorsque le sol dépasse sa capacité de rétention, la nappe phréatique se gonfle et remonte d’où la submersion des décharges (Photo 32). Ceci peut entraîner la contamination du sol, des eaux superficielles et souterraines par les déchets. PCUG3 (2010), abordant dans le même sens a notifié que dans la zone

d’Abomey-Calavi et de Godomey lorsque la grande saison des pluies s'installe, les sols atteignent leur niveau de saturation dans un délai de deux à trois semaines. La nappe phréatique se gonfle et l’eau atteint très rapidement la surface du sol.

6-3-2- Propriétés physico-chimiques des lixiviats des sols et leurs effets sur les lieux et niveaux de prélèvement

6-3-2-1- Influence des sites sur les paramètres physiques, la DCO, la DBO5 et le NTK des lixiviats des sols

Des investigations de terrain, il ressort que les sols deviennent de plus en plus acides en profondeur et moins acides sur les sols des sites de décharges que ceux de la zone témoin. Cet état du pH au niveau des sols étudiés pour ACEP et *al.,* (2009) peut être attribué à la nature des sols qui est du sable moyen, sablo argileux entre 0 et 20 cm ou argileux à 100 cm (Figure 32). Hassoune (2006), explique l’acidité élevée des sols à 100cm par la présence des ions carbonates (HCO_3) provenant de la dissolution des couches argileuses. Concernant la faible acidité des lixiviats des sols des sites de décharges par rapport à ceux de la zone témoin, elle peut s’expliquer par la dégradation avancée des déchets qui est à la phase acétogenèse. Dans l’ensemble, l’acidité des sols des secteurs de recherche surtout ceux de la zone témoin est un facteur de risque pour les eaux souterraines car en milieu acide l'efficacité de l’adsorption est réduite, ainsi les métaux ont la facilité de migrer vers les eaux de proximité et les nappes d’eau souterraine (Adjiri et *al*, 2008).

Pour la conductivité électrique, il est noté des valeurs plus élevées au niveau des sols des sites de décharges que ceux de la zone témoin et une variabilité significative en fonction du niveau de prélèvement avec les valeurs maximales au niveau 0 cm (entre 36 et 312,7 µS/cm) et les minimales à 20 et 100 cm (entre 17 et 212,3 µS/cm). Cette baisse des valeurs de la conductivité en profondeur traduit une faible minéralisation des sols en profondeur et ne peut s’expliquer que par la diminution progressive des déchets dès qu’on évolue en profondeur. Les profils pédologiques (Figure 32) réalisés au cours des travaux montrent bien cet état de choses où les déchets extra-fins riches en humus ne sont observés qu’en surface. Pour Bodjona (2012), les valeurs les plus élevées de conductivité électrique notées au niveau des sols des sites de décharges ne

peuvent être dues qu'à la dégradation avancée des déchets déposés donnant lieu à une forte présence de sels minéraux.

Les résultats concernant l'oxygène dissous montrent de faibles taux en surface des sols qui deviennent plus importants en profondeur. Ces taux sont aussi plus élevés sur les sols de la zone témoin que ceux des sites de décharges. Les faibles taux d'oxygène dissous obtenus en surface des sols et surtout au niveau des sols des sites de décharges, prouvent que ces sols particulièrement ceux des sites de décharges sont riches en matières organiques. Alors, les micro-organismes présents dans ces milieux utilisent l'oxygène dissous pour oxyder les matières organiques ; ce qui rend pauvre le niveau superficiel des sols et surtout les sols des sites de décharge en oxygène dissous (Hassoune, 2006). Ceci traduit sans doute les valeurs élevées de la DCO et de la DBO5 au niveau superficiel des sols et principalement sur les sols des sites de décharges. Quant à l'azote kjeldhal, les faibles valeurs enregistrées en surface des sols peuvent être liées au faible taux d'oxygène dissous à ce niveau qui a dû entraîner la perte d'azote sous forme volatile (Bodjona, 2012). Ces faibles valeurs de l'azote kjedhal et son absence dans les lixiviats des sols de la zone témoin à 20 et 100 cm peuvent s'expliquer aussi par les taux des matières organiques exprimés en DCO et DBO5.

6-3-2-2- Variation de la teneur en métaux des sols en fonction des lieux et des niveaux de prélèvement

Les résultats d'analyse ont montré la présence des métaux étudiés (cuivre, nickel, plomb et cadmium) à tous les niveaux de prélèvement des sols à l'exception du cadmium qui a été enregistré à 0 et 100 cm dans les sols des sites de décharge (Tableau XXI). Les concentrations moyennes de ces métaux sont faibles à part le plomb dont la concentration est élevée à 0 cm sur les sites de décharge de l'arrondissement Godomey.

Les analyses statistiques ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les niveaux et les sites de prélèvement. Mais, il est constaté que les concentrations de ces métaux paraissent évoluer en profondeur et par rapport aux sites de prélèvement des sols. Cette évolution diffère selon le métal.

D’après la figure 34a, les teneurs en cuivre semblent être plus élevées au niveau des sols des sites de décharges que ceux de la zone témoin. Les concentrations maximales sont notées à 0 et 100 cm et les minimales à 20 cm. Les valeurs élevées du cuivre enregistrées au niveau des sites de décharges seraient liées à la présence des déchets sur ces sols du moment où le cuivre provient selon Alouémine et *al.,* (2005) essentiellement des catégories de déchets comme: les papiers et les cartons, les textiles, les métaux, les composites et éventuellement les éléments fins qui font partie des catégories de déchets retrouvés sur les sites de décharges sélectionnés (Figure 27). Du côté du niveau de prélèvement, les plus fortes concentrations du cuivre en surface peuvent se justifier par la forte teneur en matières organiques et le pH élevé car le cuivre a une grande affinité vis-à-vis de la matière organique (Weissenhorn, 1994 ; Lebourg et *al*., 1996). Par contre, en profondeur (100 cm), le fort taux du cuivre est dû à la migration de ce métal dans le sol favorisée essentiellement par la texture du sol qui est argileux en profondeur comme notifié par Kouame et *al.*, (2005). Pour ces auteurs, le cuivre se fixe préférentiellement sur les argiles et la matière organique à des pH élèvés. Ainsi, le faible taux du cuivre à 20 cm ne peut être justifié surtout par la faible teneur en argile.

Pour ce qui est du nickel, il est à noter qu’à quelques différences près, il suit la même évolution en profondeur que le cuivre. Les valeurs moyennes élevées sont enregistrées à 0 et 100 cm et les plus bas à 20 cm à l’exception des sols des sites de décharge de Godomey ou c’est l’inverse (Tableau XXI). Les teneurs moyennes élevées du nickel à 0 et 100 cm seraient liées à la nature du métal qui s’accumule au niveau superficielle riche en matières organiques et qui a la facilité de migrer vers les profondeurs au pH faible. Les faibles valeurs à 20 cm ne peuvent que se justifier par la chute de la valeur du pH à 100 cm (Elass et *al.*, 2003). Pour preuve dans l’arrondissemnt de Godomey, pour un pH plus faible (6,10) à 20 cm la concentration du nickel est plus élevée (2,30 µg/l) qu’à 100cm (0,89 µg/l) pour un pH plus élevé (6,50). Des études ont souligné que la mobilité du nickel augmente aux pH faibles et dans des milieux riches en matières organiques (CNRC, 1981 et Bodjona, 2012).

Par rapport au plomb, les teneurs moyennes maximales ont été enregistrées au niveau superficiel (0 cm) des sols hormis les sols des sites de décharge de l'arrondissement d'Abomey-Calavi où elles sont notées à 100 cm. Les plus faibles valeurs sont notées à 20 cm (Tableau XXI). Les concentrations moyennes les plus élevées sont obtenues sur les sols des sites de décharges (713 mg/L à 0 cm au niveau des sols des sites de décharges de l'arrondissement de Godomey et 5,78 mg/l à 100 cm sur celui d'Abomey-Calavi). Ces taux élevés notés sur les sols des sites de décharges surtout ceux de l'arrondissement de Godomey peuvent être liés aux déchets dangereux provenant surtout des produits agricoles (les fertilisants, les insecticides, les herbicides …) et les composites (les emballages des produits agricoles) observés dans les déchets prélevés sur ces sites lors du tri par catégorie (Figure 27). L'accumulation du plomb dans les sols à 0 cm pourrait s'expliquer par le fait que ce métal se concentre plus dans les horizons de surface (Steckeman et *al.*,2000) et plus précisément dans les horizons riches en matières organiques (Bodjona, 2012). Par contre, la teneur élevée à 100 cm dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi peut être due à l'abaissement du pH et l'importance de la matière organique qui ont favorisé la mobilisation du métal. Les études antérieures ont relevé cet état de choses. Ainsi, pour Pichard et *al.,* (2002), un pH supérieur à 5 et un sol ayant une teneur en matières organiques d'au moins 5 %, favorisent l'accumulation du plomb. Les plus faibles valeurs du plomb notées à 20 cm seraient liées à la migration du métal vers la profondeur. Par rapport au cadmium, il a été trouvé seulement dans les sols des sites de décharges à 100 cm dans l'arrondissement de Godomey et à 0 cm dans celui d'Abomey-Calavi (Figure 34d). Ceci témoigne de la migration du cadmium vers la profondeur. Ce transfert vers la profondeur est favorisé essentiellement par le pH au niveau de ces sols qui est autour de 6 (Citeau, 2004). La faible teneur en cadmium à 0 cm est due au début de mobilisation de ce métal. Sa présence sur les sols de sites de décharges et la teneur plus élevée à 100 cm sur les sites de l'arrondissement de Godomey pourrait provenir des déchets déposés (piles, batteries usées et les plastiques) et surtout des intrants agricoles retrouvés dans les déchets des sites de décharges. Pour Bouchakor (1999), le cadmium est généré par les accumulateurs mais aussi par les plastiques, les verres (colorants) et métaux (alliages). Ces résultats se rapprochent de ceux de Bouchakor

(1999) et Bodjona et *al*. (2012) qui ont trouvé dans les profondeurs des sols des massifs de décharges des teneurs plus élevées en cadmium. Ils ont lié cette migration du métal à sa mobilité.

La comparaison des concentrations moyennes obtenues pour ces métaux par rapport à la norme AFNOR NF U 44-041 et celles autorisées pour un sol normal montre que presque tous les sols étudiés sont exempts de contamination et de pollution. Les sols des sites de décharges de l'arrondissement de Godomey sont les seuls contaminés par le plomb et le cadmium respectivement au niveau superficiel (0 cm) et en profondeur (100 cm) mais pollués uniquement à 0 cm par le plomb. L'indice de pollution calculé confirme cette pollution des sols dans cet arrondissement. Bodjona, (2012) est parvenue à la même conclusion. Il a retrouvé aussi dans les sols de la décharge finale de la ville de Lomé des teneurs moyennes en ces métaux (cuivre, nickel, cadmium et plomb) qui sont inférieures à la norme AFNOR. Ces faibles valeurs notées qui ne permettent pas de parler de la pollution des sols peuvent s'expliquer par la rareté des catégories de déchets (métaux, composites, les déchets dangereux, les textiles et les verres) sur les sites de décharges et l'absence de ces déchets sur les sols de la zone témoin. Le tri par catégorie des déchets réalisé sur les sites de décharges confirme cette réalité où il a été trouvé une faible proportion de ces catégories de déchets (Figure 27). Cette faible proportion de ces catégories de déchets sur les sites de décharges est due surtout au développement des activités de récupération dans le milieu d'étude. Alors, la valorisation de cette activité serait un double atout car en dehors de l'importance économique reconnue, elle constitue un moyen pour réduire la pollution de l'environnement. Cependant, des inquiétudes subsistent encore car la mise en décharge traditionnelle des déchets est un problème à long terme. Alors, les sols non pollués aujourd'hui constatés peuvent l'être à l'avenir du moment où l'effet des sites de décharges sur les sols a été remarqué. Cette pollution peut se réaliser par l'accumulation des métaux et par l'influence de certains paramètres (matières organiques, texture du sol, et pH du milieu) qui favorisent le relargage rapide des métaux lourds. Dans ces conditions, il serait nécessaire d'accompagner la valorisation et l'activité de récupération par la mise en décharge moderne.

6-3-2-3- Evaluation de la pollution des eaux superficielles par les sites de décharges incontrôlées

D'après le tableau XXII, le pH des eaux superficielles prélevées est faiblement acide avec une moyenne de 6,17. Ce pH est semblabe à ceux des lixiviats des sites de décharges qui oscillent entre 6,87 et 7,1. Alors, la faible acidité des eaux superficielles ne peut dépendre que des lixiviats des sites de décharge qui par écoulement échouent dans les plans d'eau. Ce caractère faiblement acide des plans d'eau ne peut se justifier que par l'influence du dégagement de CO_2 provenant des sites de décharges sur ces eaux et la décomposition avancée de la matière organique contenue dans les lixiviats de ces sites (Mehdie et *al,* 2007 ; Nisbet et verneaux, 1970) due à l'âge des décharges qui se trouve à la phase intermédiaire et peut être à l'étape acétogenèse. Selon la norme française, ces eaux sont dans les normes.

Quant à la conductivité électrique, la concentration moyenne obtenue est relativement élevée (981 µS/cm). Elle se rapproche de celles des lixiviats des sites de décharges qui sont comprises entre 595 et 815,33 µS/cm. Cette valeur moyenne de la conductivité électrique se trouve dans la tranche de celle obtenue dans le barrage collinaire (970 et 31660 µS/cm) près de la décharge sauvage d'Oujda au Maroc (EL Kharmouz, 2013). Cette salinité élevée de ces eaux superficielles près des décharges laissent supposer que l'alimentation de ces eaux en sels minéraux est faite en grande partie par les lixiviats des sites de décharges qui sont de nature riche en sels minéraux (Christensen et *al*, 2001 et Khattabi et *al.,* 2002). La salinité moyenne des eaux superficielles dans la présente recherche reste dans les normes admises indiquant la non pollution de ces eaux par les sels minéraux.

Pour l'oxygène dissous, le taux obtenu au niveau des plans d'eau est faible (2,54 mg/L) tout comme les taux observés au niveau des lixiviats des sites de décharges (2,2 et 2,37 mg/L). Les eaux superficielles étant prélevées à proximité des décharges, ce déficit d'oxygène dissous remarqué ne peut s'expliquer par l'écoulement des lixiviats des décharges vers les plans d'eau chargés des matières organiques issues de la dégradation des déchets surtout les putrescibles. En effet, les micro-organismes pour biodégrader ces matières organiques contenues dans les eaux consomment l'oxygène et rendent ces eaux vulnérables. Avec ce déficit, la valeur moyenne de l'oxygène

dissous dans ces eaux est en dessous de la norme admise. Pour IBGE (2005), les espèces de poissons sensibles dans ces eaux peuvent être perturbées.

Les concentrations moyennes élevées de la DCO, de la DBO5 et du NTK mesurées dans les eaux superficielles (1594 mg/L, 146,7 mg/L et 17,60 mg/L) indiquent une importante charge organique de ces eaux et confirment l'influence des lixiviats des décharges sur ces plans d'eau. En effet, les valeurs moyennes de ces paramètres sont supérieures aux normes françaises qui sont inférieures à 125 mg/L et 30 mg/L respectivement pour la DCO et la DBO5 et égales à 6 mg/L pour le NTK, ce qui indique une pollution organique de ces plans d'eau. La conséquence immédiate de ces fortes concentrations en ces paramètres est l'eutrophisation accélérée des plans d'eau comme souligné précédemment. Cette pollution étant aussi notée au niveau des lixiviats des sites de décharges, ces plans d'eau ne peuvent être contaminés par ces derniers. Cet état de chose peut conduire au comblement des plans d'eau, au développement de la flore et à la disparition des espèces aquatiques.

Pour ce qui est des métaux lourds étudiés (nickel, cadmium, cuivre et plomb), ils ont été quasi absents dans les eaux superficielles prélevées. Seul le cuivre a été détecté avec une moyenne très faible de 07,5 µg/L qui respecte les valeurs standards françaises fixées pour les eaux superficielles. Par contre, les lixiviats des sites de décharges qui coulent dans ces plans d'eau ont des teneurs moyennes plus élevées en ces métaux à l'exception du cadmuim qui n'a pas été déctecté. De plus, ces lixiviats présentent une pollution en plomb et en cuivre. La non disponibilité ou la non pollution de ces plans d'eau par les métaux peut s'expliquer par le fait que l'eau ne permet pas de dissocier les métaux lourds qui sont sous forme complexe. De plus, les métaux lourds tendent à se fixer plus sur les sédiments qui sont très riches en matières organiques et sont également très rapidement soustraits à l'eau par les particules en suspension (Kaid-rassou, 2009).

6-3-2-4- Influence des sites de décharges sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines

❖ Influence des sites sur les paramètres physiques des eaux souterraines

L'influence des sites de décharges sur la qualité physico-chimique des eaux de puits a été évaluée par rapport à des puits témoins situés entre 6 et 7 km des sites de décharges et des puits localisés près des sites de décharges se trouvant entre 18 et 133 m (Tableau XXIII). Ces puits sont les moins profonds avec des profondeurs variant entre 1 et 14 m par rapport à ceux de la zone témoin qui ont des profondeurs comprises entre 21 et 25 m (Tableau XXIII). Ils sont de types traditionnels et majoritairement non couverts. La faible profondeur des puits près des sites de décharges par rapport à ceux de la zone témoin peut s'expliquer par le fait que ces puits sont localisés dans les zones de bas-fond ou à proximité des plans d'eau pour ceux de très faibles profondeurs ou bien sont plus proches de la plaîne côtière pour les puits ayant des profondeurs moyennes. Ces résultats se rapprochent de ceux de Dégbey et *al.,* (2010). Ces auteurs ont souligné que les puits des ménages de la Commune d'Abomey-Calavi sont traditionnels, réalisés par des puisatiers locaux disposant d'un matériel rudimentaire, de petits diamètres, moins profonds (1 à 15 m) et munis des systèmes de protection tels que la margelle, le couvercle et la dalle anti-bourbier.

D'après les résultats des analyses physico-chimiques, les valeurs moyennes de pH mesurées (5,9 dans la zone témoin, 4,75 dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et 6,21 dans celui de Godomey) montrent que les eaux des puits prélevées sont acides et sont significativement différentes en fonction des sites de localisation des puits. Les eaux des puits situés aux environs des sites de décharges de l'arrondissement d'Abomey-Calavi et au niveau de la zone témoin un village de cet arrondissement sont plus acides que celles des puits au voisinage des sites de décharges de l'arrondissement de Godomey. Alors, l'acidité de ces eaux peut être liée à la nature des sols traversés. Mais, la très forte acidité de l'eau constatée au niveau des puits aux environs des sites de décharges de l'arrondissement d'Abomey-Calavi par rapport aux puits de la zone témoin ne peut qu'être liée à la matière organique et au dégagement du CO_2 provenant essentiellement des sites de décharges. Ces remarques corroborent avec celles de Mehdi et *al.*, (2007). Ces auteurs ont constaté aussi que l'eau des puits qui sont proches de la décharge publique de la ville de Tiaret (Algérie) est plus acide. Ils

ont justifié cette situation par l'influence du dégagement de CO_2 de la décharge sur les eaux souterraines. En effet, selon Tapsoba (1995) puis Ahoussi et *al.* (2010), l'acidité des eaux en zone tropicale est principalement liée à la décomposition de la matière organique végétale, avec la production de CO_2 dans les premières couches du sol.

L'oxygène dissous a été également affecté par les sites de localisation des puits. Les puits de la zone témoin sont moins oxygénés. Ces puits étant très profonds et pauvres en matières organiques, l'origine de la sous-oxygénation des eaux de ces puits serait liée à l'échange air-eau et à la pénétration de la lumière (IBGE, 2005 et Belghiti, 2013). Cet état de choses peut favoriser le développement des gènes pathogènes.

Pour ce qui est de la conductivité électrique, l'eau des puits situés au voisinage des sites de décharges a tendance à être plus minéralisée (322,1 et 370,2 mg/L) que celle des puits de la zone témoin (212,3 mg/L) (Tableau XXVI et Figure 34a). Ces valeurs obtenues sont supérieures à celles trouvées par Khattabi et *al.*, (2001), dans les eaux de puits situées à proximité d'une décharge d'ordures ménagères en France (32 - 245 µs/cm) et inférieures à celles des puits retrouvés à proximité de la décharge publique d'Oujdad au Maroc oriental (970 - 31660 µs/cm). La minéralisation élevée au niveau des eaux des puits avoisinant les sites de décharges est due à l'infiltration des lixiviats générés par les décharges très chargées en sels minéraux. Rassam et *al* (2012), Chofqi et *al* (2004), Djorfi et *al* (2010) ont fait les mêmes constats. Ils ont remarqué que les eaux des puits près des sites de décharges ont une salinité plus élevée que celles des puits éloignés.

❖ Influence des sites de décharges sur les paramètres organiques des eaux souterraines

Tout comme la conductivité, les teneurs moyennes en DCO (11,66 et 13,66 mg/L) , en DBO5 (5,89 et 7 mg/L) et en NTK (0,47 et 0,43 mg/L) des eaux des puits situés à proximité des sites semblent être les plus élevées que celles des puits de la zone témoin ((DCO = 6,17 mg/L ; DBO5 = 4,67 mg/L et NTK = 0,19 mg/L) (Tableau XXVI et Figure 34b). Ceci traduit une charge plus importante en matières organiques des eaux des puits à proximité des sites de décharges. Les teneurs de ces paramètres dans les eaux de puits prélevées mettent en évidence une pollution en matières organiques. Les concentrations moyennes de ces paramètres sont très faibles par rapport à celles obtenues par Mehdi et *al.*, (2007) (DCO variant entre 32 et 82 mg/L ; DBO5 entre 20 et 40 mg/L). Cependant, ces auteurs sont parvenus à la même

conclusion. Ils ont constaté également que les eaux des puits proches des décharges sont plus riches en matières organiques que celles des puits plus éloignées. Chofqi et *al* (2004), ont fait eux aussi les mêmes constatations. Ces auteurs ont noté des problèmes de contamination des eaux de puits par les lixiviats des décharges. Ils ont expliqué cet état de choses par la décomposition des déchets putrescibles qui percolent à travers les lixiviats pour atteindre la nappe phréatique.

- **Influence des sites de décharges sur les paramètres toxicologiques des eaux souterraines**

Contrairement aux autres paramètres, les concentrations moyennes des métaux lourds obtenues au niveau des eaux de puits sont très faibles. Mais les valeurs très faibles des métaux lourds étudiés n'ont pas empêché de constater que les teneurs moyennes les plus élevées (Nickel oscillant entre 0,05 et 0,086 µg/L ; Cuivre 2,48 et 3,14 µg/L ; plomb 0 et 2,6 µg/L ; Cadmium) sont celles des puits au voisinage des décharges et les plus faibles celles des puits de la zone témoin (Nickel = 0,037, Cuivre = 2,43 ; plomb et Cadmium absents) (Tableau XXVI et Figure 37c). Ces faibles valeurs observées confirment les écrits de la littérature où il est noté que le nickel se trouve généralement dans les eaux souterraines en de faibles concentrations ou absent (Boucheseiche et *al*, 2002 ; Santé-Canada, 1996). Kehila et *al.*, (2007), ont obtenu dans les eaux des puits situés près de la décharge finale de Hêvié dans la commune d'Abomey-Calavi des teneurs de plomb oscillant entre 0,5 et 2 mg/L. Au Maroc, près de la décharge de la ville d´Al Hoceima, (Rassam et *al.*, 2012) ont trouvé dans les eaux souterraines les concentrations suivant (nickel variant entre 0,14 et 0,16 mg/L, cuivre oscillant entre 0,01et 0,034 mg/L). Mehdi, et *al.*, (2007) ont trouvé dans les eaux de puits près de la décharge publique de la ville de Tiaret (Algérie) des concentrations en nickel qui varient entre 0,56 et 0,88 mg/L. Dans les eaux souterraines près de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc oriental), les teneurs en cadmium et nickel sont très faibles (entre 0,003 et 0,1 mg/L pour le cadmium puis 0,05 et 0,11mg/L pour le nickel). Le cuivre et le plomb ont été absents. (Kharmouz, 2013). Les valeurs très faibles en métaux au niveau de l'eau des puits dans la présente recherche peuvent s'expliquer par la rétention des métaux au niveau des sols liée à leur pouvoir épurateur. Quant aux concentrations moyennes plus élevées de l'eau des puits près des sites de décharges notées, elles peuvent se justifier par l'infiltration des lixiviats des décharges dans le sol. Pour (Kharmouz, 2013), l'absence ou la faible

teneur des métaux dans les eaux souterraines est expliquée par leur absorption par les constituants particulaires et organiques du lixiviat et du sous-sol.

Les faibles valeurs obtenues sont en dessous de la norme béninoise fixant de la qualité des eaux potables, ce qui prouve que les eaux des puits prélevées sont exemptes de pollution métallique. Pour Jourdan et *al.*, (2005), les métaux dont les teneurs ne dépassent pas les limites admises, peuvent constituer un danger pour la santé. En effet, pour ces auteurs ces éléments par bioaccumulation peuvent se trouver à des doses toxiques à un certain niveau de la chaine trophique, alors les eaux des puits prélevées courent des risques de pollutions et peuvent constituer à la longue une menace pour la santé des populations surtout que ces eaux sont utilisées comme eau de boisson dans le secteur de recherche.

Chapitre VII : Etude épidémiologique et suggestions

7-1- Etude épidémiologique

Les effets sanitaires liés aux décharges incontrôlées ont été étudiés à travers des enquêtes de terrain auprès des ménages situés entre 0 et 200 m des sites de décharges incontrôlées sélectionnés et des ménages de la zone témoin se trouvant à environ 7 km de ces décharges. Des enquêtes ont été menées au niveau des centres de santé publiques et privés situés aux environs des décharges et dans la zone témoin. Cette recherche a pris en compte les maladies ayant des liens avec les déchets, et qui sont survenues dans les ménages et aussi enregistrées dans les centres de santé les six derniers mois (février-juillet, 2013) qui ont précédé les travaux de terrain.

7-1-1- Prévalence des maladies déclarées par les ménages

Les résultats des investigations de terrain auprès des ménages sur leur état sanitaire les six derniers mois qui ont précédé l'enquête sont consignés dans le tableau XXVII.

Tableau XXVII: Maladies liées aux déchets déclarées par les ménages selon leur distance par rapport aux sites de décharges

		Sites de décharges				**Zone témoin**		**Total**	
		0 – 100 m		**100 – 200 m**					
	Affections	n	%	n	%	n	%	n	%
Maladies liées aux déchets	Diarrhée	38	19,59	7	5,88	0	0,00	45	13,01
	Fièvre typhoïde	9	4,64	2	1,68	1	3,03	12	3,47
	Maladies respiratoires	58	29,90	16	13,45	5	15,15	79	22,83
	Maux de tête	2	1,03	0	0,00	0	0,00	2	0,58
	Maux de ventre	1	0,52	5	4,20	0	0,00	6	1,73
	Maux d'yeux	11	5,67	2	1,68	0	0,00	13	3,76
	Paludisme	75	38,66	60	50,42	24	72,73	159	45,95
Total 1		**194**	**100,00**	**92**	**77,31**	**30**	**90,91**	**316**	**91,33**
Maladies non liées aux déchets	foie	0	0,00	8	6,72	0	0,00	8	2,31
	Maux de jambes	0	0,00	4	3,36	0	0,00	4	1,16
	Maux de cœur	0	0,00	5	4,20	0	0,00	5	1,45
	Maux de reins	0	0,00	0	0,00	1	3,03	1	0,29
	Tension	0	0,00	10	8,40	2	6,06	12	3,47
Total 2		**0**	**0,00**	**27**	**22,69**	**3**	**9,09**	**30**	**8,67**
Total 1+2		**194**	**100**	**119**	**100**	**33**	**100**	**346**	**100**

Source: *Données de terrain, Août 2013*

Le tableau XXVII montre que les affections liées aux déchets étaient prédominantes (91,33 %) dans les secteurs d'étude. Elles étaient très courantes dans les ménages près

des sites de décharges et dominantes chez les ménages situés dans l'intervalle 0 à 100 m des sites de décharges. Les principales étaient par ordre d'importance le paludisme, les affections respiratoires et la diarrhée. Dans la zone témoin la majorité des affections liées aux déchets étaient rares ou absentes dans les ménages. Le paludisme était l'affection la plus courante avec un pourcentage de 72,73 % suivi des affections respiratoires (15,15 %).

Les résultats de l'enquête sanitaire effectuée dans les centres de santé confirmaient les affirmations des ménages.

7-1-2- Prévalence des affections dans les centres de santé

Sur 729 cas de maladies enregistrées dans les centres de santé, 602 cas étaient liés aux déchets. Au nombre de ces affections, figuraient les affections cutanées, les affections repiratoires, la conjonctivite, la diarrhée, la dysenterie, la fièvre thypoïde, la gastroentérite, l'allergie, les IST, le paludisme simple, le paludisme grave et la parasitose (Tableau XXVIII).

Tableau XXVIII: Fréquences des maladies enregistrées dans les centres de santé

		Centres de santé près des sites de décharge				Centres de santé zone témoin			
		Abomey-Calavi		Godomey		Zone témoin		Total	
	Affections	**n**	**%**	**n**	**%**	**n**	**%**	**n**	**%**
Maladies liées aux déchets	Affections cutanées	2	0,88	3	0,94	0	0,00	5	0,69
	Affections respiratoires	15	6,58	73	22,96	29	15,85	117	16,05
	Allergie	0	0,00	1	0,31	0	0,00	1	0,14
	Céphalée	29	12,72	24	7,55	4	2,19	57	7,82
	Conjonctivite	0	0,00	2	0,63	0	0,00	2	0,27
	Diarrhée	10	4,39	4	1,26	0	0,00	14	1,92
	Dysenterie	1	0,44	1	0,31	0	0,00	2	0,27
	Fièvre Typhoïde	7	3,07	3	0,94	0	0,00	10	1,37
	Gastroentérite	30	13,16	38	11,95	2	1,09	70	9,60
	Paludisme grave	15	6,58	25	7,86	0	0,00	40	5,49
	Paludisme simple	49	21,49	91	28,62	132	72,13	272	37,31
	Parasitose	3	1,32	1	0,31	8	4,37	12	1,65
	Tolal	**161**	**70,61**	**266**	**83,65**	**175**	**95,63**	**602**	**82,58**
Maladies non liées aux déchets	Angine	5	2,19	2	0,63	0	0,00	7	0,96
	Brûlure	0	0,00	1	0,31	0	0,00	1	0,14
	HTA	3	1,32	0	0,00	0	0,00	3	0,41
	IST	2	0,88	1	0,31	0	0,00	3	0,41
	Otite	0	0,00	1	0,31	0	0,00	1	0,14
	Traumatisme	12	5,26	2	0,63	8	4,37	22	3,02
	Ulcère	2	0,88	0	0,00	0	0,00	2	0,27
	Autres affections	43	18,86	45	14,15	0	0,00	88	12,07
	Total	**67**	**29,39**	**52**	**16,35**	**8**	**4,37**	**127**	**17,42**
	Total 1 + Total 2	**228**	**100,00**	**318**	**100,00**	**183**	**100,00**	**729**	**100,00**

Source: *Données de terrain, Août 2013*

Du tableau XXVIII, il ressort que les maladies les plus courantes dans les centres de santé sélectionnés étaient les affections liées aux déchets (Tableau XXVIII). Près de six ménages sur sept qui étaient venus à la consultation dans les centres de santé sélectionnés pendant les six derniers mois qui ont précédé l'enquête de terrain (février à juillet, 2013) avaient souffert de ces maladies. Parmi les affections recensées, le paludisme simple, les affections respiratoires, la gastroentérite et la céphalée étaient prédominantes au niveau des centres de santé près des sites de décharges. Par contre, dans les centres de santé de la zone témoin, le paludisme simple et les affections respiratoires étaient dominants. Les autres affections étaient rares ou absentes (Tableau XXVIII).

7-1-3- Prévalence mensuelle des maladies liées aux déchets dans les centres de santé

La figure 38 présente la variation mensuelle des maladies liées aux déchets pendant les six derniers mois qui ont précédé l'enquête de terrain (février à juillet, 2013).

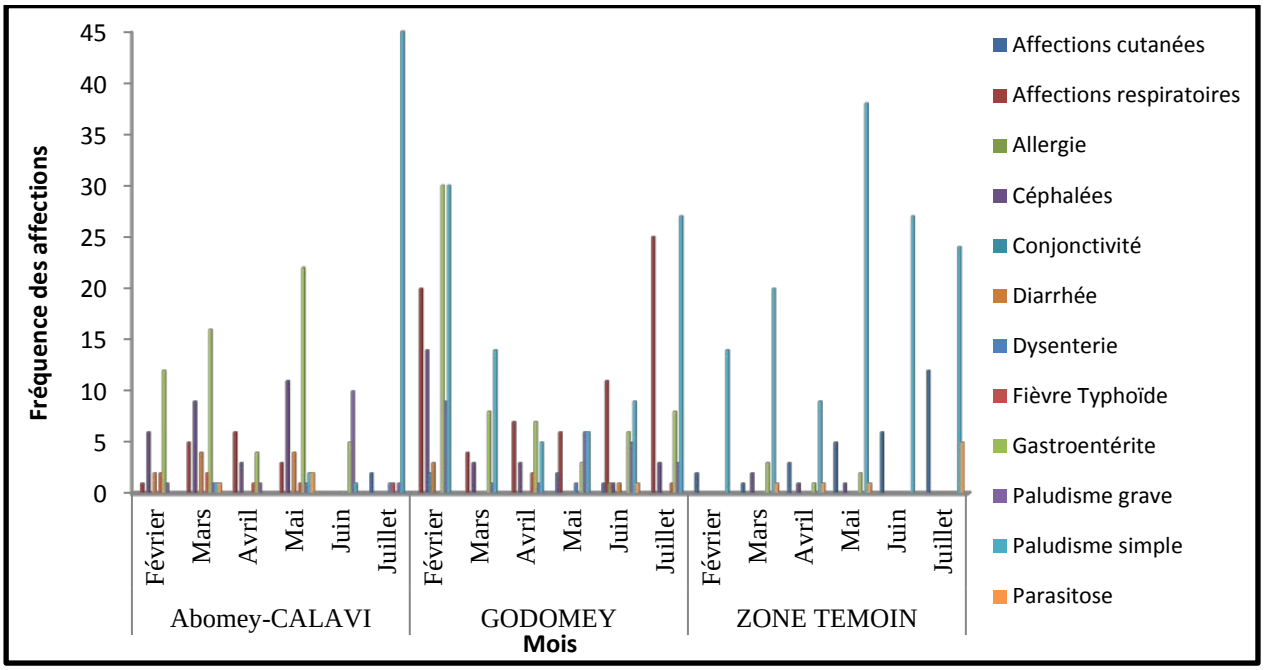

Figure 38: Fréquence mensuelle des maladies liées aux déchets enregistrées dans les centres de santé

Source: *Données de terrain, Août 2013*

De la figure 38, il est observé que les affections liées aux déchets étaient plus fréquentes dans les mois de février, mai, juin et juillet. Ces affections en l'ocurrence le paludisme, étaient plus courantes pendant les mois de la période pluvieuse.

En ce qui concerne le sexe, les femmes étaient les plus vulnérables.

7-1-4- Fréquence des maladies liées aux déchets enregistrées dans les centres de santé par sexe

Par rapport aux sexes, les femmes étaient les plus touchées par les différentes affections enregistrées (Figure 39).

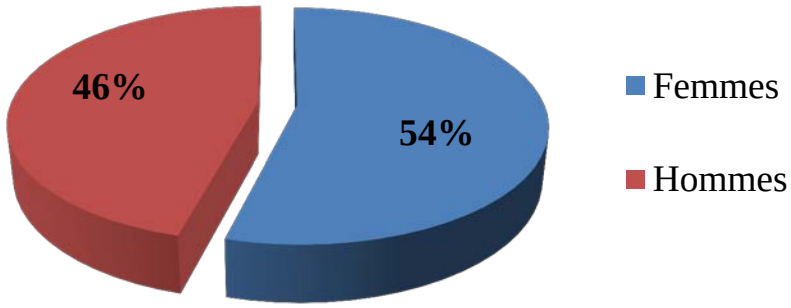

Figure 39: Maladies liées aux déchets enregistrées dans les centres de santé par sexe

Source: *Données de terrain, Août 2013*

La figure 39 montre que 54 % des femmes qui étaient venues à la consultation dans les centres de santé sélectionés par l'étude pendant les six derniers mois qui ont précédé l'enquête de terrain (février à juillet, 2013) avaient développé des affections liées aux déchets contre 46 % des hommes.

7-2- Gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey: opportunité ou menace ?

Au vu des résultats obtenus, il ressort que dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey, la quantité de déchets produits par les ménages est très importante. La gestion de ces déchets est résumée à la pré-collecte, à la récupération informelle et à la mise en décharge pêle-mêle qui est le moyen le plus adopté par les populations. Les dépotoirs sauvages, souvent à proximité des lieux d'habitation sont un peu partout dans les rues des quartiers de villes et villages, au niveau des ravins, les marécages et les plans d'eau. L'émergence de ces pratiques est porteuse de risques environnementaux et sanitaires. La recherche sur l'évaluation de l'influence des sites de décharges sur les sols, les eaux superficielles et souterraines puis la santé des populations confirme l'existence d'une telle ménace. Toutefois, il a été noté au niveau des sols, des eaux superficielles et souteraines, une quasi absence de pollution. Ceci a

été favorisé par l'activité de récupération informelle. Mais, cette activité reste insiffussante car ne prend en compte que quelques catégories de déchets. Alors, la pratique de la récupération ne permet pas de régler le problème lié à la quantité de déchets à évacuer. La non résolution de ce problème contribue à la pollution esthétique à travers la prolifération des dépotoirs sauvages qui constitue un fardeau et l'une des préoccupations majeures aussi bien pour les acteurs de développement que pour les populations. Etant donné que les déchets solides ménagers, par-delà les activités de récupération, peuvent également être transformés en compost ou en énergie renouvelables, nous pouvons exploiter ces opportunités afin de réduire considérablement la quantité de déchets à évacuer et à mettre en décharge. Ces formes de valorisation des déchets participent aussi à la diminution du coût du transport, d'élimination des déchets et à la réduction de la déforestation. Par rapport aux résultats de la caractérisation physique des déchets des deux arrondissements de recherche, les déchets tels que : les éléments fins renfermant les débris de charbon, les papiers et cartons, les combustibles non classés (brindilles, bâtons, coques de noix de palme,….) et les putrescibles constituent des opportunités à valoriser de façon à minimiser les menaces liées à ces catégories de déchets et le volume de déchets générés par les populations de ces arrondissements. Par rapport aux déchets putrescibles une recherche a été réalisée dans la ville d'Abomey-Calavi par Topanou en 2012 sur la transformation de cette catégorie en compost. Mais, ce type de compost est peu ou pas exploité dans les activités agricoles. Cette même catégorie est en train d'être valorisée par l'ONG Aide et Solidarité dans le biogaz dans l'arrondissement de Houèdo, un arrondissement de la Commune d'Abomey-Calavi. Mais, la priorité ici est mise sur les bouses de vache. Pour compléter ces travaux, la présente recherche a abordé le côté des briquettes combustibles ou biocharbon en réalisant des essais de valorisation des déchets papiers et cartons et des débris de charbon en briquettes combustibles.

7-2-1-Essai de valorisation des papiers/cartons et des débris de charbon en biocharbon ou en briquettes combustibles

7-2-1-1- Méthodologie de fabrication des briquettes combustibles

Cette partie comprend : le choix de la matière première, le choix du liant et le processus de fabrication des briquettes.

- **Choix des matières premières**

Le choix des matières premières a été fait en se référant à la composition des déchets des arrondissements d'étude. D'après les résultats du tri par catégorie, les déchets pouvant être tranformés en briquettes combustibles sont : les papiers, les cartons, les débris de charbon et les combustibles non classés. C'est ainsi que le choix des matières premières pour le présent travail s'est porté sur les papiers/cartons et les débris de charbon.

- **Choix du liant**

Deux types de liant ont été sélectionnés dans la fabrication des briquettes combustibles dans le présent travail. Il s'agit de l'argile ou de la colle fabriquée avec du viseline mélangé avec de l'essence ou du pétrole. Mais, finalement l'argile a été retenue, car les briquettes issues de la colle dégagent des odeurs toxiques lorsqu'on attise le feu. Selon la littérature, l'argile est un composant essentiel qui augmente le temps de combustion des briquettes.

- **Production des biocharbons ou des briquettes combustibles**
  - **Préparation des matières premières**
    - ✓ **Débris de charbon**

Les débris de charbon sont collectés dans les ménages, les points de vente de charbon et les lieux de restauration. Leur préparation consiste à les piler à l'aide du mortier et à les tamiser avec un tamis pour avoir des particules plus fines faciles à agglomérer.

- ✓ **Papiers et cartons**

Les papiers et cartons sont trempés dans l'eau pendant dix (10) jours et sont enlevés pour être déchiquetés en petits morceaux faciles à densifier. Des papiers et cartons ont

été carbonisés dans un fût. Le temps de carbonisation dépend de la quantité de déchets introduits dans le fût et de la direction du vent. Dès qu'on se rend compte que tous les papiers/cartons ont été carbonisés, on attend le refroidissement du fût pour enlever la poudre encore appelée char.

- **Mélange et bouletage des débris de charbon et du char**

La fraction fine obtenue après tamisage des débris de charbon et le char issu de la carbonisation des papiers/cartons sont mélangées à l'argile (Photo 35). Le mélange obtenu est rendu en boule de façon manuelle (Photo 36).



Photo 35 : Mélange du char avec le liant



Photo 36 : Briquettes mises en boulette

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2015*

- **Séchage des briquettes**

Les boulettes obtenues (photo 35) sont séchées à l'air libre (Photo 36) dans le but de diminuer le taux d'humidité afin d'améliorer la combustion des briquettes. La durée du séchage est de quatre (04) jours. Ce temps de séchage dépend des saisons et l'ensoleillement dans la journée.



Photo 37 : Briquettes séchées à l'air libre

Prise de vue : *Yêmadjè, Mars 2015*

7-2-1-2- Test de combustion

Il s'est agi ici de voir le temps de la prise de feu des différents types de briquettes, de faire des observations visuelles et sensorielles sur les fumées, les cendres et les odeurs, mais aussi le temps de consumation totale. Il s'agira également de comparer le temps mis par ces briquettes pour bouillir une même quantité d'eau. La planche XVI illustre le test d'évaluation de la combustion des briquettes.



Photo 38 : Essai des briquettes (papier/carton) pour la combustion



Photo 39 : Essai des briquettes (débris charbon) pour la combustion



Photo 40 : Essai des briquettes (mélange papier et débris charbon) pour la combustion

Planche XVI: Test d'évaluation de la combustion des briquettes

Prise de vue : *Yêmadjè, Avril 2015*

Des résultats issus du test de combustion, il ressort que les briquettes fabriquées avec les papiers et cartons (photo 38) s'attisent plus rapidement que les autres types de briquettes. Ils s'attisent en trois minutes. Les briquettes fabriquées avec les débris de charbon font environ huit minutes et celles issues du mélange (50 % de papiers/cartons et 50 % de débris de charbon) prennent feu en six minutes.

Les trois types de briquettes (planche XVI) n'ont pas d'odeur ni de la fumée sauf les briquettes des papiers et cartons qui fument après l'attisation. Mais après cinq minutes la fumée disparaît. Ce type de briquettes (photo 38), a une flamme plus intense que les deux autres (photo 39 et photo 40). Son temps de cuisson est très lent et la quantité chargée est importante. Les briquettes fabriquées avec les débris de charbon et le mélange (50 % de papiers/cartons et 50 % de débris de charbon) prennent moins de temps pour la cuisson et ne nécessitent pas une quantité importante de briquettes. Ces différents types de briquettes produisent assez de cendre, mais gardent l'energie qui peut conserver l'aliment chaud pendant des heures.

Des résultats issus des chapitres VI et VII, il est à retenir que les décharges ont impacté la qualité physico-chimique des sols, les eaux et ont porté atteinte à la santé des populations. Il est alors nécessaire d'évaluer les différents impacts à partir de la matrice de Léopold.

7-3- Evaluation des impacts à partir de la matrice de Léopold

Cette évaluation repose sur l'approche méthodologique de l'ABE et se résume dans les tableaux XXIX et XXX.

Tableau XXIX : Matrice d'évaluation des impacts liés aux décharges incontrôlées sur les sols et les eaux

Activités source d'impact	Composantes de l'environnement affectées	Impacts	Nature de l'impact	Durée	Etendue	Degré de perturbation	Importance
Mise en décharge incontrôlée	Sol	Accumulation de métaux (plomb)	Négative	Permanente	Locale	Fort	Forte
		Diminution du taux d'azote	Négative	Permanente	Ponctuelle	Moyen	Moyenne
		Accroissement de la matière organique DCO)	Positive	Permanente	Locale	Faible	Moyenne
	Eau superficielle	Comblement des plans d'eau par les déchets	Négative	Permanente	Locale	Moyen	Moyenne
		Accroissement de la matière organique DCO et DBO5)	Négative	Permanente	Régionale	Fort	Forte
		Acroissement de l'Azote	Négative	Permanente	Régionale	Fort	Forte
	Eau souterraine	Accroissement de la matière organique DCO)	Négative	Permanente	Locale	Faible	Moyenne
Récupération	Sol	Régression du taux de pollution des métaux	Positive	Permanente	Locale	Fort	Forte
	Eaux	Régression du taux de pollution des métaux	positive	Permanente	Locale	Fort	Forte
Utilisation des déchets extra fin comme fertilisant	Sol	Réduction de la taille des décharges	positive	Temporaire	Ponctuelle	Moyen	Faible

Source : *Enquêtes de terrain et Résultats d'analyse, Décembre 2012 et Janvier 2013*

Tableau XXX: Matrice d'évaluation des impacts liés aux décharges incontrôlées sur la santé des populations

Activité source d'impact	Composantes du cadre humain affectées	Impacts	Nature de l'impact	Durée	Etendue	Degré de perturbation	Importance
Mise en décharge incontrôlée	Sociale (santé)	Pollution visuelle	Négative	Permanente	Ponctuelle	Faible	Faible
		Multiplication des vecteurs de maladies	Négative	Permanente	Locale	Moyen	Moyenne
		Développement des affections	Négative	Permanente	Locale	Moyen	Moyenne
	économique	Récupération	Positive /Négative	Permanente	Locale	Faible	moyenne
		Utilisation des déchets extra fins comme fertilisant	Positive	Permanente	Ponctuelle	Faible	Faible

Enquêtes de terrain et Résultats d'analyse, Décembre 2012 et Janvier 2013

L'analyse des tableaux XXIX et XXX fait ressortir des impacts positifs et négatifs liés à la mise en décharge traditionelle. Il faut noter que les impacts négatifs dépassent les impacts positifs et ont des dégrés de perbubation plus élevés. L'ampleur de ces impacts se ressent plus au niveau du sol et des eaux que sur la santé humaine. Cet état de choses confirme la troisième hypothèse. Face à cette situation des mesures correctives sont proposées pour réduire les impacts négatifs et maximiser les impacts possitifs

7-4- Suggestions

Aux termes de cette recherche et en référence aux principaux résultats obtenus puis aux discussions, des suggestions ont été formulées. Elles sont basées sur les mesures structurelles et les actions de sensibilisation. Elles portent sur les étapes de gestion des déchets à commencer par le ramassage dans la sphère domestique au traitement.

7-4-1- Pour une amélioration de la gestion des déchets dans la sphère domestique

7-4-1-1- Mesures structurelles

Ces mesures reposent sur :

- la réduction de la quantité de déchets à la source qui passe par le changement dans les modèles d'achat et de consommation (achat des produits nécessaires et à la limite des besoins, éviter les emballages et les suremballages, l'ère du jetable doit faire place à l'ère de la réparation, de la réutilisation et du réemploi), l'utilisation des pelles ajourées pour le ramassage des ordures après balayage (désensablement des déchets) et le tri des déchets avant la mise en poubelles (séparation des putrescibles, des déchets dangereux, en plastiques et les métaux) ;
- l'utilisation des poubelles ajourées pour le stockage et le désensablement des déchets puis l'écoulement des lixiviats ;
- l'installation des poubelles à l'extérieur des lieux d'habitation afin d'éviter des nuisances liées aux déchets à l'intérieur et faciliter la pré-collecte porte-à-porte;
- l'abonnement des ménages ou apport volontaire des déchets aux points de regroupement ;

- la tarification incitative du coût de l'abonnement afin d'amener les ménages à s'abonner massivement.

7-4-1-2- Actions de sensibilisation

Les thèmes de sensibilisation vont porter sur:

- les dangers émanant de la production excessive des déchets et leurs impacts négatifs sur la santé publique, l'hygiène de la ville et l'équilibre de son environnement ;
- les stratégies et les comportements qui contribuent à la réduction de la production des déchets;
- les débouchés possibles de certains déchets (réutilisation, réemploi, vente, compost et biogaz traditionnels, les biocharbons);
- le bien-fondé de l'utilisation des pelles et des poubelles ajourées et le lieu de dépôt des poubelles;
- l'hygiène et l'assainissement de base;
- la nécessité de l'abonnement.

7-4-2-Pour une organisation efficace de la pré-collecte

7-4-2-1- Mesures structurelles

Ces mesures se résument entre autres à:

- l'apport des poubelles au niveau des bacs par les ménages non abonnés deux fois par semaine;
- l'apport des déchets au niveau des bennes ou remorques en plusieurs compartiments par les structures de pré-collecte;
- la connaissance de la capacité des bacs par rapport à la quantité de déchets produite par zone;
- la mise en place des bacs pour déchets valorisables et ceux non valorisables;
- la couverture des charrettes et des engins au cours du transport afin d'éviter l'éparpillement des déchets sur la voie;
- le placement des dépôts transitoires si possible au niveau des anciens et à une distance raisonnable des lieux d'habitation;

- l’entretien et la surveillance des dépôts transitoires par les associations de quartier, les ménages situés à proximité de ces dépôts et le chef quartier ou village;
- la redéfinition et la cartographie des zones et circuits de pré-collecte;
- la réorganisation au sein du COSGAC surtout sur la répartition des structures de pré-collete dans les arrondissements (affecter à chaque responsable d’ONG une structure de pré-collecte dans un arrondissement de la Commune en tenant compte de la capacité de leurs équipements), le perfectionnement et la spécialisation de tous les membres du COSGAC dans le domaine de la gestion des déchets;
- le passage régulier et à temps des charretiers et des ménages sur les lieux de dépôt et au niveau des lieux d’habitation;
- la réorganisation de la filière de récupération tout en imposant l’activité de récupération la veille de chaque jour de pré-collecte;
- l’entretien des infrastructures et équipements des outils de pré-collecte;
- l’amélioration de l’accès aux soins de santé des pré-collecteurs et des récupérateurs ;
- l’accompagnement de la mairie, de l’Etat et des partenaires techniques et financiers sur le plan des équipements, de l’entretien et des soins de santé.

7-4-2-2- Actions de sensibilisation

A ce niveau la sensibilisation va porter principalement sur:

- les nuisances de l’évacuation des déchets pêle-mêle dans les quartiers et villages puis les mesures de prévention des risques;
- les comportements et les pratiques éco-citoyens le long du circuit de pré-collecte jusqu’aux dépôts transitoires ;
- les outils et équipements les plus adaptés à la pré-collecte et leur entretien ;
- les accoutrements de la pré-collcete et les pratiques d’hygiène ;
- la nécessité de limiter les responsables des ONG du COSGAC à une structure de pré-collecte, et ceci dans un arrondissement de la Commune;
- les comportements de travail en équipe;

7-4-3- Pour l’organisation de la collecte

7-4-3-1- Mesures structurelles

Il s’agira pour une meilleure collecte et un meilleur transport des déchets de :

- mettre en place les services de collecte des ordures ;
- évaluer la quantité de déchets apportés par jour au niveau de chaque dépôt transitoire et en fonction de cette quantité affecter le véhicule ayant cette capacité de collecte ;
- disposer des véhicules pour les déchets valorisables et ceux non valorisables ou des remorques à deux compartiments ;
- structurer et cartographier les circuits de collecte ;
- élaborer un programme de collecte en tenant compte des saisons, des périodes de fête et autres événements;
- respecter les heures et les fréquences de collecte ;
- bâcher les véhicules au cours du transport ;
- entretenir régulièrement les infrastructures et équipements de la collecte ;
- contrôler régulièrement l’état de santé des collecteurs et leur apporter les soins nécessaires ;
- accompagner la mairie, l’Etat et les partenaires techniques et financiers au niveau des équipements et infrastructures, de l’entretien et des soins de santé.

7-4-3-2- Actions de sensibilisation

A ce niveau la sensibilisation vise particulièrement les collecteurs. Elle peut porter sur les thèmes ci-après:

- les risques liés à la non couverture des déchets au cours du transport ;
- les conséquences de la non ponctualité et la non régularité dans le circuit de la gestion des déchets ;
- l’entretien des infrastructures et équipements de la collecte ;
- les comportements de travail en équipe.

7-4-4-Pour un traitement efficace et durable

7-4-4-1- Mesures structurelles

Face aux pollutions environnementales et sanitaires puis au mode de traitement adopté dans les arrondissements de recherche, il urge de:

- mettre en place un site de décharge moderne ou d'un centre d'enfouissement sanitaire qui permettra de stocker les déchets non valorisables et valorisables ;
- disposer et aménager les voies d'accès à la décharge ;
- mettre en place un pont de péage pour quantifier la masse venant à la décharge ;
- traiter les lixiviats pour leur réutilisation dans l'agriculture ;
- aménager des espaces pour valoriser les déchets (lieux pour le tri des déchets, unités de compostage et de méthanisation pour la fabrication du compost et du biogaz) ;
- mettre à disposition des agents qui vont travailler sur le site des équipements adéquats et de qualité ;
- assurer au plan sanitaire le personnel travaillant sur le site de décharge moderne et leur faire un bilan de santé une ou deux fois l'an ;
- sécuriser le site en le clôturant pour mieux contrôler l'accès et en mettant en place une ceinture verte autour pour réduire les émanations indésirables de la décharge ;
- entretenir les infrastructures et les équipements au niveau des sites de décharges modernes ;
- détruire les dépotoirs sauvages et occuper l'espace afin d'empêcher la création d'une nouvelle décharge ;
- accompagner la mairie, l'Etat et les partenaires techniques et financiers au niveau des équipements et infrastructures, de l'entretien et des soins de santé.

7-4-4-2- Actions de sensibilisation

A ce niveau il faut sensibiliser principalement sur :

- les nuisances liées à la prolifération des dépotoirs sauvages dans les quartiers et les villages puis le stockage des déchets près des habitations;
- les risques liés au travail de déchets et les actions préventives;

- les comportements à adopter et les premiers soins en cas d'accidents de travail et de maladies;
- l'organisation, le fonctionnement et l'importance d'une décharge moderne ;
- les intérêts des unités de valorisation des déchets pour la population et la Commune.

7-4-5- Mesures urgentes pour une amélioration de la gestion des déchets dans les arrondissements de recherche

Au regard des résultats de cette recherche, des mesures urgentes paraissent nécessaires pour améliorer le mode de gestion actuelle des déchets dans les arrondissements d'étude et réduire la pollution sur l'Homme. Ces mesures concernent de petites actions réalisables par les ménages avec très peu de moyens ou les ONG de pré-collecte, les autorités locales et partenaires techniques financiers avec des moyens moins importants. Au nombre de ces actions on peut retenir :

- **Au niveau des ménages :** l'exploitation des poubelles et pelles ajourées (en panier, en métal et en plastique de préférence), l'entretien de ces poubelles, le tri à la source, la maximisation des pratiques de réparation, de réutilisation et du réemploi, le compostage familial, la réduction de l'utilisation des sacs d'emballage, des produits toxiques et l'abonnement.
- **Au niveau des ONG de pré-collecte :** la réorganisation des structures de pré-collecte au niveau du COSGAC en fixant une structure de pré-collecte par responsable d'ONG, en acceptant l'adhésion de nouvelles ONG capables d'assurer cette mission et en affectant à chaque ONG une zone dans un arrondissement en fonction de la capacité de ces engins. De plus, il faut que :

- le COSGAC acquiert ou négocie auprès des propriétaires terriens des sites de stockage commun aux structures de pré-collecte dans chaque arrondissement. Ces sites seront limités et aménagés périodiquement soit une fois par mois. Il doit aussi créer des unités traditionnelles de compostage des déchets, faire le recyclage de certains déchets, organiser des séances de sensibilisation à l'endroit de la population sur le bien-fondé de l'abonnement et sur les moyens de réduction des déchets et le tri des déchets à la source ;

- les charretiers respectent les jours de pré-collete, bâchent les engins au cours du transport, évacuent les déchets au niveau des sites de stockage prévus par le GOSGAC.

✓ **Au niveau des autorités locales**

- la collaboration entre les autorités locales et le COSGAC ;
- la vulgarisation des arrêtés pris dans le domaine de la gestion des déchets dans la Commune ;
- l'accompagnement des autorités au niveau :
  - de la sensibilisation à la réduction de la production des déchets, du tri des déchets à la source, de l'utilisation des poubelles ajourées, de la valorisation de certains déchets et de l'abonnement ;
  - des infrastructures et équipements de la pré-collecte ;
  - du choix, de l'aménagement et de l'entretien de quelques sites provisoires pour le stockage des déchets ;
  - de la destruction des dépotoirs sauvages surtout ceux installés le long des plans d'eau et dans les bas-fonds ;
  - de la mise en place des bacs à ordures, à leur entretien et à l'évacuation des déchets vers les sites prévus ;
  - de la mise en place des unités traditionnelles de compostage et des petites unités d'incinération des déchets hospitaliers ;
  - de la promotion du compost, du biocharbon et du biogaz.

✓ **Au niveau des partenaires techniques et financiers**

- la subvention de l'abonnement dans les bas standings et dans les villages ;
- l'accompagnement par rapport à:
  - l'installation des bacs à ordures, de leurs entretiens et de l'évacuation régulière des déchets vers les sites provisoires ;
  - l'équipement et l'infrastructure de pré-collecte ;
  - l'aménagement et l'entretien des sites provisoires de stockage des déchets ;
  - la destruction des dépotoirs sauvages ;

- l’installation des unités traditionnelles de compostage, de la fabrication des biocharbons, de récupération, de recyclage des déchets et de déchetteries pour les déchets réutilisables ;
- la promotion des digesteurs familiaux.

7-5- Discussion

7-5-1-Prévalence des maladies en fonction des distances des sites de décharges

Les données recueillies auprès des ménages et au niveau des centres de santé sélectionnés dans les zones d’étude sur les affections durant les six derniers mois (février à juillet, 2013) qui ont précédé l’enquête de terrain montrent que les maladies recensées sont pour la plupart liées aux déchets (affections cutanées, affections repiratoires, conjonctivite, diarrhée, dysenterie, fièvre thypoïde, gatroentérite, allergie, paludisme simple, paludisme grave, parasitose, maux de tête, maux de ventre et maux d’yeux). Elles représentent 91,33 % des maladies déclarées par les ménages questionnés et 82,44 % des maladies relevées dans les centres de santé ciblés par la recherche. En fonction de la distance, les affections sont plus fréquentes au niveau des ménages localisés entre 0 et 100 m des sites de décharges, mais moins importantes dans les ménages situés entre 100 et 200 m des sites de décharges et dans la zone témoin. Ceci témoigne d’une relaion de cause à effet entre les maladies et les sites de décharges. Les résultats obtenus par Kientga (2008) se rapprochent de ceux obtenus lors de la recherche. Il a montré également une tendance de dépendance des maladies par rapport à la distance des dépôts des déchets. Chofqi et *al.*, (2004) ont souligné que la population près de la décharge de la ville d’El Jadida au Maroc est très touchée dans sa partie active par des maladies allergiques (respiratoires, cutanées, oculaires et conjonctivites…). Ils ont mentionné que les enfants et les bébés sont les plus vulnérables à ses affections. Les sources liées à ces affections évoquées par ces auteurs sont surtout les odeurs et les fumées asphyxiantes. Dans une autre étude, Cointreau-Levine (1997) a trouvé des résultats similaires. Il a signalé que 30 % des enfants récupérateurs âgés de moins de 16 ans sur la plus grande décharge de Metro Manilla aux Philippines avaient des maladies dermatologiques y compris l’hypo pigmentation,

les infections furonculeuses, etc.), environ 23 % avaient des toux chroniques, 18 % le flegme, 25 % respirent péniblement, 19 % ont des insuffisances respiratoires (ou suffocations) et 3 % avaient la tuberculose pulmonaire.

7-5-2-Prévalence mensuelle des maladies liées aux déchets

D'après la figure 38 et le tableau XXVIII, le paludisme représente la principale maladie dont souffrent les populations. Il est suivi de la gastroentérite et des affections respiratoires.

La recrudescence du paludisme est notée dans les mois de mai, juin et juillet. Kientga (2008) a constaté également que la prévalence du paludisme est supérieure à celles de toutes les autres maladies qu'il a enrégistrées et marque une croissance de juin à octobre. Pour cet auteur, cette périodicité marquée est facile à interpréter du fait de sa relation avec la saison des pluies et aussi l'inondation des dépôts de déchets pendant cette période favorisant la prolifération des moustiques ou autres parasites qui y trouvent un milieu très favorable pour s'y développer et deviennent les vecteurs des parasites du paludisme. Biaou (1993) a fait les mêmes remarques. Il a notifié qu'une seule journée de pluie peut avoir d'incidences pathologiques importantes. Il en déduit que les mois de mai, juin juillet et octobre, ne pourront qu'augmenter les risques de l'incidence pathologique à cause du nombre important de jours de pluies qu'ils concentrent. En dehors du facteur pluviométrique, il a montré que la température augmente la vitesse du développement des vecteurs du paludisme et rend plus rapide la maturation des germes pathogènes. Cet auteur a également signalé que les températures comprises entre 25,6°C et 28,3°C favorisent la multiplication rapide de l'anophèle, le déplacement des moustiques et par conséquent le nombre de cas du paludisme.

Par rapport à la gastroentérite, elle se trouve au deuxième rang après le paludisme. Cette affection est plus enregistrée durant les mois de février, mars et mai. Le nombre important de cas de gastroentérite pendant les mois de février et de mars peut se justifier par la proximité des sites de décharges des lieux d'habitation, du moment où dans la zone témoin aucun cas de gastroentérite n'a été enregistré en février et en mars ces cas ont été rares. Cette situation peut s'expliquer par le fait que ces sites sont des pôles d'attraction des mouches, alors ils constituent des sources de propagation de

cette affection. Abordant dans le même ordre d'idées, Birley (1999) a souligné que les mouches jouent un rôle important dans la transmission des infections intestinales, notamment celles responsables des diarrhées surtout infantiles et des dysenteries (par exemple des Shigella). Par rapport au mois de mai, il correspond au début de la grande saison pluvieuse. Pendant cette période, les dépotoirs composés de toutes sortes de déchets et aussi des excrétas humains accumulés dans les quartiers de recherche et ceux environnants sont drainés par le phénomène de ruissellement. Les vons des quartiers structurés sont alors jonchées de tas d'ordures. Les microbes en abondance dans ces ordures infectent aussi bien l'eau que les aliments qui participent à leur tour au développement de cette affection.

En ce qui concerne les maladies respiratoires, le nombre de cas est plus élevé dans les mois de février, mars et juin. Dans la zone témoin cette affection a été absente. Alors, le nombre de cas élevé des affections respiratoires dans les zones des sites de décharges dans les mois de février et mars ne peut que s'expliquer par la décomposition rapide sous l'effet de la chaleur des déchets qui dégagent des odeurs nauséabondes et pestilentielles dans l'atmosphère. Quant au mois de juin, les eaux de pluie imbibent les décharges. Ainsi, les déchets se décomposent et dégagent des odeurs désagréables. Hakizimana, (2005) a rapporté des résultats similaires obtenus. Cet auteur a souligné que les fortes odeurs des déchets entraînent, même à des seuils infra toxiques, des réactions inflammatoires (nez, gorge, yeux…), des exacerbations d'affection préexistantes (asthme).

Conclusion partielle

La croissance démographique élevée des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey puis l'extension continuelle de l'espace occupé, accentuent les problèmes de la gestion des déchets. Ces problèmes se ressentent au niveau de la quantité de déchets produits et de leurs traitements. Le ratio journalier moyen des déchets solides ménagers produits est de 0,53 et 0,63 Kg/hbt/j respectivement en saison sèche et en saison pluvieuse. Ces taux ne sont pas significativement différents en fonction des saisons. Les déchets générés à la source dans ces arrondissements sont constitués majoritairement des déchets extra-fins suivis des putrescibles et des déchets plastiques. Le taux d'humidité de ces déchets est relativement faible soit 18,25 % en saison sèche et 24,63 % en saison pluvieuse et les valeurs en PCI déterminées sont très proches du seuil minimal d'incinération qui est 1200 Cal/kg.

Le traitement des déchets se résume à la pré-collecte, à la mise en décharge traditionnelle et à la valorisation. Une faible quantité des déchets solides ménagers de ces arrondissements est pré-collectée par les récupérateurs ambulants qui les convoient vers les marchés ou les points de regroupement pour être vendus ou recyclés. Les ménages aussi réemploient et réutilisent certains déchets. La grande partie des déchets est évacuée sur les décharges traditionnelles par les structures de pré-collecte et les ménages. Ceci a favorisé la prolifération des dépotoirs sauvages dans les quartiers de villes et villages. La superficie de ces décharges varie entre 9,8 et 2943,7 m² avec des hauteurs entre 0,3 et 12 m. Leur distance par rapport aux premières habitations est comprise entre 0 à 30 m. Dans l'arrondissement de Godomey, les sites de décharges sont installés majoritairement dans les bas-fonds et plans d'eau, par contre à Abomey-Calavi, ils sont pour la plupart installés sur la terre ferme. Mais, un début d'accumulation s'observe aussi le long des plans d'eau et au niveau des bas-fonds dans cet arrondissement. Ceci est dû surtout au manque de points de regroupement et de décharge finale. Au niveau des décharges, le taux moyen d'humidité et la densité des déchets dépassent ceux des déchets à la source. Ce taux a été de 34,7 et 33,87 % avec une densité de 0,84 et 0,79 kg respectivement dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de Godomey. Toutes les catégories de déchets s'y trouvent. Les lixiviats qui percolent ces déchets s'écoulent dans les plans d'eau ou s'infiltrent dans le sol. Ces

lixiviats sont peu oxygénés, riches en sels minéraux, en matières organiques et ont des concentrations faibles en métaux. Les valeurs des teneurs moyennes de la DCO, du plomb et du cuivre dépassent celles des normes de rejet des eaux résiduelles en République du Bénin. Ainsi, ces sites de décharges constituent-ils un danger pour les sols, la nappe phréatique et la santé humaine.

Le sol des sites de décharge de Godomey a une texture sableuse en surface et devient de plus en plus argileux en profondeur tandis que ceux de l'arrondissement d'Abomey-Calavi et de la zone témoin présentent des textures moyennement sableuses ou faiblement argileuse en surface. En profondeur, l'argile s'intensifie progressivement. La teneur en eau est très élevée au niveau des sols argileux surtout ceux mélangés à la tourbe. Elle est de 40 à 82 %. L'indice de plasticité présente les mêmes caractéristiques que la teneur en eau de ces sols. L'évaluation de la variabilité des valeurs moyennes en fonction des sites et des niveaux de prélèvement des sols indique qu'il n'existe pas de différence significative entre les teneurs moyennes des paramètres étudiés par rapport aux sites et au niveau de prélèvement des sols sauf la conductivité électrique et la DCO qui ont varié en fonction de la profondeur. Cependant, les valeurs moyennes les plus élevées des paramètres étudiés ont été notées au niveau des sols des sites de décharges. Ces valeurs moyennes ont montré une contamination des sols de ces sites de décharges au plomb à 0 cm et au cadmium à 100 cm dans l'arrondissement de Godomey et une pollution superficielle de ce sol en plomb.

Les analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux superficielles ont révélé d'une manière globale, une salinité élevée, un déficit d'oxygène dissous, un taux élevé de la charge organique, et la présence exclusive du cuivre en de faibles concentrations. La pollution mise en évidence au niveau de ces eaux a été essentiellement celle organique. Du côté des eaux de puits, elles ont présenté une minéralisation élevée, une forte oxygénation, un faible taux de matières organiques et une très faible concentration en métaux. Parmi les paramètres dosés, le pH et la DCO ont varié significativement en fonction de la profondeur. Par rapport à la distance, seule la DBO5 a varié significativement. Du point de vue de la variabilité selon les sites de localisation, le pH et l'oxygène dissous ont varié significativement. Pour ce qui est de la pollution de ces

eaux, seules les eaux des puits localisés près des sites de décharges ont montré une pollution de la matière organique oxydable (DCO).

D'une manière générale, il est à retenir que les décharges semblent avoir d'influence sur la qualité physico-chimique des sols et des eaux. Aussi, les diverses pollutions constituent de véritables nuisances à la santé des populations. Les ménages des zones d'étude sont affectés par plusieurs maladies dont la majorité est liée aux déchets. Les ménages avoisinant les sites de décharges sont les plus touchés par ces affections. Les plus importantes des affections recensées étaient le paludisme, les affections respiratoires, les gastroentérites et la céphalée. Il est alors nécessaire de détruire les décharges et de mettre en place des décharges finales et de promovoir l'utilisation du biocharbon, le biogaz et du compost issus des déchets pour réduire ces nuisances sanitaires et environnementales.

Conclusion générale

La gestion des déchets solides ménagers devient de plus en plus complexe dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey. Ceci est lié à la croissance démographique de ces deux arrondissements, accompagnée de l'augmentation exagérée de la production des déchets. Cette situation crée des difficultés dans le circuit de gestion des déchets. Ces difficultés se posent en terme de quantité de déchets à pré-collecter et à mettre en décharge. A ces problèmes s'ajoute l'épineuse question où les déverser ? En l'absence des points de regroupement et de décharges finales, les déchets sont déversés un peu partout dans les quartiers de ville et villages. Ainsi, les dépotoirs sauvages dans les arrondissements de recherche prolifèrent. Ceci engendre diverses pollutions dont les plus remarquables et ressenties sont celles esthétique et olfactive. La pollution de sols et des eaux n'est pas directe et est moins connue. Face à cette situation, des actions pour une amélioration du mode de gestion des déchets sont menées. Ces actions sont très souvent réalisées sur des estimations, des décisions utopiques, et aboutissent pour la majorité des cas à des échecs. Les éléments clés comme la caractérisation des déchets solides ménagers à la source et les caractéristiques des décharges pour la réorganisation de la filière de gestion des déchets manquent. Les résultats de ce travail ont apporté des précisions sur ces éléments. De ces résultats, il est retenu que la densité des déchets est moyenne et a différé significativement selon les saisons. L'humidité et le pouvoir calorifique inférieur ont aussi différé en fonction des saisons. Les taux relativement faibles de l'humidité et les valeurs moyennes élevées du pouvoir calorifique inférieur offrent la possibilité de traitement des déchets par incinération. Mais, l'adoption de ce mode de traitement pourrait être problématique car nécessiterait un apport de carburant dû surtout au taux élevé de la fraction extra fine et des putrescibles. Alors, l'adopter comme technique de traitement demanderait un coût ce qui constitue un facteur limitant pour le choix de ce mode de traitement.

La campagne de caractérisation des déchets solides ménagers a permis de noter que la quantité moyenne de déchets générés par les ménages n'est pas négligeable, soit un ratio moyen de 0,53 et 0,63 kg/hab/j respectivement en saison sèche et en saison

pluvieuse. Ces ratios ne diffèrent pas significativement en fonction des saisons. Les déchets produits sont riches en éléments fins, en putrescibles et en plastiques qui sont en grande partie constitués des sacs d'emballage en sachet. Ces quantités élevées de déchets produits sont dues à la faible valorisation de ces derniers. La valorisation se résume surtout au réemploi, à la réutilisation de quelques déchets comme les verres, les plastiques et les métaux. Les récupérateurs ambulants pré-collectent également ces catégories de déchets pour le recyclage. La grande partie des déchets générés quotidiennement est évacuée sur les décharges incontrôlées par apport volontaire ou par les structures de pré-collecte. Ces décharges sont à la portée des animaux et des récupérateurs. Le biogaz généré par ces derniers s'échappe dans l'atmosphère, tandis que les lixiviats s'infiltrent dans le sol et s'écoulent dans les plans d'eau. Ces lixiviats ont connu une pollution organique traduite par une forte charge de la DCO dépassant le seuil acceptable et une pollution au plomb et au cuivre.

Des résultats issus de l'évaluation de l'influence des décharges incontrôlées sur le sol, les eaux et la santé des populations, Il a été noté une pollution superficielle des sols au plomb, une pollution des eaux souterraines en matières organiques oxydables (DCO) et une pollution organique (DCO, DBO5, NTK) des eaux superficielles favorisées par les percolâts des décharges. Les maladies liées aux déchets sont plus courantes dans les ménages riverains aux décharges. Dans la zone témoin, le sol et les eaux sont exemptes de toute pollution. Ceci prouve l'influence des sites de décharges sur la qualité physico-chimique des sols et des eaux. La faible pollution des sols et des eaux notée actuellement au niveau des sites de décharges serait liée au pH, à la matière organique et à la texture des sols très actifs dans le transfert vers le sol des paramètres étudiés. L'activité de récupération a joué aussi un très grand rôle. Alors, la promotion de cette activité serait un atout dans le traitement des déchets par la mise en décharge. Les diverses pollutions issus des décharges constituent également de véritables nuisances à la santé des ménages. L'enquête épidémiologique a montré que les ménages habitant les voisinages des décharges sont les plus touchés par les affections liées aux déchets dont les plus fréquentes étaient: le paludisme simple et grave, les affections respiratoires, la

céphalée, les gastroentérites. Alors, le problème des décharges incontrôlées dans les arrondissements de recherche est d'une urgence évidente et nécessite que des actions promptes soient engagées.

Les indicateurs sur le mode de gestion des déchets et l'influence des décharges incontrôlées sur le sol, les eaux et la santé des populations prouvent que les hypothèses émises au départ dans la présente thèse sont vérifiées. Il serait alors intéressant de détruire ces sites de décharges et pour une gestion efficace des déchets dans les arrondissements d'étude, d'envisager le mode de traitement par la mise en décharge moderne suivi de la valorisation par le compostage, le biogaz et le biocharbon. De plus, l'utilisation des pelles, des poubelles ajourées et le tri à la source serait des pratiques à systématiser chez les ménages.

Pour la continuité de ce travail, des recherches seront menées sur la faisabilité technique et financière de la valorisation des déchets ménagers dans les activités agricoles en particulier le maraîchage, la production du biogaz et du biocharbon pour l'énergie de cuisine dans les arrondissements de recherche. Une recherche sera faite sur une approche pour la planification de l'activité de récupération depuis le ménage jusqu'au dernier circuit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

1- **ABDEL WARITH M., 2004:** Solid Waste Management, New Trends to Control Greenhouse Gas Emissions; The First International Symposium on the Management Of Liquid and Solid Residues. (MALISORE), Mohammedia-Morocco, 372 p.

2- **ABDELKADER B., 2012 :** Gestion des déchets ménagers de la ville de Saà da (Algérie). Analyse et diagnostic. Mémoire de Maîtrise, Université Djillali Liabès Sidi bel Abbès, 57 p.

3- **ABOULAM S., 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, 123 p.

4- **ABREU A., ABREU C.A., ABREU, M.F., ANDRADE, J.C., 1998:** Distribution of lead in the soil profil evaluated by DTPA and Mehlich-3 solution. Bragantia 57, pp. 185-882.

ABU QDAIS H. A., HAMODA M. F., NEWHAM J., 1997: "Analysis of residential solid waste at generation sites", waste management & research, volume 15, issue 4 p.

5- **ABU-QUDAIS M., ABU-QDAIS H. A., 2000:** Energy content of municipal solid waste in jordan an dits potential utilization; energy conversion & management 41, pp. 983-991.

6- **ACEP, 2009 :** Étude de faisabilité technico - économique de la route Hillacondji - Ouidah -Godomey (94 km) et mise en oeuvre des mesures confortatives pour la circulation sur la route nationale inter-états n°1: Frontière Nigéria - Kraké - Cotonou-Godomey - Hillacondji - Frontière Togo (125 km). Rapport d'étude d'impact environnemental et social, version provisoire, 172 p.

7- **ACHANKENG E., 2003:** Globalization, Urbanization and Municipal Solid Waste Management in Africa, African Studies Association of Australasia and the Pacific 2003 Conference Proceedings - African on a Global Stage, 22 p.

8- **ADAM K. S et BOKO M., 1993:** Le Bénin, Ed du Flamboyant. Edicef Cotonou, 2è édition, 93 p.

9- **ADEME, 1993 :** Méthode de caractérisation des ordures ménagères, MODECOM TM – Manuel de base – édité par l'Ademe Centre d'Angers, Septembre 1993 - Réf 1601 - Coll., Connaître pour agir, 64 p.

10- **ADEME, 1999 :** Les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés : techniques et recommandations. ADEME Editions, Paris, 106 p.

11- **ADEME, 2000-b :** Déchets municipaux 2ème édition. ADEME éditions, Paris, 11 p.

12- **ADEME, 2004 :** Bilan 2002 des Plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés, 2004, Direction Déchets et Sols, 101 p.

13- **ADEME, 2005-a :** Gestion des déchets ménagers ; Etude de préfiguration de la campagne. Rapport intermédiaire : les objectifs ; Version définitive, http://www. sinoe.org/espaceInfos/rubrique/consultDoc.php?IDDOC=86&PHPSESSID=dd36 cc942daf00cd6f799e4de2b1fa78, 47 p.

14-**ADEME, 2005 b :** Mieux connaître les déchets produits à l'échelle du territoire d'une collectivité locale. Guide méthodologique, version expérimentale, 111 p.

15-**ADEME, 2012 :** Filières et recyclage. Colloque des professionnels sur les produits hors d'usage, Editions, Angers 2012, ISBN 978 -2-35838-304-2, 98 p.

16-**ADJAHI, T. P., 1994 :** Etude de la dégradation des sites urbains : Cas d'Abomey-calavi. Mémoires de Maîtrise DGAT/FLASH/UNB, 70 p.

17-**AECOM TECSULT INC, 2010 :** Agrandissement du lieu d'enfouissement technique de Saint-Nicéphore. Étude d'impact sur l'environnement. *In* Waste Management. Adience publique-saint Nicéphore. http://www.saintnicephore.wm. com/documents /Rapport_ principal/Rapport_principal_LET_St-Nicéphore _EIE_complet.pdf (Page consultée le 4 décembre 2012) 74 p.

18-**AFNOR NF T 90-110, 1981 :** Dosage de l'azote Kjeldahl. Qualité de l'eau, AFNOR, pp 515-521.

19-**AFNOR, 1996 :** Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés; Eds AFNOR; 24 p.

.

20-**AFOUDA A., 1981:** Etude de ruissellement en zone urbain à Cotonou, rapport de champagne 1978, ORSTOM-LOME, 82 p.

21-**AHOTONDJI V., 2009 :** Environnement-Bénin : Des médecins déconseillent les sacs plastiques, *Inter Press Service, (*http://www.ipsnews.net). 3 p.

22-**AHOUSSI K. E., SORO N., KOUASSI A. M, SORO G. KOFFI Y. B et ZADE S. P., 2010 :** Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des Métaux lourds (Cu^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+} et Pb^{2+}) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan. *International* Journal of Biological and Chemical Sciences, 4**,** (5): pp. 1753-1765.

23-**AINA M. P., 2006 :** Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED: contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. Thèse de doctorat de l'Université de Limoges, 236 p.

24-**AKOBI, K. I., 2009 :** Comment promouvoir le développement local dans le contexte de décentralisation au Bénin ? La problématique d'articulation des dynamiques institutionnelle et sociale. Guide d'acteur pour comprendre et mieux agir. Editions Ruisseaux d'Afrique, Cotonou, 494 p.

25-**ALI, I. 1995 :** La gestion des déchets ménagers et industriels à Parakou, Mémoire de Maîtrise DGAT/FLASH/UNB, 161 p.

26-**ALLASANI Y. M., 2007 :** La gestion des ordures solides ménagères dans la ville d'Abomey- Calavi au Bénin: problèmes et perspectives. Mémoire de DESS en Population et dynamiques urbaines, FLASH /UAC, 53 p.

27-**ALOUEIMINE S., 2006 :** Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat Université de Limoges, 195 p.

28-**ALOUEIMINE S., MATEJKA G., ZURBRUGG C. et SIDI Mohamed M. E., 2005 :** Caractérisation des Ordures Ménagers à Nouakchott : Partie II : Résultats en Saison Sèche et en Saison Humide, 8 p.

29-**AMOKRANE A., 1994 :** Epuration des lixiviats de décharge : Pré-traitement par coagulation floculation, traitement par osmose inverse, post-traitement par incinération. Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, France, 286 p.

30-**ANNABI M., 2005 :** Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse INA Paris-Grignon. Mémoire de thèse, Institut National Agronomique, Paris- Grignon, 208 p.

31-**APESA, BIOMASSE NORMANDIE, 2009 :** Guide méthodologique pour le suivi d'une installation de méthanisation, Etude ADEME, juillet 2009, 55p.

32-**AREHN, 2002:** En finir avec les décharges sauvages, 4 p.

33-**ASOMANI-BOATENG R. ; HAIGHT, M.; FUREDY, C., 1996 :** "Community composting in west Africa." Biocycle 38 01: pp. 70-71.

34-**ATS, 1995 :** Etude des filières de recyclage des différents types de déchets urbains d'Abidjan, rapport d'étude, Caisse Française de Développement, Abidjan, 29 p.

35-**ATSDR, 2005-a:** Toxicological profile for nickel. In ATSDR. Toxic Substances Portal - Nickel. http://www.atsdr.cdc.gov/oxprofiles/t p15.pdf (Page consultée le 4 avril 2013) 397 p.

36-**ATSDR, 2012-a:** Toxicological profile for cadmium. In ATSDR. Toxic Substances Portal - Cadmium. http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf (Page consultée le 18 février 2013) 487 p.

37-**ATTAHI K., 1996 :** Le problème des déchets à Abidjan et son fondement historique, BNETD, Abidjan. 29 p.

38-**AYE, L., WIDJAYA, E.R., 2006**: Environnemental and economic analysis of waste options for traditional markets in Indonesia, Waste Management vol. 26, no. 10, pp.1180-1191.

39-**AYIGBEDE T., 2012 :** La gestion des déchets solides ménagers : Pratiques d'acteurs et inégalités socio-spatiales dans la ville de Porto-Novo (Bénin). Mémoire de thèse, Université Paris X-Nanterre, 427 p.

B

40-**B.R.G.M., 2002 :** Rapport d'activité publique et d'évaluation de Lanaudière ; Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux de Lanaudière. 17 p.

41-**BACHELET R., 2012 :** L'évaluation des projets: indicateurs d'impact, école centrale de Lille cité scientifique, 55 p.

42-**BAH R-D., 2011 :** Les mutations du secteur des déchets ménagers dans la ville d'Abidjan : émergence d'une nouvelle forme de gouvernance ? Working paper FREE-Cahier FREE n°10-2011, 19 p.

43-**BALOUBI M. D., 2009 :** Périurbanisation et problèmes environnementaux dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey (Commune d'Abomey-Calavi). Mémoire de DEA en Géographie et gestion de l'environnement, EDP/ FLASH / UAC, 93 p.

44-**BALOUBI M., 2013 :** Dynamique démographique, urbanisation et perspectives de développement de la Commune d'Abomey-Calavi (sud-Bénin). Mémoire de Thèse, FLASH/UAC, 332 p.

45-**BAWA M. ; DJANEYE-BOUNDJOU G. ; BOUKARI Y., 2006 :** Caractérisation de deux effluents industriels au Togo: étude d'impact sur l'environnement, Afrique science 02(1) pp. 57-68.

46-**BEEDE D. et BLOOM D E., 1995:** The economics of municipal solid waste, The world bank Researh Observer, Vol. 10, (2) pp. 113-150.

47-**BELGHITI L., 2013:** Effect climatic conditions and anthropic on the variation of the quality of water of somewells in rural medium, case of groundwater of the plateau of Meknes (Morocco). ScienceLib Editions Mersenne: Volume 5, n° 131004 ISSN pp 2111-4706, 17 p.

48-**BELLE E., 2008 :** Evolution 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), mémoire de thèse, Université de Franche-Comté (UFC), 248 p.

49-**BEN AMMAR S., 2006 :** Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix de traitements adaptés dans les pays en développement résultats de la caractérisation dans le grand tunis au point d'une méthode adaptée. Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, 326 p

50-**BENNAMA T., 2001 :** Evolution spatio-temporelle de la physico-chimie, microbiologie et écotoxicologie des lixiviats de la décharge publique d'el-kerma (Oran, Algérie). ISSN pp.. 2170-1318, 90 p.

51-**BERTOLINI G., MORVAN B., BERTOLINI F., 1996 :** L'organisation du tri des ordures ménagères dans les pays en développement. Rapport d'étude réalisée pour le compte de l'ADEME, CEMAGREF, Rennes (France), mai 1996, 70 p + annexes.

52-**BERTOLINI G. 1996 :** Déchet mode d'emploi, Economica, Paris, L'harmattan, Paris, 40 p.

53-**BIETLOT E., LEBRUN V. et LE BUSSY O., 2011 :** Réseau de contrôle des C.E.T. en région wallonne. Rapport annuel sur la qualité des eaux autour des C.E.T, Département de la Police et des Contrôles, 01835/2011, 130 p.

54-**BODJONA B. M., 2012 :** Contamination du sol de la décharge finale de la ville de Lomé par les métaux lourds : Cas du plomb, du cadmium, du nickel, du cuivre et du zinc. Mémoire de thèse, Université de Lomé 184 p.

55-**BOTON M., 1994 :** Aspect de la dynamique de l'environnement dans la Sous-préfecture d'Abomey-Calavi. Mémoire de Maîtrise DGAT/FLASH/UNB, 70 p.

56-**BOUCHAKOR F., 1999 :** Essai d'amendement d'un sol par différents composts d'ordures ménagères et suivi du niveau de contamination par les éléments traces métalliques. Thèse de Doctorat, Université de Tunis II. 211 p.

57-**BOUCHESEICHE, C., CREMILLE E., PELTE T. et POJER K., 2002 :** Bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Guide technique n7, Pollution toxique et l'ecotoxicologie: notion de base. Lyon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2002, 83 p.

58-**BOULANGER A., 2011 :** Préparation d'un déchet ménager pour l'optimisation du potentiel et de la cinétique méthanogène, mémoire de thèse, Ecole Doctorale ABIES, 316 p

59-**BOVEA M. D.; POWELL J. C.; GALLARDO A.; CAPUZ-RIZO S. F., 2007:** The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system. Waste Management 27 (4), pp. 545–553.

60-**BRAS A., 2010 :** Eléments pour une définition de la problématique de la propreté urbaine en haiti : le cas de Port-au-Prince. Mémoire de thèse, Université Quisqueya (Haïti), 213 p.

61-**BREY I. et MAPONGMETSSEM J. M., 2005 :** Systématique des espèces végétales de l'Adamaoua. Rapport de stage de terrain, Université de Ngaoundéré, 27 p.

62-**BRULA P. ; NAQUIN P. ; PERRODIN Y., 1995 :** Étude bibliographique des rejets des différentes techniques de traitement de résidus urbains : L'incinération et la décharge. Lyon (France) : INSA Valor, Division Polden, ADEME (Angers), (a), 54 p.

63-**BRUNER H. P., ENERST W., 1986:** Alternatives méthods for the analysis of municipal solid waste, waste management et research, 4, pp. 147-160.

64-**BUENROSTRO O. et BOCCO G., 2003 :** Solid waste management in municipalities in Mexico: Goal and perspectives, Resources, Conservation and Recycling.39: 14 p.

C

65-**CAMPAN F., 2007 :** Le traitement et la gestion des déchets ménagers à la réunion : approche géographique. Mémoire de thèse, FLASH, Université de la Réunion, 420 p.

66- **CEFREDAPE, 2008 :** Compostage des déchets ménagers dans les pays en développement: Modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes, 65 p.

67-**CHALMIN P. et GAILLOCHET C., 2009:** Du rare à l'infini. Panorama mondial des déchets, CyclOpe et Véolia Propreté – Economica, 27 p.

68-**CHANG N. B., SCHULER, R. E., SHOEMAKER, C. A., 1993:** Environmental and economic optimization of an integrated solid waste management system. Journal of Resource Management and Technology 21, pp. 87-100.

69-**CHARNAY F., 2005 :** Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement: élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat, Université Limoges, 277 p.

70-**CHOFQI A., YOUNSI A, LHADI E.K., MANIAJ., MUDRY J., VERONA., 2004:** Environmental impact of an urban landfill on a coastal aquifer El Jadida, Morocco, Journal of African Earth Sciences,Vol. 39, Issues 3-5, pp. 509-516 .

71-**CHRISTENSEN T.H., KJELDSEN P., BJERG P.L., JENSEN D.L., CHRISTENSEN J.B., BAUN A., ALBRECHTSEN H.J. et HERON G., 2001:** Biogeochemistry of landfillleachate plumes. Applied Geochemistry. 16: pp. 659-718.

72-**CITEAU L., 2004 :** Etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires de sols contaminés : relation entre nature des colloïdes et réactivité vis-à-vis des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu).Thèse de l'Institut National d'Agronomie Paris-Grignon, 236 p.

73-**CITERETSE L., 2008 :** Les déchets ménagers solides de la ville de Bujumbura (Burundi): quelles perspectives pour une gestion durable ? Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, IGEAT (Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire), Université libre de Bruxelles, 78 p.

74-**COINTREAU-LEVINE S., 1997:** "Occupational and environmental health issues of solid waste management". International occupational and environmental medicine. St. Louis (USA); 25 p.

75-**COLIN F., 1984 :** Étude des mécanismes de la genèse des lixiviats. Inventaire et examen critique des tests de laboratoire, Nancy IRH-Rapport RH pp. 84-136.

76-**CREPA, 2006:** Atelier d'élaboration du plan quinquennal d'hygiène et d'assainissement de la Commune I du District de Bamako, 57 p.

77-**CREPA, 2011 :** Etude sur la gestion des déchets plastiques dans l'espace UEMOA cas du Bénin. Rapport final, 59 p.

78-**CREPA-BENIN, 2002 :** Rapport annuel d'activité sur la gestion des déchets solides urbains à Cotonou. Exercice 2002, 27 p.

D

79-**DAOUDA M., 2012 :** Conception et expérimentation d'un réacteur d'électrocoagulation pour le traitement des lixiviats. Mémoire d'ingénieur de conception, EPAC/UAC, 126 p.

80-**DAURA M. et KAGU A., 1997:** Aspects of solid waste management in Maiduguri, Nigeria, International Journal of Urban and Regional Affairs, 1(1), pp. 81-84.

81-**DE ABREU C. A. ; DE ABREU M. F. ; ANDRADE J. C., 1998 :** Distribution of lead in the soil profil evaluated by DTPA and Mehlich-3 solution. Bragantia 57, pp. 185-882.

82-**DE LAVERGNE C. et JULIEN G., 2005 :** La récupération d'ordures dans les grandes villes de pays en développement. Wwweperians.net, 15 p.

83-**DE VASCONCELOS R.T., 2003 :** Enjeux d'une gestion durable de déchets solides ménagers dans les villes moyennes du Minas Gerais (Brésil). Mémoire de thèse, 464 p.

84-**DEGBEY C., MAKOUTODE M., OUENDO E-M., FAYOMI B., DE BROUWER C., 2008:** La qualité de l'eau de puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin, Environnement, risques et santé. Volume 7, numéro 4, Juillet-Août, 2008, pp. 279-283.

85-**DEGBEY C., MAKOUTODE M., OUENDO E. M. et DE BROUWER C., 2010 :** Pollution physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin en 2009, Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(6): pp. 2257-2271.

86-**DIABAGATE S., 2006 :** Assainissement et Gestion des ordures ménagères à Abobo (v2) : cas d'Abobo-Baoulé, Mémoire de Maîtrise IGT 96 p.

87-**DIABATE M., 2010 :** Déchets ménagers : impact sur la santé et l'environnement en Commune I du district de Bamako : cas de Banconi, Mémoire de Maîtrise, 65 p.

88-**DIETMANN D., 2008 :** Déchets ménagers, le jardin des impostures, éd l'harmattan, 155 p.

89-**DJIGO A. A., 2005 :** Assainissement des eaux usées et son impact sur la situation socio-sanitaire des populations de Médina Gounass. Mémoire DEA / Université de Lubumbashi, 61 p.

90-**DJORFI S., FOUFOU A., MAJOUR H., BELLOULOU L., HANI A., DJABRIL., 2010 :** Impact de la décharge publique de Annaba sur la qualité des eaux de la plaine de l'OUED ZIED. pp. 151-157.

91-**DOSSOU O. V., 2005 :** Contribution de l'évaluation environnementale stratégique à l'aménagement du territoire : cas du plan directeur d'aménagement du plateau d'Abomey-Calavi (République du Bénin).Mémoire de Thèse, FLASH/UAC, 348 p.

92-**DOTREPPE-GRISARD N., 1986 :** Déchets solides industriels et urbains. Traitement, destruction et valorisation. Technique & documentation Lavoisier, (Ed. Cebedoc), 84 p.

93-**DOVONOU F**., **2008 :** La pollution des plans d'eau au Bénin. Mémoire de DEA, FLASH / UAC, 67 p.

E

94-**EAWAG, 2006 :** Recyclage des déchets solides à Fada N'Gourma (Burkina Faso) Pratique actuelle et potentialités. Rapport Final, Avril 2006, 71 p.

95-**EDORH, A. P. GNANDJI K., ELEGBEDE MANOU B., et ENONHEDO S. F. 2007:** Qualité microbiologique de l'eau de boisson dans les restaurants, de Porto-Novo, Développement et climat, 3 :pp. 87-96.

96- **EHRIG H. J., 1983:** Quality and quantity of sanitary landfill leachate. Wast Manage. Res, 1: pp. 53-68.

97- **EL BARI H., 2012 :** Le secteur informel de la gestion des déchets solides au Maroc.Mémoire de maîtrise, Faculté des Sciences/Université Ibn Tofail Kenitra, Maroc, 46 p.

98-**ELASS K., LAACHACH A., AZZI M., 2003:** Etude de la biodisponibilité des métaux lourds dans les sols agricoles irrigués par des eaux polluées. Revue Francophone d'Ecologie Industrielle. 32 : pp. 1-6.

99-**ELLIOTT P., BRIGGS D., MORRIS S., DE HOOGH C., 2001:** Risk of adverse birth outcomes near landfill sites. Br. med. J. 2001a; 323(7325): pp. 363-368.

100- **ENDA M, 2003 :** Projet de Protection de la biodiversité et des ressources en eau du Bassin Versant de la Moulouya (PBREM), Formation technique sur la gestion des déchets solides municipaux, 63 p.

101- **ENDA, 1997:** La Participation de la Communauté à la Gestion des Déchets Solides. Revue d'expériences. 62 p.

102- **ER-RAIOUI H., BOUZID S., KHANNOUS S., et ZOUAG M. A., 2011 :** Contamination des eaux souterraines par le lixiviat des décharges publiques : Cas de la nappe phréatique R'Mel (Province de Larache - Maroc Nord-Occidental). Int. J. Biol. Chem. Sci. 5(3): pp. 1118-1134.

F

103- **FALL C., 2007 :** Etude *de la qualité de l'eau de robinet et de celle de la nappe* phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye, Mémoire de Maîtrise, FLSH, Département de Géographie, UCAD Dakar, 91 p.

104- **FAZZ, 2002 :** Les déchets domestiques dans les PVD, quelle spécificité pour la Mauritanie, 83 p.

105- **FEUILLADE G., LAGIER T., MATEJKA G., 2001 :** Les métaux lourds dans les décharges d'ordures ménagères : Synthèse des connaissances. Partie II : Principaux processus conduisant à la libération des métaux lourds et différents scénarii envisageables. Tribune de l'Eau, 611(3) : pp. 25-36.

106- **FRANCOIS V., 2004 :** Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets. Thèse de doctorat. Université de Limoges, 197 p + annexes.

G

107- **GACHET C., 2005 :** Evolution bio-physico-chimique des déchets enfouis au Centre de Stockage de Déchets Ultimes du SYDOM du Jura sous l'effet de la recirculation des lixiviats, thèse, Institut National des Recherches Appliquées, 271 p.

108- **GALAN J., 2010 :** Gestion et traitement des déchets solides à Djenné (Mali), Licence Professionnelle, Institut de Biologie et d'Ecologie Appliquée/UCO, 35 p.

109- **GANTI T., 2011 :** Gestion des ordures ménagères à Cotonou, rapport, 8 p.

110- **GARCÍA AJ., ESTEBAN MB., MÁRQUEZ MC., RAMOS P., 2005:** Biodegradable municipal solid waste: Characterization and potential use as animalfeedstuffs; Waste Management 25(2005) pp. 780-787.

111- **GAREAU P., 2001:** La gestion des matières résiduelles et les risques pour la santé humaine. Projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de sainte Sophie et Front commun québécois pour une gestion écologique des déchets, 116 p.

112- **GBEDO V., 2010 :** Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou : Approche pour une maîtrise des aspects technique et socio-économique, Thèse de Doctorat. Université d'Abomey-Calavi, 237 p.

113- **GBINLO R. E., 2010 :** Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique Sub- saharienne : Cas de la ville de Cotonou au Bénin, Laboratoire d'économie d'Orléans, Thèse de Doctorat 237 p.

114- **GENDEBIEN, A., PAUWELS, M., CONSTANT, M., LEDRUT-DAMANET, M.J., NYNS, E.J., WILLUMSEN, H.C, BUTSON, J., FABRY R. and FERRERO G.L., 1992:** Landfill gas from environment to energy. Rapport 140171/1EN. Luxembourg : Commission of the European communities, 865 p.

115- **GEORGE P. et VERGER F., 1996 :** Dictionnaire de la géographie PUF, Paris 6ème édition 500 p.

116- **GONZALEZ DEL CARPIO, C., 1998:** "Composting has promising future in Mexico." Biocycle 39(12): pp. 76-77.

117- **GOUHIER J., 1984 :** Géographie des déchets : l'art d'accomoder les restes, *Paris*, Centre de documentation industrielle, Centre Georges Pompidou, 18 p.

118- **GOULET L.; GOLDBERG M. S.; NOHAL A.; RIBERDY H., 1995:** Archives of environmental health (Arch. environ. health) ISSN 0003-9896 CODEN AEHLAU; 1995, vol. 50, no6, pp. 416-424.

119- **GUERRERO M. C., 2012 :** La disposition finale des résidus solides municipaux en république dominicaine dans le cadre de l'implémentation de la loi générale sur l'environnement et les ressources naturelles, mémoire de maîtrise, IGEAT / Université Libre De Bruxelles, 151 p

H

120- **HADARBACH D., 2006 :** Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 2006, n°28, pp 61-71.

121- **HAKIZIMANA G., 2005 :** L'enfouissement des déchets et la santé de la population. Revue de la littérature: rapport.-QUEBEC: Direction de la santé, 17 p.

122- **HASSOUNE El M/, BOUZIDI A., KOULALI Y. et HEBETTE A, 1996 :** Guide pratique de la gestion des déchets solides urbains en Afrique subsaharienne. Luxembourg, Lux-Development, 149 p.

123- **HOUNKPATIN R. et KOTTIN M. C., 2009 :** La gestion des déchets solides ménagers (DSM) à Cotonou : proposition d'un cadre approprié de planification de la pré-collecte. Mémoire de DTS en Planification et Aménagement du Territoire, ENEAM/UAC, 76 p.

I

124- **IBGE, 2005 :** Qualité physico-chimique des eaux de surface: cadre général. Rapport sur l'eau à Bruxelles**,** Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 19 p.

125- **INSAE RGPH 1, 1988 :** La population de l'Atlantique, Villages et quartiers de ville, 10 p.

126- **INSAE RGPH 2, 1994 :** La population de l'Atlantique, villages et quartiers de ville, 8 p.

127- **INSAE RGPH 3, 2004 :** Cahier des villages et de villes, département du Littoral, 15 p.

128- **INSAE, RGPH 4, 2014 :** Recensement Général de la Population et de l'Habitat, 35 p.

J

129- **JOHANNESSEN L. M. et BOYER G., 1999:** Observations of Solid Waste Landfills in Developing Countries: Africa, Asia, and Latin America, Urban Development Division, Waste Management Anchor Team, The Worl, 47 p.

130- **JOURDAN B, PIANTONE P, LEROUGE C, GUYONNET D., 2005 :** Atténuation des métaux à l'aval de sites de stockage de déchets (Synthèse bibliographique). BRGM/RP 54417, 110 p.

131- **JUSTE, 1995 :** Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Convention ADEME-INRA, ADEME éd., 209 p.

K

132- **KAIBOUCHI S., 2004 :** Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères :

Contribution à l'étude des mécanismes de stabilisation par carbonatation et influence de la collecte sélective ; thèse, 296 p.

133- **KAKAI S. A. G., 2008 :** Pression foncière sur l'agriculture dans la Commune d'Abomey-Calavi. Mémoire de Maîtrise DGAT/FLASH/UNB, 92 p.

134- **KAPEPULA, K. D. 1996 :** Composition et caractéristiques des déchets ménagers solides dans les neuf villes africaines. In cahier technique: la problématique des déchets solides dans les villes africaines d'importance moyenne. Séminaire CWBI, Gembloux, Belgique, 662 p.

135- **KEHILA Y., AINA M., MEZOUARI F., MATEJKA G., MAMMA D., 2007 :** Quelles perspectives pour l'enfouissement technique et le stockage éco-compatible des résidus solides dans les ped vis-à-vis des impacts sur l'hydrosphère urbaine ? Actes des JSIRAUF, Hanoi, pp. 6-9.

136- **KEKE E., 2002 :** L'érosion pluviale en milieu urbain : Cas de la Commune d'Abomey-Calavi, Aspects, Impacts et Moyens de lutte. Mémoire de Maîtrise, DGAT/FLASH/UAC, 88 p.

137- **KELLER T., 2009 :** La valorisation énergétique des déchets par incinération. Mémoire de fin d'études Majeure Finance, HEC, 61 p.

138- **KHATTABI H., LOTFI A., MANIA J., 2002 :** Evaluation de l'impact des lixiviats d'une décharge d'ordures ménagères sur la qualité physicochimique et bactériologique des eaux d'un ruisseau de Franche-Comté. Déchets-Sciences et Techniques, 24: pp. 1-4.

139- **KIENTGA S., 2008 :** Contribution du SIG à l'analyse des liens déchets-santé en milieu urbain dans les pays en développement. Cas de deux secteurs de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso. Mémoire de thèse, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 241 p.

140- **KLUTE A., 1986:** Water retention: laboratory methods. In: *Klute A., ed.* Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Madison, WI, USA*:* American Society of Agronomy, pp. 635-662.

141- **KOLEDZI E. K., 2011 :** Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (TOGO): approche méthodologique pour une production durable de compost, Thèse de doctorat Université de Lomé, N°04-2011, 224 p.

142- **KOUAME A., 2005 :** Gestion des ordures à N'douci. Mémoire de Maîtrise. IGT. 105 p.

143- **KRUEMPELBECK I. et EHRIG H-J., 1999 :** Long term behaviour of municipal solid waste landfills in Germany. In: Proceeding of Sardinia 99, Seven International Waste Management and landfillSymposium, pp. 27-35.

L

144- **LAGIER T., 2000 :** Etude des macromolécules de lixiviat: caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux, Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 206 p.

145- **LANDON J. R., 1991:** Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Oxon, UK: Booker Tate Limited; Essex, UK: Longman, 474 p.

146- **LAVAL. B. D., 1998 :** Bilan des éclosions de maladies d'origine hydrique signalées dans les directions régionales de la santé publique du Québec en 1993, 1994 et 1995. Comité de santé environnementale du Québec, Conseil des directeurs de santé publique du Québec, 8 p.

147- **LAVERGNE DE C. et GABERT J., 2005 :** La récupération des ordures dans les grandes villes de pays en développement. http//www.perso.oraage.fr/ experians/expe-rians/publis/recup_ordure_PED_expe-rians.pdf, 15p

148- **LEBOURG A., STERKMAN T., CIESIELSKI H., PROIX N., 1996 :** Intérêt de différents réactifs d'extraction chimique pour l'évaluation de la biodisponibilité des métaux en traces du sol. Agronomie 16. INRA. pp. 201-215.

149- **LERICHE R., 1936 :** Introduction générale ; De la santé à la maladie ; La douleur dans les maladies ; Où va la médecine ? In Encyclopédie française, Paris, Vol. 6, pp. cité dans Le normal et le pathologique, 52 p.

150- **LEVALLOIS P., 1995 :** Eau potable et santé: état de la situation ». In Air intérieur et eau potable, sous la dir de Pierre Lajoie et Patrick Levallois, Sainte-Foy: Les Presses de l'Université, pp. 153-162.

151- **LOUAI N., 2009:** Evaluation énergétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique, Universite El-Hadj Lakhdar -Batna , 152 p.

M

152- **MAKOUTODE M., 2007 :** Cours de DEA sur la santé publique.

153- **MATEJKA P., 1994 :** Pollution engendrée par un lixiviat de décharge d'ordures ménagères : bilan hydrique et caractérisation. Environmental Technology, vol.15: pp. 313-322.

154- **MAYSTRE L.Y., 1995 :** Déchets urbains : nature et caractérisation, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Collection « Gérer l'environnement », Lausanne, 119 p.

155- **MBONIGABA J. J. ; MUHINDA I. ; NZEYIMANA, C. B. ET MARC C., 2009 :** « Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles et contraintes à leur productivité », *Biotechnol.* Agron. Soc. Environ., volume 13 (2009) numéro 4 : pp. 545-558

156- **MEHDI M. M., BELABBED B. E., DJABRI L., HANI A. et LAOUR R., 2007 :** Caractéristiques de la décharge publique de la ville de Tiaret et son impact sur la qualité des eaux souterraines, Courrier du Savoir – 08 : pp. 93-99.

157- **MERLIN P. et CHOAY F., 1988 :** Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, Presse Universitaire de la France, Paris, 723 p.

158- **MEZOUARI S. F., 2011 :** Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. Mémoire de thèse, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Université de Limoges, 261 p.

159- **MILLOT N., 1986 :** Les lixiviats des décharges contrôlées. Caractérisation analytique et études mineralization in soil." Biochem. Soil Biol.30(3): pp. 305-313.

160- **MOHEE R., 2002:** Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius. – Resour. Conserv. Recycl., 2002, **36**(1), pp. 33-43.

161- **MOHEE R., 2002:** Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; Resources, conservation and Recycling" 36; pp. 33-43.

162- **MOULAY C., 2010 :** Gestion des déchets ménagers dans les pays en développement: l'urgence d'une assistance moyenne. Séminaire CWBI,

Gembloux, Belgique, pp. 94-111.

163- **MUSTAPHA N., 2003 :** La gestion des déchets solides urbains Cas d'étude : ville de M'sila, Mémoire de thèse du diplôme de magister, Université Mohamed Boudiaf. 202 p.

164- **MUSTIN M., 1987 :** Le compost : gestion de la matière organique. (Ed. François Dubusc, Paris), 954 p.

165- **MUSTIN M., 1987 :** Le compost, gestion de la matière organique. Editions François DUBUSC, Paris ; 95 p.

N

166- **N'DIAYE I., :** Propreté des villes – collecte et traitements des déchets, biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. Ediscience, pp 354-356. Annexe atelier 1, http://www.aimf.asso.fr/villes/fiches/bamako.html.

167- **NADA C., 2010 :** Les paysages de décharges publiques urbaines au Liban: Quelle problématique ? Publié, 18/07/2010 sur Projet de Paysage-www.Projets de paysage.fr, 10 p.

168- **NDOYE A., 1998 :** Le ramassage des ordures dans le quartier de Meudong à Yaoundé au Cameroun. Rapport sur la gestion des déchets à Yaoundé, 16 p.

169- **NGNIKAM E. et TANAWA E., 2006 :** Les villes d'Afrique face à leurs déchets. Edition UTBM, Belfort-Montbéliard, 2006, 28 p.

170- **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 a effet de serre, rencontre de la coopération technologique nord-sud pour le développement durable et le climat organisée dans le cadre de pollution, Lyon, 22 p.

171- **NGNIKAM E., VERMANDE P., TANAWA M. et WETHE J., 1997 :** "Une démarche intégrée pour la maîtrise de la gestion des déchets solides urbains au Cameroun", revue déchets sciences et techniques n°5, 13p.

172- **NISBET M. et VERNEAUX J., 1970 :** Composantes chimiques des eaux courantes. Ann. Limnol.,6(2):161-190. Annales de limnologie, t.6, fasc. 2,1970, pp. 161-190.

173- **NKITUAHANGA YENAMAU A., 2010 :** Problématique de la gestion des ordures ménagères dans la ville de Kinshasa, cas de la Commune de Masina,

mémoire de maîtrise, Faculté des Sciences Agronomiques / Université de Kinshasa, 34 p.

174- **NYASSA M. C. S., 2010 :** Evaluation des méthodes de traitement des déchets ménagers solides adaptées à la ville de Yaoundé. Mémoire de Lycée, d'Enseignement Secondaire Général deuxième grade (DIPES II), 93 p.

175- **NYASSOGBO K., 2005 :** Accumulation des ordures ménagères et dégradation de l'environnement urbain. Quelques pistes pour une viabilité environnementale dans le processus de développement Africain, Lomé (Togo), 19 p.

O

176- **OMS, 1997 :** Rapport du Directeur Général de l'OMS, Questions relatives à l'environnement, Stratégie d'assainissement pour les communautés à haut risque, Conseil exécutif, cent unième session, EB1001/19, 1997, 8 p.

177- **ONIBOKUN A. G., 2002 :** *La Gestion des déchets urbains.* Des solutions pour l'Afrique. Paris: CRDI, Karthala, ISBN: 0-88936-927-5, 260 p.

178- **OUEDRAOGO R. U., 2010 :** La gestion urbaine dans les pays du sud**,** Mémoire de Master – recherche, Université de Ouagadougou, 69 p.

P

179- **PCUG3C, 2010 :** Changements climatiques et inondations dans le grand cotonou : situations de base et analyse prospective, rapport final, 100 p.

180- **PEIGNE J., GIRARDIN P., 2001 :** Compostage et environnement. D'ABioDoc et du CETAB, 49 p.

181- **PICHARD M. PICHARD A., BISSON M., HULOT C., LEFEVRE JP., MAGAUD H. OBERSON G., MORIN AD., PEPIN G., 2002:** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Plomb et ses dérivés. INERIS-DRC-01-25590 – ETSC –APi/SD,N°00df257_version2 .doc, 83 p.

182- **PICHAT P., 1995 :** La gestion des déchets, Flammarion, Paris, 124 p.

183- **PIEDRAFITA C. et MARIAV., 2007 :** La pollution ponctuelle des sols: Le cas des stations-service dans la Région de Bruxelles-Capitale. Mémoire, 154 p.

184- **PNUD, 2011 :** Diagnostic de la gestion des déchets au Bénin, 84 p.

185- **PNUE, 2001:** Outil spécialisé (Toolkit) pour l'identification et quantification des rejets de dioxines et des furannes, rapport préliminaire d'IOMC : Inter-Organisation pour la Gestion Rationnelle des Produits Chimiques, 208 p.

186- **POHLAND F., 1996:** Landfill bioreactors: Fundamentals and pratice. WQI casebook, pp. 18-22 .

187- **POHLAND F.G et KIM J.C., 2000:** Microbially mediated attenuation potential of landfill bioreactor systems. Water Science and Technology. Vol. 41, (3). pp. 247-254.

188- **POUTREL, J. et WASSERMAN, M., 1977 :** Prise en compte de l'environnement dans les procédures d'aménagement. Essai méthodologique sur les études d'impact. Recherche-environnement n°10, pp. 41-45.

189- **PREVOT H., 2000 :** La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets, rapport du conseil général des mines, 124 p.

190- **PROJECT SWA-TOOL, 2004:** Development of a Methodological Tool to Enhance the precision and Comparability of solid waste (SWA-TOOL), European Commission, User Version, 57 p.

191- **PRUDENT P., DOMEIZEL M. et MASSIANI C., 1996 :** Chemical sequential Extraction as a decision making tool : application to municipal solid waste and its individual constituents. Sci. 178 p.

R

192- **RAJAOMANANA H., 1996 :** Gestion et traitement des déchets ménagers dans les pays en voie de développement : Etude du cas de la ville d'Antananarivo (MADAGASCAR). Lyon : Thèse INSA de Lyon, LAEPSI, 1996, 152 p.

193- **RAMADE F., 1998 :** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau : biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. Ediscience, pp. 354-356.

194- **RASSAM A., BOURKHISS B., CHAOUCH A. et BOURKHISS M., 2012 :** Caractérisation des lixiviats et évaluation de la pollution de la décharge de la ville d´alhoceima/maroc. ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4, n° 120602 ISSN, pp. 2111- 4706, www.sciencelib.f**.**

195- **RENOU, S., POULAIN, S. GAGNAIRE, J. DE CADARACHE, MARROT B., et T MOULIN P., 2008 :** Lixiviat de centre de stockage : déchet généré par

des déchets. 43, N° 310 "*l'eau, l'industrie, les nuisances*" Editions JOHANET : 60, rue du Dessous des Berges - 75013 Paris, pp. 37-43.

196- **RICARD A., 2002 :** L'invention d'une capitale coloniale: Ouagadougou 1919-1932. Clio, n° 7, 26 p.

197- **RINKE M., 1999 :** Migration de la pollution minérale dans les sols sous les décharges d'ordures ménagères : Etude de cas. Thèse de Doctorat, Université de Limoges. 254 p.

198- **RODRIGUEZ I.J., CASTRILLON P.L., MARANON M.E., ASTRE A.H., 2000:** A comparative study of leachates produced by anaerobic digestion in a pilot plant anda t a sanitary landfills in Asturias, Spain. Waste Management and Research.18 : pp. 86-93.

S

199- **SAGBOHAN P. S., 2011 :** Les acteurs de l'assainissement dans la Commune d'Abomey-Calavi: actions et limites. Mémoire de maîtrise**,** DGAT/FLASH/ UAC 80 p.

200- **SANE Y., 2002 :** La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution ; AJEAM/RAGEE; Vol. 4 n°1 ; pp. 13-22.

201- **SANTE CANADA, 1996a:** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Documentation à l'appui. En ligne. http://www.hc sc.gc.ca/ehp/dhm/ catalogue/ dpc_pubs/rqepdoc-appui/rqep.htm. (Page Consulté le 29 décembre 2013).

202- **SANTE CANADA, 2012 :** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Tableau sommaire. In Santé Canada. Santé de l'environnement et du milieu de travail. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/2012 sum _ guide-res_recom/2012-sum_guide-res_recom-fra.pdf santé humaine. Projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire, 28 p

203- **SCHWARTZ D., 1995:** Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes 4e édition, Éditions médicales Flammarion, Paris, 314 p.

204- **SENAT, 1998 :** Recyclage et valorisation des déchets ménagers. http://www. senat.fr/rap/o98-415/o98-41524.html. Dernière visite 07/12/2006. 320 p + annexes.

205- **SENES CONSULTANTS LIMITED, 1999 :** Méthodologie recommandée pour

la caractérisation des déchets dans le cadre des études d'analyse directe des déchets au Canada, Rapport pour le sous-comité de caractérisation des déchets du CCME ; 64 p.

206- **SHARHOLY M.; AHMAD K.; VAISHYA R.C. et GUPTA R., 2007:** MUNICIPAL solid waste characteristics and management in Allahabad, India, Waste Management 27 (4), pp. 490-496.

207- **SOTAMENOU J., 2005 :** Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine, et périurbaine dans la ville de Yaoundé au Cameroun. Mémoire de DEA PTCI en Economie, Université de Yaoundé II, Cameroun, 144 p.

208- **SOTAMENOU J., 2012 :** La gestion publique des déchets solides à Yaoundé au Cameroun. Edition Universitaire Européenne, ISBN 978-3-8381-8222-3, 317 p.

209- **STERCKEMAN T.**, **DOUAY F., PROIX N. and FOURRIER H., 2000:** Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France. Environmental Pollution, 107: pp. 377-389.

T

210- **TAPSOBA D., 2010 :** Les formes d'aménagement urbain et leur contribution dans la production du logement social, Colloque Urbain International, Acte de colloque, Ouagadougou du 24 au 26 juin 2010, 33 p.

211- **TAPSOBA L. M., OUEDRAOGO S., 2000 :** Gestion et financement des déchets solides municipaux dans la ville de Ouagadougou-Burkina Faso . Ville de Ouagadougou (Burkina Faso), Alter Ego (Lausan ne-Suisse), IAGU (Dakar-Sénégal) PDM (Cotonou-Benin). 88 p.

212- **TAPSOBA S., 1995 :** Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (sud de la Côte d'Ivoire) : hydrochimie, isotopie, et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de doctorat 3ème cycle, Université de Cocody, 201p.

213- **TCHAPDA N., 2011:** Décentralisation et renforcement de la gestion urbaine au Cameroun: collecte différenciée des ordures ménagères à Douala, 17 p.

214- **TCHOBANOGLOUS G., THEISEN H., VIGIL S., 1993 :** Integrated Solid WasteManagement, Engineering Principles and Management Issues. McGraw

Hill, New-York, 978 p.

215- **TEVEA OTE HONU, 2011 :** Le recyclage des emballages : C'EST VITA. Sept, 2011, N°20, 16 p. www.sep.

216- **TEZANOU J., KOULIDIATI J., PROUST M., SOUGOTI M. GOUDEAU J-C., KAFANDO P., ROGAUMET., 2001 :** Caractérisation des déchets dans la ville de Ouagadougou. Revue francophone d'écologie industrielle, Déchets Sciences et Techniques, Burkina Faso, 10 p.

217- **THIOMBIANO G. M., 2009 :** Etude environnementale sur la ville de Ziniare (Burkina-Faso) : La gestion des déchets solides urbains, Rapport définitif, 47 p.

218- **THOGERSEN J. 1999:** Waste fuf food Consumption. Trend, In Food and packaging Waste, Scandinavia Journal of Management, volumes 12, Issue 3, pp. 291-304.

219- **THONART P. et DIABATE S., 2005 :** Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du Sud., collection Points repères, Organisations Internationales de la Francophonie 121 p.

220- **THONART P., 2001:** Cellulose enzymatic availability in solid waste. Proceedings Sardinia. pp. 219-232.

221- **TINI A., 2003 :** La gestion des déchets solides ménagers au Niger : Essai pour une stratégie de gestion durable, Thèse de doctorat Institut National de Lyon, 301 p.

222- **TOGUYENI A. R., 2006 :** La gestion des déchets solides de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso): Etat des lieux et analyse de la problématique des déchets d'emballages. Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement, Université libre de Bruxelles, 130 p.

223- **TOMGOUANI K., KHALID E., et ABDERRAHIM B., 2010 :** Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc)**.** Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(6): pp. 1962-1975.

224- **TOPANOU N.**, **2012:** Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin): Caractérisation et essais de valorisation par compostage. Thèse de Doctorat Université d'Abomey-Calavi, 194 p.

225- **TRABELSI S., 2012 :** Etude de traitement des lixiviats des déchets urbains par les procédés d'oxydation avancée photochimiques et électrochimiques :

Application aux lixiviats de la décharge tunisienne Jebel Chakir. Thèse de doctorat de l'université de Carthage et de l'université Paris-Est, 225 p

226- **TULADHAR B. et BANIA A., 1998:** "Operating a compost plant in the Himalayan Kingdom." Biocycle 39 (08): pp. 79-83.

V

227- **VALTOM, 2013 :** Enfouissement des déchets ménagers ultimes en centre d'enfouissement technique VALTOM. http://www.valtom63.fr/Enfouissement-dechets.html

228- **VAN BEUKERING P., 1999:** Analysing urban solid waste indeveloping countries: a perspective on Bangalore, India. Creed. 36 p.

229- **VON BLOTTNITZ H., PEHLKEN A. et PRETZ T., 2001:** The description of solid wastes by particle mass instead of particle size distributions. Resouces, Conservation and Recycling, 34, pp. 193-207.

W

230- **WAHYONO S. et SAHWAN F. S., 2000 :** "Low-tech composting in tropical countries." Biocycle 41 (02): pp. 78-79 .

231- **WASTESUM, 2010:** Development of Domestic Solid Waste Management Schemes for Small Urban Communities in Morocco. 85 p

232- **WEISSENHORN I., 1994 :** Les mycorhizes à arbuscules dans les sols pollués par les métaux lourds. Thèse de l'Université de Nancy I, 166 p.

WETHE J., RADOUX M. et TANAWA E., 2003 : Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaire et environnemental en zones d'habitat de Yaoundé (Cameroun). Vertigo- La revue électronique en science de l'environnement, Volume 4, numéro 6, Mai 2003, 12 p.

233- **WICKER A., 2000 :** Gestion des déchets dans « Statistiques pour la politique de l'environnement ». 27-28 novembre 2000, Munich, 12 p.

Y

234- **YAO-KOUASSI Q. C., 2010 :** A la recherche d'une synergie pour la gestion des déchets ménagers en Côte d'Ivoire: cas du district d'Abidjan, Thèse de Doctorat, Université du Maine, 305 p.

235- **YEMADJE A. A. S., 2009 :** Problématique d'assainissement de base : Cas de l'arrondissement d'Abomey-Calavi, mémoire de DEA, FLASH/UAC, 71 p.

236- **YEMADJE A. A. S., 2013:** Basic Purification And Management Of Household Waste In The District Of Abomey-Calavi In Benin Republic: Case Of Agamadin, Gbodjo And Tokpa-Zoungo Areas, International Research Journal of Environment Sciences Vol. 2(3), pp. 28-34 .

Z

237- **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). Mémoire de thèse, Ecole Doctorale de Chimie de Lyon, 269 p.

ZIADAT A.H. et MOTT H., 2005: Assessing solid waste recycling opportunities for closed campuses. Management of Environmental Quality: An International Journal 16 (3) : pp. 250–256

238- **ZURBRUGG C. et AHMED R., 1999:** "Enhancing Communauty Motivation and Participation inSolid Waste Management." SANDEC News 4 p.

Sites internet consultés

www.ecologie.gouv.fr : La réduction à la source des déchets (page consultée le 04/10/2013)

http://www.rescof.org/uploads/7/3/4/2/7342459/enterrerlesordures.pdf: Comment enterrer les ordures (Page consultée le15/08/2013)

http://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-415mono.html: Recyclage et valorisation des déchets (page consultée le 04/10/2013)

http://www.wagne.net/devdur/economie/dechet.htm: Freins et développements de la filière biogaz : les besoins en recherche et développement (page consultée le 14/03/2013)

http://www.lebiogaz.info/site/032.html: Les propriétés du biogaz (page consultée le 8/03/2013)

http://saintnicephore.wm.com/documents/Rapport_principal/Rapport_principal_LET_St-Nicéphore_EIE_complet.pdf: (Page consultée le 04/12/ 2012).

http://www.valtom63.fr/Enfouissement-dechets.html: Tri des déchets ménagers et tri sélectionné des déchets (page consultée le 20/09/2012)
http://www.cidst.mg/synthese/004.pdf: (page consultée le 21/08/2012)
http://www.valtom63.fr/Enfouissement-dechets.html: Enfouissement des déchets ultimes (page consultée le 12/08/2012)
www.environnement.gouv.fr: (page consultée le 10/07/2012)
http://itinerairesdecitoyennete.org/journees/developpementdurable/index.php?page=dechets: (page consultée le 10/05/ 2012)

ANNEXES

Annexe 1: Outils de collecte des données

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE DES MENAGES

Arrondissement / quartier: Standing Période: Adresse concession:……..

N°	Questions	Réponses
1.	Qu'entendez-vous par déchet ?	
2.	Disposez-vous de poubelles pour vos déchets?	☐ Oui ☐ Non (aller à la question n°5)
3.	Si oui quel genre de poubelle ?	☐ Bidon étanché ☐ Panier ☐ Sachet ☐ Sac de lin ☐ Plastique ☐ Autres à préciser
4.	Combien de jours faites-vous pour vider vos poubelles ?	☐ chaque jour ☐ 1 fois par semaine ☐ 2 fois par semaine ☐ 3 fois par semaine ☐ Autres à préciser
5.	Où évacuez-vous vos déchets ?	☐ Par les structures de collecte (abonnement) (aller à la question n°13) ☐ Caniveaux ☐ Bas-fonds ☐ Espaces vides (a : sur la cour, b : dernière habitation, c : à proximité de la concession) ☐ Trous perdus ☐ Autres à préciser
6.	Distance du lieu d'habitation au lieu d'évacuation.	☐ Moins de 5 m ☐ 5-10 m ☐ 10-20 m ☐ Autres à préciser

7.	A quelles heures évacuez-vous vos déchets ?	□ Très tôt le matin (préciser l'heure : □ Dans la journée (préciser l'heure : □ Tard la nuit (préciser l'heure :
8.	Pourquoi ces heures ?	
9.	Vous plait-il de vous abonnez ?	□ Oui □ Non (aller à la question n°12)
10.	Si oui combien avez-vous la capacité de payer par mois ?	□ [100-500] □] 500-1000[□] 1000 -2000[□ Autres à préciser
11.	Combien de fois suggérer vous qu'on puisse passer par semaine pour vider vos poubelles ?	□ Chaque jour □ 1 fois par semaine □ 2 fois par semaine □ 3 fois par semaine □ Autres à préciser
12.	Si non pourquoi ?	□ Pas d'argent □ Il y a de dépotoirs à proximité □ Coût élevé de l'abonnement □ Autres à préciser
13.	Si abonné combien payez-vous ?	□ [100-500] □]500-1000] □]1000 -2000] □]2000 -2500] □ Autres à préciser
14.	Combien de fois passent les structures de pré-collecte par semaines pour vider vos poubelles ?	□ Chaque jour □ 1 fois par semaine □ 2 fois par semaine □ 3 fois par semaine □ Autres à préciser
15.	Etes-vous satisfait de leur prestation ?	□ Oui □ Non
16.	Si oui qu'est ce qui vous a émerveillé ?	□ Passe régulièrement □ Sensibilisation □ Moins chers □ Autres à préciser

17.	Si non pourquoi ?	□ Coût élevé de l'abonnement □ Ne passe par régulièrement pour le ramassage □ Ne prennent pas en compte les remarques ou suggestions □ Ne sont pas courtois □ Ne sont pas disciplinés □ Augmentation anarchique du coût d'abonnement □ Ne respecte pas le calendrier de passage □ Autres à préciser.
18.	Tous vos déchets sont-ils jetés systématiquement ?	□ Oui (aller à la question n°22) □ Non
19.	Si non quels sont les déchets qui ne sont pas jetés	□ Bouteilles □ Sachets □ Habits □ Plastiques □ Chaussures □ sacs □ Boîtes de conserve (préciser : □ Boîtes de canette □ Cartons/ Papiers □ Fers □ Restes de nourriture □ Terreaux (fertilisant) □ Autres à préciser
20.	Que faites-vous de ces déchets ?	□ Vendre □ Réutilisés à d'autres fins (préciser) □ Don (Préciser à qui: □ Autres à préciser
21.	Faites-vous le tri des déchets avant d'évacuer les déchets ?	□ Oui □ Non (aller à la question n°20)
22.	Si Oui comment ?	□ Reste des nourritures □ Plastiques et sachets □ Cartons et papiers □ Verres □ Fers □ Déchets putrescibles (Préciser: □ Déchets dangereux (Préciser: □ Autres à préciser
23.	Si non optez-vous pour le tri ?	□ Oui

		□ Non (aller à la question n°24)
24.	Si Oui pourquoi ?	□ Diminuer la quantité des déchets avant évacuation □ Vendre certains □ Réutiliser d'autres □ Autres à préciser
25.	Si non Pourquoi ?	□ Difficile □ Pas le temps □ Pas de moyen pour avoir plusieurs poubelles □ Pas d'espace pour mettre les poubelles □ Autres à préciser
26.	Avez-vous connaissance des nuisances liées aux déchets et dépotoirs?	□ Oui □ Non
27.	Si Oui quelles sont ces nuisances ?	□ Odeurs □ Fumées □ Maladies □ Pollution des eaux de puits □ Pollution des cours et plans d'eau □ Pollution des bas-fonds □ Pollution du sol □ Pollution plantes et cultures □ Autres à préciser
28.	Avez-vous subi une quelconque de ces nuisances dans votre ménage ?	□ Oui □ Non
29.	Si oui quand (préciser le mois et la saison)	□
30.	Si oui lesquelles ?	□ Odeurs □ Fumées □ Maladies (préciser □ Pollution des eaux de puits □ Pollution des cours et plans d'eau □ Pollution du sol □ Pollution plantes et cultures □ Autres à préciser
31.	Que faites vous pour pallier ou réduire ces nuisances ?	
32.	Que pensez-vous qu'on puisse faire pour pallier à ces nuisances ?	□ Installation des bacs à ordures □ Abonnement de tous les ménages

		□ destruction de tous les dépotoirs □ Interdire de jeter les ordures dans les quartiers ou sur les dépotoirs □ Interdire de traiter les déchets par la technique de brûlage ou par enfouissement de façon traditionnelle □ Créer des sites de regroupement □ Créer des sites de décharge □ Sensibiliser
33.	Si installation de bacs à ordures combien dans le quartier?	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
34.	Où peut-on les installer pour faciliter l'évacuation (préciser les lieux et justifier vos choix) ?	
35.	Si site de regroupement combien peut-on installer dans chaque quartier que vous desservez pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ? justifier vos choix.	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
36.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? justifier vos choix.	
37.	Si site de décharge finale où sera t-il installé ? justifier votre choix.	
38.	Comment peut-on parvenir à la destruction des dépotoirs ?	

39.	Quel mode de gestion proposez-vous ou envisagez-vous pour une bonne gestion des déchets dans la Commune ? Justifier votre choix.	
40.	Etes-vous associé aux décisions ou actions menées dans le domaine de la gestion des déchets dans la Commune ?	□ Oui □ Non
41.	Si Oui qui vous a invité ?	□ Mairie □ Chef d'arrondissement □ Chef de quartier ou village □ ONG de pré-collecte des ordures □ Autres à préciser
42.	Qu'est-ce qui a été dit ?	□ Créer des sites de regroupement □ Créer des sites de décharge □ Installation des bacs à ordure □ Autres à préciser
43.	Qu'est-ce qui a été fait ?	□ Créer des sites de regroupement □ Créer des sites de décharge □ Installation des bacs à ordure □ Autre à préciser
44.	Situation matrimoniale :	□ Marié (e) □ Célibataire □ Divorcé (e) □ Veuf (e) □ Séparé (e)
45.	Nombres d'enfants :	□ 1-2 □ 2-4 □ 4-6 □ Plus de 6
46.	Niveau d'instruction :	□ Sans instruction □ Primaire □ Secondaire □ Supérieur
47.	Profession :	□ Agriculture □ Pêcheur □ Eleveur

		☐ Commerçant ☐ Fonctionnaire ☐ Autres à préciser
48.	Ethnie :	☐ Fon ☐ Aïzo ☐ Nagot ☐ Mina ☐ Toffin ☐ Autres à préciser
49.	Type d'habitation :	☐ Dur (a = dalle, b= tôle, c = tulle ☐ Terre de barre ☐ Banco ☐ Tôle
50.	Revenu du ménage ?	☐ Plus de 150000/mois ☐ Entre 50000 et 150000 ☐ Moins de 50000
51.	Quelles sont vos équipements ?	☐ Téléphone ☐ Télévision ☐ Electricité ☐ Eau courante (pompe) ☐ Véhicule ☐ Engin (moto)

QUESTIONNAIRE DES MENAGES PRES DES SITES DE DECHARGE

Arrondissement / Quartier: **Adresse Habitation / ménage:** **Date d'enquête:……**

Nom de l'enquêteur : **Numéro fiche d'enquête: /_/_/_/**

N°	Questions	Réponses
1	Avez-vous connaissances de la présence de dépotoirs d'ordures à proximité de votre habitation ?	☐ Oui ☐ Non
2	Si Oui indique le lieu du dépotoir ou le lieu où tu déverses tes ordures.	
3	Depuis combien de temps ce (s) dépotoirs se trouvent à cet endroit ?	☐ moins de 3 mois ☐ 3 - 6 mois ☐ 7 -12 mois ☐ 1 - 2ans ☐ 3 - 4ans ☐ Plus de 5ans
4	Quelle est la distance du dépotoir par rapport à votre habitation ?	☐ Moins de 5 m ☐ [5 m -10 m] ☐] 10 m-20 m] ☐] 20 m-40 m] ☐] 40 m-60 m] ☐ 60 et plus
	Le lieu est-il public ou privé ?	☐ Privé ☐ Public
	Si privé connaissez-vous le propriétaire ?	☐ Oui (Préciser son nom et son adresse) ☐ Non
5	Existe-il d'autres dépotoirs dans le quartier ?	☐ Oui ☐ Non
6	Si oui à quelle distance se trouve ce (s) dépotoir de votre maison ?	☐ Moins de 5 m ☐ [5 m -10 m] ☐] 10 m-20 m] ☐] 20 m-40 m] ☐] 40 m-60 m] ☐ 60 et plus

	Si Oui indique le (s) lieu (x)	
	Le lieu est-il public ou privé ?	☐ Privé ☐ public
	Si privé connaissez-vous le propriétaire ?	☐ Oui (Précier son nom et son adresse) ☐ Non
7	Qui sont ceux qui déversent les déchets à ces endroits ?	☐ ONG ☐ Ménages ☐ Ménages ONG
8	Si ONG, avec quoi font –elles le transport ?	☐ Charrette ☐ Camion ☐ Bâché ☐ Autres à préciser
	Sont –elles de la Commune ou viennent-elles d'autres Communes ?	☐ Oui ☐ Non ☐ Ne sait pas
9	A quelles heures viennent-elles déverser ?	☐ Tôt le matin ☐ A midi ☐ Le soir
10	Si ménages qui sont ceux qui y déversent ?	☐ enfants (préciser sexe) ☐ adultes (préciser sexe)
11	Quelles sont les pratiques vis-à-vis des dépotoirs ?	☐ Récupération de certains déchets (Préciser les déchets) ☐ Terreau ☐ compost ☐ Comblement des bas-fonds ☐ Espace pour champ ☐ Espace pour jardin ☐ Autres à préciser
12	Quelles sont les méthodes utilisées pour traiter le dépotoir ?	☐ Enfouissent ☐ Technique de brûlage ☐ Rien ☐ Autres à préciser
13	Quelles sont les nuisances que vous crées ce (s) dépotoir (s) ?	☐ Odeurs ☐ Fumées ☐ Maladies (préciser) ☐ Pollution de l'eau de puits ☐ Pollution des cours et plans d'eau ☐ Pollution du sol

		☐ Pollution plantes et cultures ☐ Autres à préciser
14	Pendant quelles saisons sentez-vous plus les nuisances ? (Justifie ta réponse)	☐ Saison sèche ☐ Saison pluvieuse
15	Que pensez – vous qu'on puisse faire pour réduire ces nuisances ?	☐ Installation des bacs à ordure ☐ Abonnement de tous les ménages ☐ Destruction de tous les dépotoirs ☐ Interdire de jeter les ordures des les quartiers ou sur les dépotoirs ☐ Interdire de traiter les déchets par la technique de brûlage ou par enfouissement de façon traditionnelle ☐ Créer des sites de regroupement (Précier les lieux) ☐ Créer des sites de décharge (Précier les lieux) ☐ Sensibiliser
16	Combien de bacs à ordures peut-on installer dans le quartier pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ?	☐ 1-4 ☐ 5-8 ☐ 9-12 ☐ 13-16 ☐ 17-20 ☐ Plus de 20
17	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ?	
18	Disposez-vous d'un puits dans votre concession ?	☐ Oui ☐ Non
19	Si oui buvez-vous l'eau du puits ?	☐ Oui ☐ Non
20	Est-ce la seule eau que vous buvez ?	☐ Oui ☐ Non
21	Si non que faites vous de cette eau ?	☐ Lessive ☐ Vaisselle ☐ Nettoyage ☐ Se laver ☐ Autre à préciser
20	Quelle eau buvez-vous encore ?	☐ Pompe ☐ Marigot ☐ Rivière
21	Avez-vous traité une fois votre eau du puits ?	☐ Oui ☐ Non

	Qui l'a fait ?	☐ Agent d'assainissement ☐ ONG ☐ Ménage ☐ Autres à préciser
22	Si oui quand ?	☐ 1-4 mois ☐ 5-8 mois ☐ 9-12 ☐ Plus d'un an
23	Avec quoi ?	☐ Eau de javel ☐ Autres à préciser
24	Si non accepterez-vous qu'on analyse votre eau de puits ?	☐ Oui ☐ Non
25	Accepteriez-vous qu'on vous fasse quelques examens cliniques ?	☐ Oui ☐ Non
26	Situation matrimoniale	☐ Marié (e) ☐ Célibataire ☐ Divorcé (e) ☐ Veuf (e) ☐ Séparé (e)
27	Niveau d'instruction	☐ Sans instruction ☐ Primaire ☐ Secondaire ☐ supérieur
28	Profession	☐ Agriculture ☐ Pêcheur ☐ Eleveur ☐ Commerçant ☐ Fonctionnaire ☐ Autre à préciser
29	Ethnie	☐ Fon ☐ Aïzo ☐ Nagot ☐ Mina ☐ Toffin ☐ Autres à préciser

QUESTIONNAIRE DES MENAGES DE LA ZONE TEMOIN

Arrondissement / Quartier:

Adresse habitation:

N° de téléphone / ménage:

Nom de l'enquêteur:

Numéro fiche d'enquête: /_/_/

Date d'enquête:

N°	Questions	Réponses
1.	Existe-il un endroit où on déverse les déchets dans votre zone ?	□ Oui □ Non
2.	Si oui indique le lieu (préciser la nature du dépotoir)	
3.	Votre ménage déverse t-il à cet endroit ?	□ Oui □ Non
4.	Si non où déversez-vous vos déchets (préciser la nature du dépotoir)	
5.	Quelle est la technique utilisée pour traiter le dépotoir ?	□ Technique de brûlage □ Nettoyage □ Rien □ Autres à préciser
6.	Préciser la distance du dépotoir par rapport à votre concession ?	□ 0-100 m □ 100-200 m □ Plus de 200 m
7.	Depuis combien de temps ce (s) dépotoir (s) se trouve (ent) à cet endroit.	□ moins de 3 ans □ 3 - 6 ans □ 7 -12 ans □ 13 – 16 ans □ 17 – 20 ans □ Plus de 20 ans
8.	Que pensez-vous qu'on peut faire pour une bonne gestion des déchets	
9.	Quelles sont les maladies dont vous avez souffert les huit derniers mois (si possible voir carnet de soins)	□ Paludisme □ Diarrhée □ Fièvre typhoïde □ Dysenterie □ Choléra □ Autres à préciser
10.	Quelles sont les maladies dont vous souffrez fréquemment ?	□ Paludisme □ Diarrhée

		□ Fièvre typhoïde □ Dysenterie □ Choléra □ Autres à préciser
11.	Pendant quelles saisons sentez-vous plus ces maladies? (Justifie ta réponse)	□ Grande saison pluvieuse (préciser le (s) mois □ Petite saison pluvieuse (préciser le (s) mois □ Grande saison sèche (préciser le (s) mois □ Petite saison sèche (préciser le (s) mois
12.	Pourquoi ces maladies sont elles fréquentes pendant cette saison ?	
13.	Accepteriez-vous qu'on vous fasse un bilan de santé en vous examinant et en prélevant votre sang pour des analyses au laboratoire ?	□ Oui □ Non
14.	Disposez-vous de puits dans votre concession ?	□ Oui □ Non (aller à la question 23)
15.	Si oui que faites vous avec cette eau ?	□ Lessive □ Boisson □ Vaisselle □ Nettoyage □ Se laver □ Préparation à la cuisine □ Autres à préciser
16.	Si oui l'eau change-t-elle de couleur ?	
17.	Si oui quelles sont les couleurs à chaque saison	
18.	A part la couleur quels autres indices montre la pollution de l'eau ?	
19.	Quelle est la source de ces indices ?	
20.	Avez-vous traité une fois votre eau du puits?	□ Non □ Oui
21.	Si oui avec quoi ?	
22.	Qui a fait le traitement ?	□ Ménages □ Agents d'hygiène □ Autres à préciser
23.	Si non quelle eau utilisez-vous ?	□ Pompe □ Eau de puits du voisin □ Lac
24.	Si non pourquoi ?	

25.	Situation matrimoniale	☐ Marié (e) ☐ Célibataire ☐ Divorcé (e) ☐ Veuf (e) ☐ Séparé (e)
26.	Nombre d'enfants	☐ 1 (préciser les âges) ☐ 2 (préciser les âges) ☐ 3 (préciser les âges) ☐ 4 (préciser les âges) ☐ 5 (préciser les âges) ☐ 6 (préciser les âges) ☐ 6 et plus (préciser les âges)
27.	Niveau d'instruction	☐ Sans instruction ☐ Primaire ☐ Secondaire ☐ supérieur
28.	Profession	☐ Agriculture ☐ Pêcheur ☐ Eleveur ☐ Commerçant ☐ Fonctionnaire ☐ Autres à préciser
29.	Ethnie	☐ Fon ☐ Aïzo ☐ Nagot ☐ Mina ☐ Toffin ☐ Autres à préciser
30.	Type d'habitation	☐ Dur (a = dalle, b= tôle, c = tuille) ☐ Terre de barre ☐ Banco ☐ Tôle

GUIDE D'ENTRETIEN POUR ONG

Arrondissement / Quartier Nom de la structure ou ONG: Nom de l'enquêté Date de l'enquête:……

N°	Questions	Réponses
1.	Quelle est la date de création de l'ONG ?	
2.	Quand avez-vous installé cette ONG dans la Commune d'Abomey-Calavi ?	
3.	Quels sont vos objectifs ?	
4.	Comment sont gérés les déchets dans la Commune ?	
5.	Quelle est l'historique de la gestion des déchets dans la Commune ?	
6.	Quelles sont vos zones d'intervention ou les quartiers que vous desservez ?	
7.	Quels sont les critères de choix des zones ?	
8.	Quels sont les quartiers salubres ?	
9.	Quels sont les quartiers moyennement salubres ?	
10.	Quels sont les quartiers insalubres ?	
11.	Quels sont les critères qui vous ont permis de faire cette subdivision des quartiers ?	
12.	Quelles sont les caractéristiques des quartiers ?	
13.	Quel est le nombre d'abonnés dans votre structure ?	
14.	Quel est le nombre d'abonnés par quartier ?	
15.	Combien paye par mois un abonné ?	□ 1500 □ 2000 □ 2500 □ Plu de 2500 (à préciser)
16.	Quels sont les critères de variation des prix ?	
17.	Comment organisez-vous la pré-collecte ?	
18.	Quels sont vos moyens de transport ?	□ Charrette manuelle □ Charrette motorisée □ Engin □ Véhicule □ Autres à préciser
19.	Quels sont les circuits du transport ?	
20.	Combien de tours faites-vous par jour ?	□ 1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ Plus de 5 tours (préciser le nombre de tours
21.	quelle quantité de déchets collectez-vous par jour ?	□ 300 kg

		□ 400 kg □ 500 kg □ 600 kg □ Autres à préciser
22.	Quels sont vos sites de décharges (préciser le quartier) ?	
23.	Où se trouvent-ils ?	□ Dans un bas-fond □ Espace non occupé □ Puits perdu □ Trou □ Autres à préciser
24.	Qu'est ce qui explique le choix de ces sites ?	
25.	A quelle distance se trouvent ces sites des habitations?	□ Moins de 5 m □ [5 m -10 m] □] 10 m-20 m] □] 20 m-40 m] □] 40 m-60 m] □ 60 et plus
26.	Le lieu est-il public ou privé ?	□ Privé □ Public
27.	Si privé connaissez-vous les propriétaires ?	□ Oui (Préciser son nom et son adresse) □ Non
28.	Sont-ils d'accord ?	□ Oui □ Non □ Sans consentement □ Autres à préciser
29.	Si oui quel est le contrat ?	□ Payer par mois (préciser montant) □ Remblayer le trou □ Combler le bas-fond □ A des fins agricoles □ Autres à préciser
30.	Savez-vous qu'il y a des réglementations au Bénin sur la manière de gérer les DSM	□ Oui □ Non
31.	Si oui, qu'est-ce que vous savez de cette réglementation existante	
32.	Respectez-vous ces lois ?	□ Oui □ Non
33.	Si non pourquoi ?	
34.	Tous les déchets collectés sont-ils convoyés vers les sites de décharges ?	□ Oui (aller à la question n°35) □ Non
35.	Si non quels sont ces déchets ?	
36.	Que faites vous de ces déchets ?	

37.	Si rien que pensez-vous faire de ces déchets ?	
38.	Si rien quelles sont les raisons de tri ?	
39.	Quelles sont vos techniques de traitement des déchets ?	☐ Enfouissement ☐ Technique de brûlage ☐ Rien ☐ Autres à préciser
40.	Combien de temps environ faites-vous avant de faire le traitement ?	☐ Moins d'un mois ☐ 1 mois ☐ 2 mois ☐ 3 mois ☐ 4 mois ☐ 5 mois ☐ Autres à préciser
41.	A quel moment de la journée faites-vous le traitement ?	☐ Tôt le matin (préciser l'heure) ☐ Dans l'après-midi (préciser l'heure) ☐ Le soir (préciser l'heure)
42.	Quelles sont les raisons du choix de ces heures ?	☐
43.	Savez-vous que les dépotoirs et les modes de traitements que vous avez adoptés sont nuisibles pour l'environnement et la santé des populations ?	☐ Oui ☐ Non
44.	Si oui quelles sont les nuisances que vous avez notées dans la Commune (sur l'environnement) ?	☐ Odeurs ☐ Fumées ☐ Pollution de l'eau de puits ☐ Pollution des cours et plans d'eau ☐ Pollution du sol ☐ Pollution plantes et cultures ☐ Autres à préciser
45.	Quelles sont les nuisances que vous avez notées dans la Commune (sur la santé) ?	☐ Maladies (préciser) ☐ Autres à préciser
46.	Quelles sont les actions que vous menées pour pallier ou réduire ces nuisances dans la Commune ?	
47.	Quelles sont les difficultés que vous rencontrez ?	
48.	Recevez-vous les plaintes des ménages ou des propriétaires ?	☐ Oui ☐ Non
49.	Si oui que disent-ils ?	
50.	Que faites vous pour satisfaire leurs plaintes ?	
51.	Que pensez-vous qu'on peut faire pour pallier ces nuisances ?	☐ Installation des bacs à ordures ☐ Abonnement de tous les ménages ☐ Destruction de tous les dépotoirs ☐ Interdire de jeter les ordures sur les dépotoirs sauvages ☐ Interdire de traiter les déchets par la technique de brûlage ou par enfouissement de façon traditionnelle

		□ Créer des sites de regroupement (Préciser les lieux) □ Créer des sites de décharge (Préciser les lieux □ Sensibiliser
52.	Si installation bacs à ordures combien peut-on installer dans chaque quartier que vous desservez pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ? justifier vos choix.	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
53.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? justifier vos choix.	
54.	Si site de regroupement combien peut-on installer dans chaque quartier que vous desservez pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ? justifier vos choix.	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
55.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? justifier vos choix.	
56.	Si site de décharge finale où sera t-il installé ? justifier vos choix.	
57.	Comment peut-on parvenir à la destruction des dépotoirs ?	
58.	Quel mode de gestion proposez-vous ou envisagez-vous pour une bonne gestion des déchets dans la Commune ? Justifier votre choix.	
59.	Quelles sont vos relations avec les autorités locales ?	
60.	Etes-vous associé aux décisions et aux actions menées dans le domaine de gestion des déchets dans la Commune ?	□ Oui □ Non
61.	Si non pourquoi ?	
62.	Si oui qu'elles sont ces décisions ou les actions ?	
63.	Qu'est ce qui est fait ?	
64.	Qu'est ce qui est en projet ?	
65.	Est-ce que vous associez les ménages aux débats et aux actions que vous menez ou en projet dans le domaine de la gestion des déchets ? (préciser si ce sont les abonnés seulement ou tous les ménages)	□ Oui □ Non
66.	Si non pourquoi ?	
67.	Si oui quels sont ces débats et ces actions?	
68.	Ces actions sont prometteuses pour atteindre ou parvenir à une meilleure gestion des déchets dans la Commune ?	□ Oui □ Non
69.	Si non que peut on faire pour parvenir à une meilleure gestion des déchets dans la Commune ?	

GUIDE D'ENTRETIEN AUTORITES LOCALES (Mairie)

Nom de l'enquêté: Nom de l'enquêteur: Date d'enquête:

N°	QUESTIONS	REPONSES
1.	Peut-on subdiviser la Commune en des quartiers de haut, de moyen et de bas standing ?	□ Oui □ Non
2.	Si oui Quels sont les quartiers de haut standing par arrondissement ?	
3.	Quels sont les quartiers de moyen standing par arrondissement ?	
4.	Quels sont les quartiers de bas standing par arrondissement ?	
5.	Quels sont les critères qui vous ont permis de faire cette subdivision des quartiers ?	
6.	Si non pourquoi ?	
7.	Quels sont les quartiers défavorisés ?	
8.	Quels sont les critères qui vous ont permis d'identifier ces quartiers ?	
9.	Comment sont gérés les déchets dans la Commune votre arrondissement ?	Réponse (verso)
10.	Quelle est l'historique de la gestion des déchets dans la Commune ?	Réponse (verso)
11.	Avez-vous connaissance de la présence de dépotoirs d'ordures dans la Commune ?	□ Oui □ Non
12.	Si oui quels sont les sites de dépotoirs?	
13.	Qu'est ce qui explique la présence de ces sites dans la Commune ?	
14.	Les domaines sur lesquels sont installés ces dépotoirs portent t-ils le nom d'un individu, d'une famille ou de l'Etat?	□ Individu □ Famille □ Etat
15.	Si famille ou individus précise leurs adresses.	
16.	Ces sites sont-ils autorisés par la mairie ?	□ Oui □ Non

17.	Si oui quels sont les aménagements que vous avez faits avant l'installation de ces sites ?	
18.	Si non que faites-vous pour mettre fin à la prolifération des dépotoirs sauvages dans la Commune ?	
19.	Comment peut-on parvenir à la destruction des dépotoirs dans la Commune ?	
20.	Recevez-vous des plaintes des ménages ou des propriétaires sur les sites de dépotoirs ?	□ Oui □ Non
21.	Si oui que disent-ils ?	
22.	Que faites-vous pour satisfaire leurs plaintes ?	
23.	Savez-vous que les dépotoirs sont nuisibles pour l'environnement et la santé des populations ?	□ Oui □ Non
24.	Si oui quelles sont les nuisances que vous avez notées dans votre arrondissement (sur l'environnement) ?	□ Odeurs □ Fumées □ Pollution de l'eau de puits □ Pollution des cours et plans d'eau □ Pollution du sol □ Pollution plantes et cultures □ Autres à préciser
25.	Quelles sont les nuisances que vous avez notées dans votre arrondissement (sur la santé) ?	□ Maladies (préciser) □ Autres à préciser
26.	Que faites vous pour pallier ou réduire ces nuisances dans l'arrondissement ?	
27.	Que pensez-vous qu'on peut faire pour pallier ces nuisances ?	□ Installation des bacs à ordures □ Abonnement de tous les ménages □ Destruction de tous les dépotoirs □ Interdire de jeter les ordures sur les dépotoirs sauvages □ Interdire de traiter les déchets par la technique de brûlage ou par enfouissement de façon traditionnelle □ Créer des sites de regroupement (Préciser les lieux) □ Créer des sites de décharge (Préciser les lieux)

		□ Sensibiliser
28.	Si non pourquoi?	
29.	Si bacs à ordures combien peut-on installer dans chaque quartier pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ? justifier le choix.	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
30.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? justifier le choix	
31.	Comment pourriez-vous parvenir à la destruction des dépotoirs ?	
32.	Que pensez-vous de la décharge finale de hêvié ?	
33.	Qu'est-ce qui est fait à l'endroit de cette décharge pour réduire ces nuisances ?	
34.	Qu'est-ce qui est en projet ?	
35.	Avez-vous des relations avec les ONG de pré-collecte des ordures dans la Commune ou avec leur association COSGAC ?	□ Oui □ Non
36.	Si Oui quelles sont ces relations ?	
37.	Si non pourquoi ?	
38.	Les ménages sont-ils aussi pris en compte dans les décisions ou actions menées dans le cadre de la gestion des déchets dans la Commune ?	□ Oui □ Non
39.	Si Oui qu'est-ce qui est fait avec les ménages ?	
40.	Qu'est-ce qui reste à faire ?	
41.	Si Non pourquoi ?	

GUIDE D'ENTRETIEN AUTORITES LOCALES (Chefs quartiers et villages)

Arrondissement / Quartier: **Nom de l'enquêté:** **Nom de l'enquêteur:**

Date d'enquête: **Numéro de la fiche d'enquête: /_/_/**

N°	QUESTIONS	REPONSES
1.	Quelles sont les limites de votre quartier ?	
2.	Quel est le centre de votre quartier ?	
3.	Comment sont gérés les déchets dans votre quartier?	
4.	Quelle est l'historique de la gestion des déchets dans le quartier ?	Réponse verso
5.	Avez-vous connaissance de la présence de dépotoirs d'ordures dans le quartier?	□ Oui □ Non
6.	Si oui quels sont les sites de dépotoirs?	□
7.	Depuis combien de temps ce (s) dépotoir (s) se trouve (nt) à cet endroit ?	□ moins de 3 mois □ 3 - 6 mois □ 7 -12 mois □ -1 - 2ans □ 3 - 4ans □ Plus de 5ans
8.	Qui sont ceux qui déversent les déchets à ces endroits ?	□ ONG □ Ménages □ Ménages et ONG
9.	Qu'est ce qui explique la présence de ces sites dans l'arrondissement ?	
10.	Les domaines sur lesquels sont installés ces dépotoirs portent t-ils le nom d'un individu, d'une famille ou de l'Etat?	□ Individu □ Famille □ Etat
11.	Si famille ou individus précise leurs adresses.	
12.	Ces sites sont-ils autorisés par le chef quartier ou	□ Oui

	village ?	□ Non
13.	Si oui quels sont les aménagements que vous avez faits avant l'installation de ces sites ?	
14.	Si non que faites-vous pour mettre fin à la prolifération des dépotoirs sauvages dans votre quartier ?	
15.	Comment peut-on parvenir à la destruction des dépotoirs dans votre quartier ?	
16.	Recevez-vous des plaintes des ménages ou des propriétaires sur les sites de dépotoirs ?	□ Oui □ Non
17.	Si oui que disent-ils ?	
18.	Que faites-vous pour satisfaire leurs plaintes ?	
19.	Savez-vous que les dépotoirs sont nuisibles pour l'environnement et la santé des populations ?	□ Oui □ Non
20.	Si oui quelles sont les nuisances que vous avez notées dans votre quartier (sur l'environnement) ?	□ Odeurs □ Fumées □ Pollution de l'eau de puits □ Pollution des cours et plans d'eau □ Pollution du sol □ Pollution plantes et cultures □ Autres à préciser
21.	Quelles sont les nuisances que vous avez notées dans votre quartier (sur la santé) ?	□ Maladies à préciser □ Autres à préciser
22.	Que faites vous pour pallier ou réduire ces nuisances dans votre quartier ?	
23.	Que pensez-vous qu'on peut faire pour pallier à ces nuisances dans le quartier ?	□ Installation des bacs à ordures □ Abonnement de tous les ménages □ Destruction de tous les dépotoirs □ Interdire de jeter les ordures sur les dépotoirs sauvages □ Interdire de traiter les déchets par la technique de brûlage ou par enfouissement de façon traditionnelle □ Créer des sites de regroupement (Préciser les lieux) □ Créer des sites de décharge (Préciser les lieux) □ Sensibiliser

24. le	Si bacs à ordures combien peut-on installer dans le quartier pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ?	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
25.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? Justifier vos choix).	
26.	Si site de regroupement combien peut-on installer dans le quartier pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ?	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
27.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? Justifier vos choix.	
28.	Si site de décharge Où peut-on l'installer dans la Commune (préciser le lieu) ? Justifier vos choix.	
29.	Avez-vous des relations avec les ONG de pré-collecte des ordures dans le quartier ou avec leur association COSGAC?	□ Oui □ Non
30.	Si Oui quelles sont ces relations ?	
31.	Si non pourquoi ?	
32.	Participez-vous aux activités ou actions dans le cadre de la gestion des déchets dans le quartier ou la Commune ?	□ Oui □ Non
33.	Si oui qu'est ce qui est fait ?	
34.	Si non pourquoi ?	
35.	Les ménages participent-ils aussi ?	□ Oui □ Non
36.	Si non pourquoi ?	

GUIDE D'ENTRETIEN AUTORITES LOCALES (Chefs d'arrondissement)

Arrondissement: **Nom de l'enquêteur:** **Date d'enquête:……..**

N°	QUESTIONS	REPONSES
1.	Combien de quartiers de villes ou villages compte l'arrondissement ?	
2.	Peut-on subdiviser la Commune en des quartiers de haut, de moyen et de bas standing ?	
3.	Si oui quels sont les quartiers de haut standing ?	
4.	Quels sont les quartiers de moyen standing ?	
5.	Quels sont les quartiers de bas standing ?	
6.	Quels sont les critères qui vous ont permis de faire cette subdivision des quartiers ?	
7.	Quels sont les quartiers défavorisés ?	
8.	Quels sont les critères qui vous ont permis de faire cette appréciation ?	
9.	Comment sont gérés les déchets dans votre arrondissement ?	
10.	Quelle est l'historique de la gestion des déchets dans l'arrondissement ?	
11.	Avez-vous connaissance de la présence de dépotoirs d'ordures dans l'arrondissement ?	□ Oui □ Non
12.	Si oui quels sont les sites de dépotoirs ?	
13.	Qu'est ce qui explique la présence de ces sites dans l'arrondissement ?	
14.	Ces sites sont-ils publics ou privés ?	□ Public □ Privé
15.	Ces sites sont-ils autorisés par l'arrondissement ?	□ Oui □ Non
16.	Si oui quels sont les aménagements que vous avez faits	

	avant l'installation de ces sites ?	
17.	Si non que faites-vous pour mettre fin à la prolifération des dépotoirs sauvages dans votre arrondissement ?	
18.	Comment peut-on parvenir à la destruction des dépotoirs dans l'arrondissement ?	
19.	Recevez-vous des plaintes des ménages ou des propriétaires sur les sites de dépotoirs ?	□ Oui □ Non
20.	Si oui que disent-ils ?	
21.	Que faites-vous pour satisfaire leurs plaintes ?	
22.	Savez-vous que les dépotoirs sont nuisibles pour l'environnement et la santé des populations ?	□ Oui □ Non
23.	Si oui quelles sont les nuisances que vous avez notées dans votre arrondissement (sur l'environnement) ?	□ Odeurs □ Fumée □ Pollution de l'eau de puits □ Pollution des cours et plans d'eau □ Pollution du sol □ Pollution plantes et cultures □ Autres à préciser
24.	Quelles sont les nuisances que vous avez notées dans votre arrondissement (sur la santé) ?	□ Maladies (préciser) □ Autres à préciser
25.	Que faites-vous pour pallier ou réduire à ces nuisances dans l'arrondissement ?	
26.	Que pensez-vous qu'on peut faire pour pallier ces nuisances ?	□ Installation des bacs à ordures □ Abonnement de tous les ménages □ Destruction de tous les dépotoirs □ Interdire de jeter les ordures sur les dépotoirs sauvages □ Interdire de traiter les déchets par la technique de brûlage ou par enfouissement de façon traditionnelle □ Créer des sites de regroupement (Préciser les lieux) □ Créer des sites de décharge (Préciser les lieux) □ Sensibiliser
27.	Si bacs à ordures combien peut-on installer dans chaque quartier pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ?	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20

		□ Plus de 20
28.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? Justifier vos choix.	
29.	Si site de regroupement combien peut-on installer dans chaque quartier pour éviter la présence ou la multiplication de dépotoirs ?	□ 1-4 □ 5-8 □ 9-12 □ 13-16 □ 17-20 □ Plus de 20
30.	Où peut-on les installer (préciser les lieux) ? Justifier vos choix.	
31.	Si site de décharge : Où peut-on l'installer dans la Commune (préciser le lieu) ? Justifier vos choix.	
32.	Comment peut-on parvenir à la destruction des dépotoirs ?	
33.	Quel mode de gestion proposez-vous ou envisagez-vous pour une bonne gestion des déchets dans la Commune ? Justifier votre choix.	
34.	Avez-vous des relations avec les ménages ou les ONG de pré-collecte des ordures ou bien avec leur association (COSGAC) dans le cadre de la gestion des déchets dans l'arrondissement?	□ Oui □ Non
35.	Si oui quelles sont ces relations ?	
36.	Si non pourquoi ?	

GRILLE D'OBSERVATION DES SITES SE DEPOTOIRS ORDURES

Arrondissement / Quartier: **Date d'enquête:** **Numéro de la fiche d'enquête:** **Nom de l'enquêteur:**

N°	Renseignements sur les sites de dépotions et la décharge finale	Notes
1	Numéro du dépotoir	
2	Coordonnée géographique du dépotoir	
3	Localisation du dépotoir à partir d'autre indication dans le quartier	
4	Superficie occupée par le dépotoir	
5	Volume du dépotoir	
4	Distance du dépotoir des habitations	
6	Adresse des habitations (indice pour répérer les habitations)	
7	Présence de puits dans les habitations (Préciser les habitations et coordonnées géographiques des puits)	
8	Présence du bas-fond à proximité du dépotoir	
9	Dépotoir situé dans une zone inondable	
10	Présence des cours et plan d'eau à proximité des dépotoirs (Préciser nom des cours ou plan d'eau)	
11	Distance de ces plans et cours d'eau à proximité des dépotoirs	
12	Présence d'animaux, insectes ; rats ; des enfants..…. (à préciser)	
13	Précise ce que l'enfant fait sur le dépotoir	
14	Présence des agents récupérateurs sur le dépotoir sauvage (précise enfant, adulte)	
15	Objets récupérés (préciser)	
16	Présence des champs ou jardins à proximité ou sur les dépotoirs (à préciser)	
17	Présence de personne qui défèque sur le dépotoir	
18	Mélange déchets et eaux usées	

Annexe 2: Résultats des analyses

Résultats des analyses des eaux de puits

					Paramètres physiques		
Secteurs d'études	**Adresse des décharges**	**Puits**	**Profondeurs des puits**	**Distance des puits par rapport aux dépotoirs**	**pH**	**Conductivité (µS/cm)**	**Oxygène Dissous (mg/l)**
Zone témoin	**TEM**	**P1**	22,45	Pas de dépotoir	5,7	90	8,4
		P2	21,8	Pas de dépotoir	5,8	300	7,1
		P3	24,23	Pas de dépotoir	6,2	247	8,1
Arrondissement d'Abomey-Calavi	**DCF**	**P4**	13,53	18	4,5	394	10,2
		P5	13,02	37	4,9	198	11,4
		P6	13,45	86	3,4	526	12,2
	DCH	**P7**	1,55	21	5,8	231	9,4
		P8	4,58	24	6,9	477	10,6
		P9	6,9	27	3,53	510	11,2
	DCC	**P10**	14,64	32	4,5	82	11,5
		P11	13,71	33	4,7	228	12,3
		P12	12,2	55	4,5	253	13,5
Arrondissement de Godomey	**DGE**	**P13**	1,51	45	6,7	613	5,4
		P14	2,22	54	5,9	414	8,1
		P15	1,4	65	6,4	522	5,2
	DGH	**P16**	6,88	51	6,7	475	7,5
		P17	6,15	94	6,2	268	10,6
		P18	6,99	133	5,6	163	9,8
	DGP	**P19**	4,7	20	6,3	368	11,6
		P20	5,62	28	6,1	366	10
		P21	3,7	39	6	143	12,1

Résultats des analyses des eaux de puits (suite)

					Paramètres chimiques			Paramètres toxicologiques			
Secteurs d'étude	**Adresse des décharges**	**Puits**	**Profondeurs des puits**	**Distance des puits par rapport aux dépotoirs**	**DCO (mg/l)**	**DBO5 (mg/l)**	**NTK (mg/l)**	**Ni (mg/l)**	**Cd (mg/l)**	**Cu (mg/l)**	**Pb (mg/l)**
Zone témoin	**TEM**	**P1**	22,45	Pas de dépotoir	7,1	5	0	0,001	nd	nd	nd
		P2	21,8	Pas de dépotoir	6,3	6	0,56	0,0001	nd	nd	nd
		P3	24,23	Pas de dépotoir	5,12	3	0	nd	nd	0,0073	nd
Arrondissement d'Abomey-Calavi	**DCF**	**P4**	13,53	18	10,21	7	2,8	nd	nd	0,0011	nd
		P5	13,02	37	7,12	7	0	nd	nd	nd	nd
		P6	13,45	86	4,5	2	0	0,0003	nd	nd	nd
	DCH	**P7**	1,55	21	33,02	8	1,4	0,0014	nd	0,0054	nd
		P8	4,58	24	19,4	4	0	nd	nd	0,0053	nd
		P9	6,9	27	6,8	6	0	nd	nd	0,0032	nd
	DCC	**P10**	14,64	32	9,56	7	0	0,0028	nd	0,0035	nd
		P11	13,71	33	7,67	6	0	nd	nd	nd	nd
		P12	12,2	55	6,7	6	0	nd	nd	0,0038	nd
Arrondissement de Godomey	**DGE**	**P13**	1,51	45	44,1	9	0	nd	nd	nd	nd
		P14	2,22	54	9,1	7	0	0,0006	nd	0,029	nd
		P15	1,4	65	15,7	7	1,68	0,006	nd	0,018	nd
	DGH	**P16**	6,88	51	9,74	7	0	nd	nd	0,0029	nd
		P17	6,15	94	7,09	7	2,24	0,0011	nd	nd	nd
		P18	6,99	133	7,89	5	0	nd	nd	nd	nd
	DGP	**P19**	4,7	20	9,17	7	0	nd	nd	0,0025	nd
		P20	5,62	28	10,04	8	0	nd	nd	nd	0,0234
		P21	3,7	39	6,42	6	0	nd	nd	0,0025	nd

Résultats des analyses des eaux superficielles

Paramètres	Eau du lac Nokoué (Agamadin)	Eau de la lagune de Djonou (Dégbomey)	Eau de la lagune de Djonou (houédonou)
pH	5,8	6,4	6,3
Conductivité (µS/cm)	178	485	2279
OD (mg/l)	4,1	1,4	
DCO (mg/l)	980	529	3138
DBO5 (mg/l)	100	40	300
NTK (mg/l)	10,08	24,46	nd
Cu (mg/l)	0,0071	0,0154	nd
Ni (mg/l)	nd	nd	nd
Pb (mg/l)	nd	nd	nd
Cd (mg/l)	nd	nd	nd

Résultats des analyses des échantillons de sols dans la zone témoin

		TEM 1			TEM 2			TEM 3		
	Paramètres	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**
	pH	5,8	5,2	5,2	6,4	6,4	5,8	6,4	5,8	5,5
	Cond (µS/cm)	33	14	15	39	20	23	36	17	19
	OD (mg/l)	7,1	7,5	7,9	6,7	8,1	8,7	6,9	7,8	8,3
	DCO (mg/l)	36,5	21,3	9,1	38,8	17,28	9,72	37,65	19,79	9,41
	DBO5 (mg/l)	0	0	0	0	0	0	7	6	8
	NTK (mg/l)	4	0	0	3,84	0	0	3,92	0	0
Lixiviats	Ni (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Nd	nd	nd
	Cu (mg/l)	0,02	0,021	0,024	0,01	0,011	0,016	0,015	0,016	0,02
	Pb (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Minéralisâts	Ni (mg/l)	2,2	2,1	4,62	1,73	1,59	4,244	1,92	1,848	4,432
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Cu (mg/l)	0	0	0	0	0	0	4,983	1,016	14,13
	Pb (mg/l)	3,8	0,75	9,5	4,49	0,96	11,66	4,147	0,874	10,58

Résultats des analyses des échantillons de sols des sites de décharge de l'arrondissement d'Abomey-Calavi

		DCH			DCF			DCC		
	Paramètres	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**
	pH	5,2	4,8	3,9	6,7	7,22	6,96	6,93	6,7	6,2
	Cond (µS/cm)	314	301	268	214	146	121	291	190	81
	OD (mg/l)	1,9	4,4	5,9	5,4	5	7,6	6,8	7,5	6,2
	DCO (mg/l)	3915,53	3760,82	1118,45	837,65	237,53	169,41	246,99	142,22	112,94
	DBO5 (mg/l)	50	100	0	20	10	10	10	12	4
	NTK (mg/l)	1,96	16,8	5,04	3,36	1,2	0,56	0,56	0	2,8
Lixiviats	Ni (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Cu (mg/l)	0,0067	0,0263	0,0272	0,0259	0,0293	0,0169	0,0281	0,0179	0,0052
	Pb (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Minéralisâts	Ni (mg/l)	2,68	2,101	1,643	4,635	3,6	6,472	2,846	2,162	1,837
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	0,5	nd	nd	nd	nd	nd
	Cu (mg/l)	7,23	1,155	3,6	13,171	6,624	24,127	7,287	0,877	3,608
	Pb (mg/l)	3,238	nd	0,839	1,66	2,179	13,759	4,702	0,178	2,727

Résultats des analyses des échantillons de sols des sites de décharges de l'arrondissement de Godomey

		DGH			DGE			DGP		
	Paramètres	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**	**0 cm**	**20 cm**	**100 cm**
	pH	7,27	6,3	6,69	6,49	5,5	6,1	6,88	6,5	6,7
	Cond (µS/cm)	273	55	53	202	41	50	463	486	324
	OD (mg/l)	4	8,1	7,3	2,4	6,8	8,4	2,7	3	7,8
	DCO (mg/l)	521,94	84,71	74,56	1975,92	781,18	205,05	1099,81	865,58	316,89
	DBO5 (mg/l)	10	12	20	50	40	15	60	40	15
	NTK (mg/l)	0,56	3,92	1,12	13,44	0	0	15,68	0,5	1,4
Lixiviats	Ni (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Cu (mg/l)	0,0359	0,0283	0,0198	0,0167	0,0195	0,0152	0,0197	0,015	0,0107
	Pb (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Minéralisâts	Ni (mg/l)	2,736	1,568	0,338	1,66	0,079	0,151	nd	5,25	2,2
	Cd (mg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	1,55	nd	nd	nd
	Cu (mg/l)	15,19	nd	0,18	0,695	nd	0,399	nd	6,727	6,434
	Pb (mg/l)	2138,23	0,216	nd	nd	0,79	0,747	nd	1,593	5,513

Annexe3 :

Annexe3a : Normes utilisées pour l'appréciation des résultats d'analyse

Tableau XXXI : Valeurs limites des paramètres étudiés au niveau des lixiviats des décharges, des sols, des eaux superficielles et souterraines.

	Norme lixiviat	**Norme eau superficielle**	**Norme eau de consommation**	**Norme sol normal**	**Norme sol AFNOR**
pH	5,5-8,5	5 à 9	6,5-8,5		
Cond (µS/cm)	2100	1500	400		
OD (mg/l)	> 5	>5	>5		
DCO (mg/l)	125	<125	<10		
DBO5 (mg/l)	30	<30	<5		
NTK (mg/l)	30	6	1		
Ni (mg/l)	1	0,05	0,02	50	50
Cd (mg/l)	0,1	0,001	0,005	0,35	2
Cu (mg/l)	1	0,05	2	30	100
Pb (mg/l)	0,1	0,05	0,05	0,35	100

Sources :

Norme lixiviat *(Référence réseau des CET du 07/10/10, Bietlot et al, 2013 et réglementation sur les déchets solides)*

Norme eau superficielle (*Arrêté du 1er mars 1993 (France) sur la qualité des eaux superficielles).*

Normes eau de consommation *(Décret N° 2001-094 du 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin et les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécutité en matière d'eau potable.*

Norme sol (*norme française, AFNOR NF U 44-041)*

Norme sol normal (*Bowen, 1979 cité par KAO, 2007)*

Annexe3b : Masse minimale de tamisât nécessaire en fonction de la dimension d'ouverture des mailles du tamis

Tableau XXXII : Masse minimale de tamisât nécessaire en fonction de la dimension d'ouverture des mailles du tamis

Tamis (mm)	1	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	d > 80 mm
Masse de sol (Kg)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	$m = 6.10^{6}.d^{3,66}$
Diamètre des montures des tamis	≥ 200 mm					≥ 250 mm							≥3 15 mm		

Annexes 4: Table de tri et étapes de tri par taille puis par catégorie



Photo 41: Table de tri



Photo 42 : Maille 100 mm



Photo 43 : Maille 20 mm

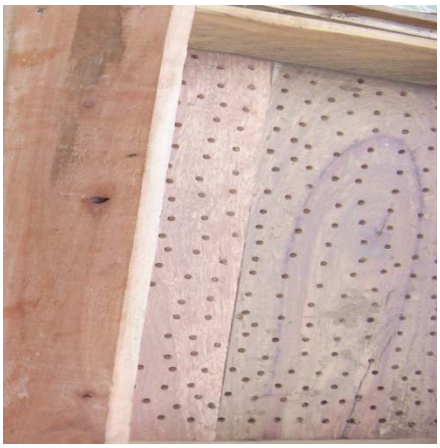

Photo 44 : Maille > 8 mm



Photo 45 : Maille < 8 mm (bac de récupération**)**

Planche XVII : Niveaux de la table de tri



Photo 46 : Numérotation des sacs et pesage des échantillons à trier



Photo 47 : Tri des déchets par taille



Photo 48 : Tri des déchets par catégorie



Photo 49 : Pesage des déchets triés

Planche XVIII : Etapes de tri des déchets par taille et par catégorie

Annexe 5: Articles publiés

Table des matières

Sommaire……. 1
Dédicace…… 3
Sigles et acronymes …… 4
Remerciements ……..... 7
Liste des tableaux …….. 11
Liste des figures …….. 13
Liste des planches …….. 15
Liste des photos……. 16
Résumé……. 18
Abstract……. 19
Introduction générale…… 20
Premières partie : Cadre théorique……... 23
Introduction partielle…….. 24
Chapitre I : Problématique, hypothèses, objectifs et clarification des concepts …..... 25
1-1- Problématique…… 25
1-2- Hypothèses de travail et objectifs de recherche…… 29
1-2-1- Hypothèses de travail……. 29
1-2-2- Objectifs de recherche……... 29
1-2-2-1- Objectif général……. 29
1-2-2-2- Objectifs spécifiques…… 29
1-3- Clarification des concepts……. 29
1-3-1 Déchet…….. 30
1-3-2- Gestion des déchets…….. 31
1-3-3- Décharge …… 32
1-3-4- Environnement…… 33
1-3-5- Santé……. 34
1-3-6- Impact……... 35
Chapitre II : Revue de littérature…… 36
2-1- Production des déchets……. 36
2-2- Gestion des déchets solides ménagers……..... 38

2-2-1- Pré-collecte des déchets……. 38
2-2-1-1- Pré-collecte par apport volontaire……..... 38
2-2-1-2- Pré-collecte porte à porte…… 40
2-2-2- Collecte et transport……... 43
2-2-3- Traitement ou mode d'élimination des déchets……..... 45
2-2-3-1- Valorisation……..….. 45
2-2-3-2- Mise en décharge……..... 50
2-3- Caractéristiques des décharges incontrôlées……. 54
2-3-1- Fonctionnement d'une décharge……. 54
2-3-2- Caractéristiques des déchets entrants.……... 54
2-3-2-1- Tri par taille des déchets……..... 55
2-3-2-2- Composition des déchets……..... 55
2-3-2-3- Densité……..... 56
2-3-2-4- Humidité…… 57
2-3-2-5- Pouvoir calorifique…… 58
2-3-2-6- Rapport des teneurs en carbone et azote…… 59
2-3-3- Caractéristiques des sortants: Lixiviat……..... 59
2-3-3-1- Lixiviat: genèse et composition……..... 59
2-3-3-2- Biogaz: origine et composition……..... 61
2-3-4- Impact des décharges incontrôlées sur l'environnement……..... 63
2-3-4-1- Effets du lixiviat sur l'environnement……..... 63
2-3-4-2- Contamination de l'environnement par les gaz de la décharge……..... 64
2-3-4-3- Autres impacts liés aux décharges sur l'environnement……..... 65
2-3-5- Impact des décharges sur la santé humaine……..... 65
2-3-5-1- Risques sanitaires par contact direct……..... 66
2-3-5-2- Risques sanitaires par les vecteurs de transmission……..... 67
2-3-5-3- Risques sanitaires liés au biogaz……..... 68
2-3-5-4- Risques liés aux lixiviats……..... 69
Conclusion partielle…… 71
Deuxième partie Cadre biophysique, humain et méthodologie de recherche……... 72
Introduction partielle ……..... 73

Chapitre III : cadre de recherche……..... 74
3-1- Situation géographique ……..…… 74
3-2- Cadre biophysique…….…….... 76
3-2-1- Conditions géomorphologiques…… 76
3-2-1-1- Plaine côtière……. 76
3-2-1-2- Plateau de terre de barre……. 77
3-2-2- Climat…… 79
3-2-2-1- Précipitation…… 79
3-2-2-2- Températures ……. 80
3-2-2-3- Humidité relative…… 81
3-2-2-4- Réseau hydrographique…… 83
3-2-2-5- Sols et végétations…… 84
3-3- Cadre humain …….. 86
3-3-1- Caractéristiques démographiques ……. 86
3-3-2-Activités économiques …… 88
3-3-2-1- Secteur primaire …… 88
3-3-2-2- Secteur secondaire ……. 88
3-3-2-3- Secteur tertiaire …….. 88
3-3-3- Facteurs organisationnels de la gestion des déchets solides ménagers…….. 89
3-3-3-1-ONG de pré-collecte des déchets…… 89
3-3-3-2- Mairie et services municipaux…….. 90
3-3-3-3- Producteurs des déchets …… 90
3-3-4-Cadres législatif, réglementaire et institutionnel …… 91
3-3-4-1- Cadres législatif et réglementaire…… 91
3-3-4-2- Cadre institutionnel…… 93
3-3-4-3- Autres acteurs……. 95
Chapitre IV: Méthodologie de recherche 96
4-1- Cadre, Schéma et population de recherche…… 96
4-1-1- Cadre de recherche ……..... 96

4-1-2- Schéma d'étude……..... 96
4-1-3- Populations cibles …….…… 96
4-1-3-1- Cibles primaires……..... 96
4-1-3-2- Cibles secondaires …….. 97
4-2- Collecte des données……..... 97
4-2-1- Données collectés…… 97
4-2-2- Matériels de collecte des données……..…… 98
4-2-2-1- Matériels utilisés pour l'observation directe…….. 98
4-2-2-2- Matériels utilisés pour le prélèvement des échantillons des sols…….. 99
4-2-2-3- Matériels utilisés pour le prélèvement des échantillons des eaux……. 99
4-2-2-4- Matériels utilisés pour la pré-campagne, la campagne et la caractérisation physique des déchets…… 99
4-2-2-5- Matériels utilisés pour déterminer l'humidité…… 100
4-2-2-6- Matériels utilisés pour réaliser la granulométrie des sols……. 100
4-2-2-7- Matériels utilisés pour le test de lixiviation des échantillons des déchets extra-fins et des sols…… 100
4-2-2-8- Matériels utilisés pour la minéralisation des échantillons des déchets extra-fins, des sols et des eaux…….. 101
4-2-2-9- Matériels utilisés pour déterminer les paramètres physico-chimiques…….. 101
4-2-3- Outils de collecte des données…….. 102
4-2-4- Techniques de collecte des données ……... 102
4-2-4-1- Recherche documentaire…….. 102
4-2-4-2- Travaux de terrain…… 104
4-3- Traitements des données et analyse des résultats……. 123
4-3-1- Traitement des données……. 123
4-3-1-1- Dépouillement des données collectées…….. 123
4-3-1-2- Analyses des paramètres physico-chimiques……... 123
4-3-1-3- Traitements statistique et graphique…… 133
4-3-1-4- Traitement cartographique……. 134

4-3-2-Analyse des résultats…… 134
4-3-2-1- Modèle PEIR……. 134
4-3-2-2- Normes utilisées……... 135
4-3-2-3- Matrice de Leopold ……. 135
Conclusion partielle…… 137
Troisième partie: Résultats et discussions ……..... 138
Introduction partielle……. 139
Chapitre V: Gestion des déchets solides ménagers et caractéristiques des sites de décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey……..... 140
5-1- Gestion actuelle des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey……..... 140
5-1-1- Caractérisation des DSM des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey …….. 140
5-1-1-1- Production des déchets solides ménagers……..... 140
5-1-1-2- densité…… 141
5-1-1-3- Humidité…… 141
5-1-1-4- Pouvoir calorifique inférieur des déchets solides ménagers……. 142
5-1-1-5- Rapport carbone/azote……... 142
5-1-1-6- Répartition granulométrique……. 143
5-1-1-7- Composition des déchets……... 144
5-1-2- Mode de gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey…….. 145
5-1-2-1- Du ramassage des déchets au stockage dans la sphère domestique…… 145
5-1-2-2- Pratiques en matière d'évacuation des déchets……... 148
5-1-2-3- Traitement des déchets…… 157
5-2- Caractéristiques des sites de décharges des arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey……. 162
5-2-1- Localisation…… 162
5-2-2- Description des sites de décharges incontrôlées……..…….. 164

5-2-3- Pratiques autour des sites de décharges……..... 165
5-2-3-1- Entretien des sites de décharges……..... 165
5-2-3-2- Pratiques endogènes pour empêcher l'érection des sites de décharges incontrôlées……... 166
5-2-3-3- Activités autour des décharges incontrôlées……. 167
5-2-4- Caractérisation des déchets des sites de décharges incontrôlées……... 169
5-2-4-1- Aspects physiques des déchets des sites de décharges……... 169
5-2-4-2-Paramètres chimiques des lixiviats et minéralisât des déchets des sites de décharges 173
5-3- Discussion……..... 177
5-3-1- Caractéristiques des sites de décharges dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey…….. 177
5-3-1-1- Production et densité des déchets solides ménagers…….. 177
5-3-1-2- Humidité, pouvoir calorique inférieur et rapport carbone/azote…… 178
5-3-1-3-Taille et composition des déchets……..... 180
5-3-2-Mode de gestion des DSM dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey…… 182
5-3-2-1-Du ramassage dans la sphère domestique à l'évacuation……..... 182
5-3-2-2-Traitement des déchets…… 185
5-3-3- Etat des sites de décharges dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey…… 188
5-3-3-1- Localisation et description des sites de décharges…… 188
5-3-3-2- Pratiques autour des sites de décharges……. 189
5-3-3-3- Aspects physiques des déchets des sites de décharges……..... 190
5-3-3-4- Paramètres chimiques des lixiviats et minéralisâts des déchets extra-fins des sites de décharges……. 192
Chapitre VI : Evaluation de la contamination des sols, des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharges…… 195
6-1- Caractéristiques physico-chimiques des sols…….. 195
6-1-1- Localisation des sites de prélèvement des échantillons de sols…….. 195
6-1-2- Paramètres physiques des sols……. 195
6-1-2-1- Analyse granulométrique des sols……. 195
6-1-2-2- Teneurs en eau et indice de plasticité des sols…….. 197

6-1-3- Propriétés physico-chimiques des lixiviats des sols et leurs effets sur les lieux et les niveaux de prélèvement…… 198
6-1-3-1- Variations des propriétés physiques des lixiviats de sols en fonction des régions et des niveaux de prélèvement…… 198
6-1-3-2- Variations des propriétés chimiques des lixiviats de sols en fonction des régions et des niveaux de prélèvement……. 201
6-2- Evaluation de la pollution des eaux superficielles et souterraines par les sites de décharges incontrôlées…… 209
6-2-1- Effets des sites de décharges sur la qualité des eaux superficielles…….. 209
6-2-2- Evaluation de la contamination des eaux souterraines par les sites de décharge…..... 210
6-2-2-1- Localisation des puits prélevés ……. 210
6-2-2-2- Caractéristiques des puits sélectionnés…… 210
6-2-2-3- Influence des sites de décharge sur la qualité physico-chimique des eaux Souterraines…… 213
6-3- Discussion…… 222
6-3-1- Paramètres physiques des sols……..... 222
6-3-2- Propriétés physico-chimiques des lixiviats des sols et leurs effets sur les lieux et niveaux de prélèvement……..... 223
6-3-2-1- Influence des sites sur les paramètres physiques, la DCO, la DBO5 et le NTK des lixiviats des sols ……. 223
6-3-2-2- Variation de la teneur en métaux des sols en fonction des lieux et des niveaux de prélèvement……..... 224
6-3-2-3- Evaluation de la pollution des eaux superficielles par les sites de décharges incontrôlées…… 228
6-3-2-4- Influence des sites de décharges sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines……..... 230
Chapitre VII : Etude épidémiologique et suggestions…….. 234
7-1- Etude épidémiologique……. 234
7-1-1- Prévalence des maladies déclarées par les ménages……. 234
7-1-2- Prévalence des affections dans les centres de santé……..... 235
7-1-3- Prévalence mensuelle des maladies liées aux déchets dans les centres de santé…..... 237

7-1-4- Fréquence des maladies liées aux déchets enregistrées dans les centres de santé par sexe……. 238
7-2- Gestion des déchets solides ménagers dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey: opportunité ou menace ?..... 238
7-2-1-Essai de valorisation des papiers/cartons et des débris de charbon en biocharbon ou en briquettes combustibles…… 240
7-2-1-1- Méthodologie de fabrication des briquettes combustibles……..... 240
7-2-1-2- Test de combustion……..... 242
7-3- Evaluation des impacts à partir de la matrice de Léopold……..... 243
7-4- Suggestions…… 246
7-4-1- Pour une amélioration de la gestion des déchets dans la sphère domestique…… 246
7-4-1-1- Mesures structurelles…… 246
7-4-1-2- Actions de sensibilisation……. 247
7-4-2- Pour une organisation efficace de la pré-collecte…….. 247
7-4-2-1- Mesures structurelles……..... 247
7-4-2-2- Actions de sensibilisation…….. 248
7-4-3- Pour l'organisation de la collecte……... 249
7-4-3-1- Mesures structurelles……..... 249
7-4-3-2- Actions de sensibilisation…….. 249
7-4-4- Pour un traitement efficace et durable……..... 250
7-4-4-1- Mesures structurelles……. 250
7-4-4-2- Actions de sensibilisation……. 250
7-4-5- Mesures urgentes pour une amélioration de la gestion des déchets dans les arrondissements de recherche……. 251
7-5- Discussion…….. 253
7-5-1- Prévalence des maladies en fonction des distances des sites de décharges……..... 253
7-5-2- Prévalence mensuelle des maladies liées aux déchets……... ……... 254
Conclusion partielle…… 256
Conclusion générale…… 259
Références bibliographiques…….…… 261
Annexes……. 287

Table des matières……. 352