FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
"ESPACE, SOCIETE ET DEVELOPPEMENT"

CHAIRE UNESCO
SCIENCE TECHNOLOGIE ET ENVIRONNEMENT "CUSTE"

Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)

OPTION : Géographie et Gestion de l'Environnement

SPECIALITE : Géosciences de l'Environnement et Aménagement de l'Espace

N° d'enregistrement ……..

Thèse de Doctorat Unique

Présentée par :

Cyrille TCHAKPA

Pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi

VALORISATION DES DECHETS SOLIDES MENAGERS COMME ALTERNATIVE A L'UTILISATION DES ENGRAIS CHIMIQUES DE SYNTHESE DANS LE MARAICHAGE A COTONOU

Sous la Direction de :

M. Michel BOKO, Professeur Titulaire, FLASH, UAC (BENIN)

M. Patrick A. EDORH, Professeur Titulaire, FAST, UAC (Bénin)

Soutenue publiquement le 03 Février 2015 devant le jury international composé de :

Président :
M. Patrick A. EDORH Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Rapporteur :
M. Michel BOKO Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Examinateurs :
M. Fidèle Biaou DIMON Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
M. Yves Antoine TOHOZIN Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
M. Placide F. G. A. CLEDJO Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Mention : Très Honorable

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2

DEDICACE 3

AVANT-PROPOS 4

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES 7

RESUME 9

ABSTRACT 10

INTRODUCTION GENERALE 11

CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE 15

CHAPITRE II : METHODOLOGIE 57

CHAPITRE III : RESULTATS DES TRAVAUX 73

CHAPITRE IV : DISCUSSION ET SUGGESTIONS 101

CONCLUSION GENERALE 113

BIBLIOGRAPHIE 115

ANNEXES 128

DEDICACE

Je dédie cette œuvre humaine à :

- ✓ Mon cher père Aclombessi TCHAKPA (in memorium)
- ✓ Ma tendre mère Philomène ATINYOLOSSOGNI

AVANT-PROPOS

La prolifération des déchets solides ménagers dans la ville de Cotonou, la plus grande métropole du Bénin, est reconnue par les populations comme un véritable fléau, avec les conséquences non encore maîtrisées sur l'hygiène du milieu et sur la protection de l'environnement. Le choix de ce thème sur la valorisation des déchets solides biodégradables s'inscrit dans l'ensemble des réflexions actuelles en Afrique et en particulier au Bénin pour la recherche des méthodes les plus efficaces dans le contexte africain pour apporter une solution durable à ce crucial problème environnemental.

L'intérêt pour les questions environnementales et l'ambition pour les questions écologiques des déchets dans les principales villes du Bénin nous ont déjà amené à réfléchir, dans le cadre du diplôme d'étude approfondie (TCHAKPA, 2010) sur ''*Caractérisation et valorisation par compostage aérobie des déchets solides ménagers du quartier Fidjrossè à Cotonou"*. Les résultats de cette étude exigent d'être approfondis sur une composante importante que constituent les déchets solides biodégradables. Cette thèse est également l'aboutissement d'une œuvre de quatre (4) années de recherche action à travers l'expérimentation de la valorisation des matières biodégradables en compost et l'appui conseil aux communes du pays (Bénin) pour la mise en place de systèmes efficaces de gestion des déchets urbains dont principalement les déchets biodégradables.

La présente thèse fait l'état des pratiques actuelles de valorisation des déchets biodégradables à Cotonou, elle les analyse et indique des orientations pour une meilleure gestion de ces déchets. L'Université d'Abomey-Calavi à travers l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espaces, Cultures et Développement », apporte de façon certaine sa précieuse contribution à cette étude sur les déchets biodégradables à travers ses orientations et l'encadrement du présent travail de recherche.

La présente thèse est le produit d'une recherche qui ne saurait se réaliser sans la participation et la disponibilité de certaines personnes. C'est pourquoi j'exprime ma profonde gratitude à mes directeurs de thèse et autres personnes ressources.

Mes sincères remerciements :

Au Professeur Michel BOKO, Professeur Titulaire de Géographie des Universités, qui a accepté conduire ce travail, son encadrement et ses apports scientifiques et moraux ont été déterminants pour la réalisation de cette thèse, je voudrais lui rendre ici un hommage mérité.

Au Professeur Patrick A. EDORH, Professeur Titulaire des universités, Biochimiste et Ecotoxicologue, pour ses orientations, la rigueur scientifique dont il a fait montre dans cette thèse malgré ses multiples occupations, ses précieux conseils et enseignements qui ont été de véritables guides à l'exécution de cette trame scientifique , je voudrais lui rendre ici un hommage particulier.

Au Professeur Issifou TAKPARA, Professeur Titulaire de gynécologie d'obstétrique, Ancien Recteur honoraire de l'Université d'Abomey-Calavi, Ex Ministre de la Santé Publique, pour son encouragement, son soutien moral et ses conseils avisés, je me dois de lui exprimer toute ma profonde gratitude.

Aux pré-rapporteurs : Docteur Antoine Yves TOHOZIN, Docteur Fidèle Biaou DIMON et Professeur Patrick A. EDORH, pour avoir apporté leurs diverses contributions pour l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.

Au Docteur Victor GBEDO, Directeur du Développement Communautaire et Assainissement du Milieu (DCAM BETHESDA), je dis merci pour son soutien moral, sa collaboration et son encouragement à la cause commune du développement de notre pays.

Au Docteur Michel R. AZALOU, Magistrat, Ex président du tribunal de première instance de deuxième classe de Ouidah, conseiller à la cour d'appel de Cotonou pour ses précieux conseils et ses suggestions constructives dans le cadre de la réalisation de ce travail.

A Monsieur Yacoubou MALEHOSSOU, Député à l'Assemblée Nationale, membre de la Haute Cour de Justice pour son soutien moral et financier.

A Monsieur Hector KPANGON, agroéconomiste, coordonnateur du CREPA-BENIN pour mon encadrement, son soutien moral m'a réconforté dans la réalisation de ce travail.

A Monsieur Odilon CHANGOTADE, technicien de laboratoire, pour sa constante disponibilité dans le cadre des analyses physico-chimiques dans les laboratoires fréquentés, dont je ne peux circonscrire la portée.

A Monsieur Marcelle DONOU, Ingénieur agronome, doctorant, assistant à la FSA pour sa disponibilité dans le cadre de la réalisation des tests agronomiques et le traitement statistique des données aux laboratoires.

A Monsieur le Directeur de l'ONG OXFAM QUEBEC / PGDSM et ses collaborateurs qui m'ont soutenu moralement et matériellement pour la collecte des déchets et la caractérisation.

Aux maraîchers du site de maraîchage de Houéyiho qui m'ont soutenu matériellement pour la collecte des déchets, la caractérisation, la mise en andain, le compost produit et les essais agronomiques.

Aux Chefs des différents ménages pour m'avoir autorisé l'accès à leurs maisons pour la collecte des informations.

A tous les enseignants de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH, j'exprime ici mes sincères remerciements pour leur disponibilité et leur encadrement sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé. Qu'ils reçoivent à travers cette thèse le fruit de leurs efforts.

A tous les membres du Jury pour avoir accepté de juger ce travail.

A tous les agriculteurs que j'ai côtoyés et qui souffrent des problèmes de fertilité de leurs sols.

A mes frères amis, Armel LAHAMY, Fataou IDRISSOU, Rigobert DENANGAN, Saturnin FADONOUGBO, Ambroise AHODEGNON et Maurice GANVOEDO.

Enfin à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de cette œuvre humaine, je voudrais leur exprimer toute ma profonde gratitude.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ABE : Agence Béninoise pour l'Environnement

AFNOR : Association Française de Normalisation

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar

CeRPA : Centre Régional pour la Promotion Agricole

COGEDA : Coordination de Gestion des Déchets solides ménagers et de l'Assainissement

CREPA : Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût

DB : Déchets Biodégradables

DCAM : Développement Communautaire et Assainissement du Milieu

DGE : Direction Générale de l'Environnement

DHAB : Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base

DSM : Déchets Solides Ménagers

EIE : Etude d'Impact Environnemental

EPAC : Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation)

FLASH : Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines

FNE : Fonds National pour l'Environnement

FSA : Faculté des Sciences Agronomiques

IGN : Institut Géographique National

IITA : International Institute of Tropicale Agriculture (Institut International d'Agriculture Tropicale)

INRAB : Institut National de Recherche en Agriculture au Bénin

INSAE : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique

MAEP	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MDGLAAT	:	Ministère de la Décentralisation, de la Gouvernance Locale, de l'Administration et de l'Aménagement du territoire
MEHU	:	Ministère de l'Environnement de l'Habitat et de l'urbanisme
MODECOM	:	Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
PNUE	:	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PGDSM	:	Projet de Gestion des Déchets Solides Ménagers
PNUD	:	Programme des Nations Unies pour le Développement
RABEDE	:	Réseau Africain sur les Bio ressources et les Energies pour le Développement et l'Environnement
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAIC	:	Service d'Appui aux Initiatives Communautaires (Mairie de Cotonou)
SOGEMA	:	Société Générale des Marchés Autonomes

RESUME

La présente recherche s'est déroulée dans la ville de Cotonou de décembre 2010 à octobre 2013. Elle concerne la valorisation agricole des déchets solides par le biais de compostage pour substituer aux engrais chimiques. Elle a consisté en une enquête de terrain, en la caractérisation des déchets solides urbains collectés dans les marchés (Dantokpa et Saint Michel), en la valorisation par compostage aérobie de la fraction fermentescible des déchets en passant par des tests agronomiques sur le site maraîcher de Houéyiho. Des travaux d'enquête révèlent que 25 % des ménages continuent de jeter leurs ordures dans la nature ; 81,67 % des ménages enquêtés ont une production journalière inférieure ou égale à 1 kg de déchets. La caractérisation des déchets des ménages donnent en masse 51,02 % de matières biodégradables; 27,59 % de sable fin ; 9,6 % de matières plastiques ; 3,57 % de cartons et papiers ; 3,01 % de métaux ; 2,85 % de textiles et de débris de mousse ; 1,52 % de verres ; 0,91 % de chaussures et cuirs ; 0,54 % de coquilles, de carapaces, de crabes et de perles ; 0,21 % de piles usées ; 65 % d'humidité pour la fraction fermentescible. Quant aux déchets des marchés, 48531,78 kg (67,37%) de déchets fermentescibles collectés et triés ont été compostés avec un rendement de 83,33 % soit environ 40443,33 kg de compost mûr. Les caractéristiques physico-chimiques du compost obtenu donnent entre autres valeurs un rapport C/N de 13 et un taux en fer de 43 %. L'humus du compost a une forte CEC et fixe les ions minéraux nutritifs tels que les cations K^+ et Ca^{2+} et les phosphates de manière à les rendre disponibles aux plantes pour leur croissance et leur développement.

Les tests agronomiques ont donné des résultats satisfaisants avec de bons rendements agricoles en poids frais et sec. L'analyse de la variance effectuée sur le poids frais et le poids sec des feuilles de la grande morelle a montré qu'il y a une différence significative entre les traitements au seuil de 5 %. Il est donc important de promouvoir l'utilisation du compost pour un rendement meilleur. Dans les études post doctorales, il sera question d'étudier les substrats pédologiques et le coût de restauration des terres agricoles à moyen et à long terme.

Mots clés : Ordures ménagères, caractérisation, compostage aérobie, tests agronomiques, Cotonou

ABSTRACT

This work was lead in Cotonou town from December 2010 to October 2013. It is about the agricultural valuation of solid wastes through composting to substitute synthetic chemical fertilisers. It aimed to investigate on the characterization of the urban solid waste collected in this market (Dantokpa and holy Michel), and at valorisation using aerobic composting of the fermentable fraction of waste. Investigations, shown that 25 % of the households still continue to throw their waste on wild dumps. 81.67 % of the investigated households' daily waste production is about 1 kg. The characterization of collected waste component are as follow 51.02 % (w/w) of biodegradable matters; fine sand 27.59 % (w/w) ; 9.6 % (w/w) of plastics; 3.57 % (w/w) of Paper and carton; 3.01 % (w/w) of metal; 2.85 % (w/w) of textile and remains of mattress; 1.52 % (w/w) of glasses; 0.91 % (w/w) of shoes and leathers; 0.54 % (w/w) of shells, carapaces of crabs and pearls; 0.21 % (w/w) of dead batteries; the water content of the fermentable fraction was 65 %. 48531, 78 kg (67.37 %) of fermentable waste of market was composted with a yield of 83.33 % which correspond approximately to 40443.33 kg of ripe compost. The carbon nitrogen ratio (C/N) of obtained compost was 13 and one rate percent of iron is 43. The compost has a high CEC and holds the nutritive minerals ions such as K^+ and Ca^{2+} and phosphate and makes them avaible to plants for their growth and their development.

Agronomic tests performed shown satisfactory results with a yield in fresh weight. The ANOVA performed on the fresh weight of the leaves large Nights had showed that there was a significant difference between treatments at threshold of 5 %; thus showing the poverty state of the site and its need to be improved by organic soil conditioner.

In the next study, it will study the pedology substratum and the cost of catering of the agricultural land in average and long term.

Key words: urban solid waste, characterization, aerobic composting, agronomic test, Cotonou

Introduction générale

Au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale, la préoccupation majeure de l'humanité est désormais axée sur la préservation du cadre de vie de l'homme. La conception des décideurs politiques et économiques était que l'accès à de meilleures conditions de vie passait nécessairement par la réduction des naissances et la croissance économique (PNUD, 2004). Ainsi, la course à la croissance économique est engagée avec une forte consommation de matières premières, de rejets de toutes sortes et de nombreuses conséquences négatives (dégradation du cadre de vie, mauvaise condition d'hygiène et pollution atmosphérique) sur la nature qui ont fini par faire comprendre au monde entier, la nécessité de promouvoir un autre type de développement qui intègre les préoccupations environnementales.

En effet, du 5 au 16 juin en 1972, à Stockholm en Suède, s'était tenue alors la Conférence des Nations-Unies sur l'Environnement. Mais, il a fallu attendre un autre Sommet Mondial qui a eu lieu du 3 au 14 juin 1992 à Rio de Janeiro au Brésil sur l'Environnement et le développement durable pour que ce concept soit examiné dans toutes ses dimensions, avec l'adoption d'une série d'actions contenues dans l'Agenda 21 mondial. Pour plus d'efficacité dans l'action collective, il a été demandé à chaque pays participant ou acquis à la cause de reprendre les mêmes objectifs, au niveau national dans un document similaire nommé agenda 21 national. Dans ce même sillage, des conventions internationales obligent les pays signataires au respect scrupuleux de l'environnement, comme par exemple les conventions de Stockholm, de Bâle, de Bamako, et autres.

De même, la conférence de Cancun tenue en 2010 au Mexique ainsi que le dernier symposium international sur la gestion durable et la valorisation des déchets dans les pays en développement qui s'est tenu en 2010 à Cotonou au Bénin.

La croissance démographique depuis le début des années 2000 est la plus rapide dans les pays de l'Afrique Sub-saharienne (Gbinlo, 2010). D'après les travaux de l'OCDE (2006) et du club de sahel, la population urbaine de l'Afrique de l'Ouest passera de 40 % de la population totale en 1990 à 50-60 % en 2020 (soit plus de 270 millions d'urbains sur 430 millions d'habitants) (Gbinlo, 2010). Cet accroissement continu de la population pose un problème majeur de gestion des déchets ménagers.

En effet, la gestion insuffisante des déchets est l'une des causes de morbidité dans les zones urbaines. Les facteurs liés à l'environnement sont la cause de 24% des maladies dans le monde et plus particulièrement dans les pays en voie de développement (OMS, 2006).

Ainsi, si la dégradation du cadre de vie reste le lot commun de tous les pays du monde, en Afrique en général et au Bénin en particulier, elle se caractérise essentiellement par l'insalubrité qui se traduit principalement par la mauvaise gestion des déchets solides biodégradables. La production croissante des déchets dans les pays en voie de développement a provoqué la multiplication de grandes décharges sauvages un peu partout dans et autour des grandes villes (Aïna, 2006). Alors les déchets sont devenus aujourd'hui, l'objet de préoccupation croissante des gestionnaires urbains et des défenseurs de l'environnement. Pour les uns et les autres, il se révèle désormais comme une urgence de trouver les modes de gestion les plus adéquats face aux moyens dont disposent les villes.

Dans les pays développés, la recherche d'une solution adéquate au problème de gestion des déchets a suivi un long processus. Il y a eu d'abord une longue période au cours de laquelle les schémas de gestion des déchets étaient centrés sur la collecte et le traitement qui a vu le volet ''incinération'' se développer très rapidement. En France par exemple, la loi cadre du 15 juillet 1975 a accéléré la réactualisation et la réalisation de ces schémas.

Face à la croissance de la production des déchets solides ménagers dont les biodégradables, la revalorisation de ces déchets s'est révélée par la suite comme une alternative à l'utilisation des engrais chimiques de synthèse, une alternative plus crédible que la simple mise en décharge et l'incinération. Selon Miquel (1999), les déchets constituent un produit qu'il faut utiliser au mieux de nos possibilités du moment. La valorisation est non seulement utile, mais aussi souhaitable.

En République du Bénin, la Constitution du 11 Décembre 1990 a institutionnalisé la protection de l'environnement. Dès lors, un Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU) a été créé. Des textes de lois, la loi-cadre sur l'environnement et les décrets d'application y afférents ont été adoptés et promulgués. Des agences et des directions de gestion de l'environnement ont été

mises en place à cette fin (Agence Béninoise pour l'Environnement par exemple). Aujourd'hui plusieurs Organisations Non Gouvernementales (ONG) opèrent dans le domaine de l'environnement et de l'assainissement du cadre de vie au Bénin. On peut citer des institutions comme BETHESDA/DCAM, Projet de Gestion des Déchets Solides Ménagers (PGDSM) piloté par OXFAM QUEBEC, Coordination de Gestion des Déchets et Assainissement (COGEDA) de Cotonou et le Centre Songhaï de Porto-Novo.

Par ailleurs, plusieurs études ont été consacrées aux problèmes relatifs à la qualité de l'environnement, dont la gestion des déchets, le reboisement, etc. Les premiers travaux sur les déchets urbains ont été réalisés par le bureau d'étude allemand GIGG et ont consisté à suivre le déroulement de la collecte d'ordures ménagères à Cotonou par la Voirie urbaine et à les quantifier par le procédé de pesée des camions sur pont bascule (GIGG, 1983). Les travaux ont permis d'estimer la production de déchets par jour et par habitant à 0,38 kg. Ces travaux ont servi de base pour les études réalisées par Tonon, (1987) et ont préconisé la mise en décharge contrôlée, le compostage, le recyclage et l'incinération, comme méthodes de traitement possible des déchets.

Parmi ces procédés de gestion des déchets, le traitement des déchets par compostage reste le meilleur système de gestion « producteur » d'environnement intégrant les diverses rationalités (Seck, 1995). Cette dimension explique la présence d'un pôle de « compostage, valorisation des déchets, amendement organique » (RABEDE, 1995) et la création du Réseau Africain du Compost qui devraient aider à mieux adapter les réponses aux besoins d'assainissement, d'enrichissement du sol en matières organiques avec les rigueurs d'une démarche scientifique novatrice. C'est là l'exigence d'une promotion de valeur ajoutée aux déchets, que cette valeur soit physique ou simplement un plus à la qualité de la vie ou un moindre risque de pollution des nappes phréatiques.

Face aux travaux antérieurs réalisés sur la valorisation des déchets par compostage (Tchakpa, 2010), il est à constater que la plupart de ces travaux n'ont pas pris en compte l'aspect contrôle de la qualité du compost ni sur le plan physico-chimique ni sur le plan agronomique ou ce dans le cadre des cultures maraîchères urbaines où le problème d'amendement des sols est crucial.

Aujourd'hui il est impérieux de composter les déchets pour rendre saint l'environnement des villes et valoriser à moindre coût l'agriculture urbaine.

L'objectif de cette étude est donc de faire un état des lieux de la gestion des déchets solides biodégradables dans la ville de Cotonou, de valoriser les déchets par compostage aérobie en vue de leur utilisation en agriculture comme produit de substitution des engrais chimiques de synthèse pour une gestion durable. La nécessité de gérer durablement ces déchets solides est dictée par des impératifs sanitaires environnementaux. Ceci est d'autant plus important que la quantité de déchets générés ne cesse d'augmenter et de se diversifier.

La présente thèse de doctorat unique en géographie et gestion de l'environnement a pour thème : « Valorisation des déchets solides ménagers comme alternative à l'utilisation des engrais chimiques de synthèse dans le maraichage à Cotonou ». Elle est structurée en quatre chapitres.

Le premier chapitre de ce travail est consacré au cadre théorique et géographique de l'étude. Il fait, dans un premier temps, l'état de la problématique de recherche, des hypothèses et objectifs, à la clarification des concepts et revue de littérature ayant trait aux différents modes de gestion des déchets solides urbains à Cotonou. Dans un second temps, il présente le cadre institutionnel, juridique et physique de l'étude.

Le deuxième chapitre présente la méthodologie utilisée pour la réalisation de cette étude. Les résultats obtenus sont présentés dans le troisième chapitre.

Enfin, les discussions et les suggestions sont abordées dans le quatrième chapitre suivi d'une conclusion, des références bibliographiques et des annexes.

CHAPITRE I :
CADRE DE L'ETUDE

I. Cadre d'étude

Le premier chapitre de ce travail est consacré d'abord au cadre théorique de l'étude, ensuite, il présente le cadre juridique et institutionnel et enfin le cadre géographique.

1.1 Cadre théorique de l'étude

1.1.1 Problématique

La gestion des déchets ménagers dans les pays en développement figure parmi les principaux défis environnementaux (OCDE, 2006). L'extension continue des villes de ces pays par rapport aux déchets solides ménagers pose des problèmes de gestion de plus en plus aigus et de plus en plus difficiles à résoudre et reste inconciliable avec l'amélioration de l'hygiène du milieu et de la protection de l'environnement (Ndunbé *et al*, 1995). Dans ces villes et dans la capitale économique du Bénin, 40 % seulement des déchets sont collectés et évacués par des structures agréées (Mairie de Cotonou, 2007) et ce, sans aucune forme de traitement, car elles sont toutes confrontées aux problèmes de sous-équipement et de financement. L'excédent non évacué, estimé à 60 %, affecte la qualité de vie des Cotonois qui ont d'ailleurs un cadre de vie particulièrement insalubre. Pour preuve, il est important de noter la présence de gros tas d'immondices en pleine ville dans les espaces vides et les rues secondaires. Ces dépôts d'ordures ont pour corollaire la pollution visuelle, la prolifération des vecteurs de maladies (larves de moustiques, moustiques, mouches et microbes), la pollution atmosphérique due aux poussières, aux émanations nauséabondes et l'émission des gaz à effet de serre (méthane, CO_2) (Adjahossou et *al*, 1995), responsables du réchauffement climatique de la planète. La pollution des sols due aux métaux lourds volatils (plomb, mercure et cadmium,…) qui s'accumulent dans les milieux naturels et la chaîne alimentaire.

La situation est d'autant plus inquiétante que ces dépotoirs sauvages se trouvent, pour la plupart des cas, dans des marécages et dans des caniveaux et servent de lieux d'aisance aux populations riveraines. Par ailleurs, l'enfouissement continu de ces déchets dans un sol sableux comme celui de Cotonou perturbe l'infiltration de l'eau en saison pluvieuse et le comblement rapide des marécages avec des déchets, aggravent le phénomène d'inondation déjà préoccupant. Cotonou vit cette

situation parce qu'elle manque de sites de transfert appropriés pouvant servir de décharges transitoires des déchets solides urbains.

Dans le souci de débarrasser la ville de ces déchets, la mairie de Cotonou a mis en place depuis 2004, un système de gestion des déchets urbains. Ce système comprend trois maillons essentiels que sont : La pré collecte, la collecte et l'enfouissement. La collecte sélective est très peu développée et n'occupe pas une place prépondérante dans ce système. Les arguments développés par Seck (1999) pour justifier ce système, se fondent sur la difficulté voire l'impossibilité du tri-valorisation comme meilleur mode de gestion des déchets dans les pays en voie de développement comme le Bénin. Cet état de chose entraîne des difficultés d'aménagement et de la protection de l'environnement.

La forte demande en produits maraîchers et le chômage grandissant (PADAP, 2003) ont poussé une frange de la population cotonoise à développer une agriculture urbaine, utilisant des quantités importantes d'intrants agricoles de synthèse (engrais chimiques, pesticides) sur un sol argilo-sableux (Tokanou et *al*, 2007). Ceci n'est pas sans conséquence nocive sur la qualité chimique des eaux de surface et de la nappe phréatique affleurante (CREPA, 2002). En agriculture et particulièrement en maraîchage, la fertilisation des sols surtout dans les pays en voie de développement a été, au cours des dernières décennies, principalement axée sur l'achat et l'utilisation d'engrais chimiques. L'utilisation intensive de ces engrais chimiques crée des problèmes de fertilité induits par la déstructuration de ces sols mettant en cause la sécurité alimentaire (Veldkamp, 1992).

Pour pallier à ces défaillances, l'apport de matières organiques s'impose à travers l'utilisation des produits de compostage des déchets organiques en particulier des ordures ménagères. Ce mécanisme permet à la fois de faire face efficacement à la satisfaction des besoins alimentaires dans le cadre d'une agriculture durable, à l'assainissement de la ville de Cotonou, au problème de contamination chimique des ressources en eau et à la protection des sols.

La valorisation des déchets solides ménagers par compostage semble constituer une des solutions possibles. C'est dans cette optique que la présente étude intitulée : «**Valorisation des déchets solides ménagers comme alternative à l'utilisation**

des engrais chimiques de synthèse dans le maraichage à Cotonou» trouve sa justification.

Cette étude intègre la problématique liée aux moyens matériels et financiers limités de ces agriculteurs, le développement de méthodes de traitement les moins chères et les plus écologiquement rationnelles pour sauvegarder l'environnement des villes et valoriser à moindre coût, l'agriculture urbaine. Selon de Silguy (1996) la valorisation agricole des ordures riches en matières organiques après compostage apparaît comme une orientation à privilégier surtout dans les pays en voie de développement. Les déchets ménagers biodégradables valorisés par compostage servent de fertilisants pour les sols de culture en milieu urbain et périurbain et favorisent une agriculture biologique saine à Cotonou. Le compost ainsi obtenu peut constituer un complément et/ou un substitut aux engrais chimiques importés dont l'utilisation sur des sols pauvres en matières organiques comme ceux de Cotonou, accélère leur lessivage vers les eaux souterraines et/ou de surface (Soclo *et al*. 1999).

A quelle condition les ordures ménagères peuvent-t-elles être valorisées par compostage? Par quelle manière ce mode de gestion réduit-elle efficacement les nuisances engendrées par les déchets dans la ville de Cotonou? Le compost obtenu peut-il être un substitut aux engrais chimiques de synthèse utilisé dans le maraîchage à Cotonou?

C'est pour répondre à ce questionnement que ces projets de recherche ont été entrepris.

1.1.2 Hypothèses et objectifs de la recherche

1.1.2.1 Hypothèses de la recherche

De tout ce qui précède, quelques hypothèses peuvent être émises:

- les déchets solides ménagers de la ville de Cotonou contiennent de fortes proportions de matières organiques fermentescibles ;
- le compostage de ces déchets solides biodégradables peut constituer une voie de réduction des nuisances dans la ville de Cotonou ;

- le compost obtenu est un fertilisant efficace pour les sols de culture de Cotonou et constitue un atout important dans la gestion durable et efficace des ordures ménagères.

1.1.2.2 Objectifs de l'étude

Objectif global

Valoriser les ordures ménagères biodégradables par compostage aérobie en vue de leur utilisation en agriculture comme produit de substitution des engrais chimiques de synthèse.

Objectifs spécifiques

- Caractériser les ordures ménagères de la ville de Cotonou ;
- Composter la fraction organique biodégradable des ordures ménagères pré collectées ;
- Evaluer la qualité agronomique du compost.

1.1.3 Définition de concepts

La définition des concepts concerne entre autre la définition des différentes expressions sur lesquelles s'appuie le présent travail de recherche ; elle permet d'orienter et de comprendre aisément le thème ; il s'agit de :

Ville : La ville est une entité géo spatiale qui se définit par rapport à son poids démographique, son agglomération de constructions, son importance dans les flux commerciaux, sa position géographique et son rôle dans le développement de la nation. Elle est caractérisée par les équipements urbains, les infrastructures, la diversité des hommes, des cultures et des fonctions. Elle comprend deux types d'environnement : l'environnement interne et l'environnement externe (Merlin et *al*, 2000).

La ville de Cotonou est la plus grande au Bénin avec des fonctions multiples. Elle doit son développement à son port, ses gares routières et ferroviaires et son aéroport (Adam et Boko, 1983)

Environnement : la notion est relativement récente. Selon la loi n° 98 – 030 du 12 février 1999 portant loi cadre sur l'environnement en vigueur en République du Bénin en rapport avec celle rencontrée dans la littérature, l'environnement peut alors se définir comme « l'ensemble des éléments naturels et artificiels des agents physiques, chimiques, biologiques ainsi que des facteurs économiques socioculturels susceptibles d'agir directement ou indirectement sur les organismes vivants et leurs activités dans un milieu » (MEHU, 1999). Au sens de la loi Française du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, l'environnement est considéré comme un thème générique qui recouvre trois éléments que sont la nature (les espaces, les espèces animales et végétales, la diversité et l'équilibre biologique), les ressources naturelles et les sites et paysages. De même selon la convention de Lugano de 1993 sur la responsabilité civile des dommages résultant des activités dangereuses pour l'environnement, l'environnement comprend « les ressources naturelles abiotiques ou biotiques tels que l'air, l'eau le sol, la faune, la flore et l'interaction entre les mêmes facteurs ; les liens qui composent l'héritage culturel et les aspects caractéristiques du paysage ». D'après N'bessa (2005) l'environnement est un système socio écologique combinant écosystème naturel et société humaine. Les interactions entre ses deux sous-ensembles ne sont pas statiques mais en constant changement. Elles reflètent une dynamique parsemée de crises et de turbulences.

Déchets : Au sens de la loi n° 98 – 030 du 12 février 1999 portant loi cadre sur l'environnement en République du Bénin, on entend par déchet «tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation ou tout bien meuble abandonné ou destiné à l'abandon ». Le déchet, c'est aussi « un matériau que son détenteur ne peut ni valoriser, ni rejeter tel quel dans le milieu extérieur » ; ce déchet peut être solide ou liquide. (MEHU, 1999). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2006) le déchet se définit comme : « quelque chose que son propriétaire ne veut plus, en un certain lieu et à un certain moment et qui n'a pas de valeur commerciale courante ou perçue ».

Des définitions données dans les nombreux travaux consultés dont principalement celui de Bertolini (1990) intitulé « *Le marché des ordures; économie et gestion des déchets ménagers* » permettent de retenir de déchets tout ce qui est résidu sans valeur économique, destinés à l'abandon, nuisibles pour l'homme, dangers pour la santé. Il faut

donc s'en débarrasser. Cette conception des déchets conduit aux pratiques courantes d'enfouissement à domicile, d'incinération ou de rejet en dehors des habitations.

De façon administrative, le déchet est défini comme toute substance que le propriétaire abandonne ou se trouve dans l'obligation de s'en débarrasser (Boko, 2004)

Du point de vue économique, le déchet est une matière dont la valeur économique est nulle pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné. Le détenteur doit donc, pour s'en débarrasser, payer quelqu'un ou faire lui-même le travail. Le terme de déchet se distingue ici du terme de bien qui désigne toute matière de production ou de consommation dont la valeur économique est positive, c'est-à-dire pour lequel un acquéreur est disposé à payer un prix. La notion de déchet doit donc être relativisée dans l'espace et dans le temps…le statut de déchet n'est alors que provisoire, transitoire, enfin cette notion est tributaire de l'état de l'économie, de la technologie et de l'information (Bertolini, 1990). Ce qui confirme l'assertion selon laquelle, le déchet est en fait une ressource qui se trouve au mauvais endroit au mauvais moment.

En d'autres termes tous les déchets ne sont pas des résidus, car selon Bertolini, la notion de résidus est ambivalente parce que le devenir de celui-ci est incertain ; certains résidus sont réintégrés dans le circuit économique ; d'autres empruntent une filière d'élimination. Selon cette conception des déchets les résidus valorisables ne sont pas considérés comme déchets au sens propre du terme. Le résidu est alors quelque chose dont on doit se débarrasser en l'orientant vers les filières d'élimination au lieu que l'on réfléchisse sur les possibilités éventuelles de sa valorisation.

Déchets urbains : Ce sont les déchets dont la gestion incombe à la responsabilité de la collectivité urbaine locale. Selon Aïna (2006), ces déchets sont constitués principalement des déchets ménagers. Mais ils comprennent aussi les déchets industriels et commerciaux, les déchets des bâtiments publics et de la voirie. Retenons cependant que cette définition varie en fonction de la règlementation.

Ordures ménagères : on entend par ordures ménagères, des déchets de toute nature provenant des ménages. Il faut savoir que la composition des ordures ménagères est très différente selon les cultures, selon les régions et selon le niveau de vie des ménages (Onifadé, 2006).

Dans l'optique du compostage, il est indispensable de connaître la composition des déchets solides. En effet ce procédé de valorisation n'est intéressant que si les déchets renferment une fraction élevée de matière organique (Onifadé, 2006).

Déchets organiques : tout déchet biodégradable ou fermentescible pouvant être composté (pailles, fumiers frais, herbes, feuilles, écorces, déchets de cultures) (Mustin, 1987).

Matière organique : Elle se définit comme étant un mélange de biomasse vivante de résidus de plantes et d'animaux à différents degrés de décomposition. Cette substance est dite ''organique'' parce qu'elle est constituée de la combinaison de 3 éléments principaux : carbone, hydrogène, oxygène auxquels s'ajoutent l'azote, le soufre et le phosphore permettant une alimentation régulière des plantes (Hermant, 1977).

Gestion des déchets : Elle est l'organisation de l'ensemble des opérations de production de pré-collecte, de collecte et de traitement des déchets (Adjademe, 1994).

Pré-collecte : la pré-collecte est l'opération qui se déroule au niveau du ménage, de la parcelle ou de la villa jusqu'au dépotoir, au container ou au dépôt de la poubelle devant la maison pour être vidée par le véhicule de collecte (Adjahossou et Aguewe, 1995).

Collecte : la collecte est l'opération de transport des déchets de la parcelle, des dépotoirs ou des containers jusqu'au point de décharge finale (Adjahossou et Aguewe, 1995).

Traitement : le traitement est l'ensemble des opérations d'élimination ou de disparition physique des déchets ou de leur valorisation (Adjademe, 1994).

Valorisation : la valorisation est l'opération qui consiste en la récupération et au traitement de certains articles. Elle permet de créer des débouchés (CREPA Bénin, 1995). Aux termes de la loi française du 13 juillet1992, la valorisation consiste dans « le réemploi le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ».

Compostage : le compostage est une technique qui consiste à faire fermenter et à faire décomposer dans des conditions contrôlées des déchets organiques en présence de l'oxygène de l'air. Il peut s'effectuer toute l'année pour autant que l'on

ait assez d'eau à disposition (CREPA Bénin, 1995). En d'autres termes, le Compostage consiste à utiliser le processus de transformation de la matière organique d'origine végétale et animale pour fournir un produit fini voisin des humus naturels (Mustin, 1987).

Retournement : le retournement est l'ensemble des opérations qui consistent à remuer le compost afin d'apporter de l'air dans ses parties profondes. Il a pour rôle d'oxygéner et de déshumidifier l'intérieur des andains au cours du compostage. Le retournement correspond à l'aération (Miquel, 2003).

Compost : le compost est un produit d'amendement du sol résultant de la dégradation par les micro-organismes de la matière organique des ordures ménagères, des produits post récoltes ou des produits d'élevage (RABEDE, 1995)

Fertilisant organique : engrais naturel provenant de la décomposition des végétaux ou d'animaux que d'aucuns qualifient de ''l'or gris'' (RABEDE, 1995).

Engrais chimiques de synthèse : Ce sont des fertilisants synthétiques d'origine industrielle, utilisés dans l'agriculture urbaine et périurbaine pour accroitre le rendement agricole. Ces engrais chimiques sont :

Urée : engrais azoté d'origine industrielle achetée dans le commerce, elle est de couleur blanche et sous forme de granulés perlés. Le diamètre des grains varie entre 1 mm et 2 mm. Elle est titrée à 46% d'azote. La dose à l'hectare est de 50 kg soit 5 g/m^2 (Onifade, 2006).

NPK **:** engrais azoté d'origine industrielle, composé en grande partie de trois éléments (azote, phosphore, potassium). Il est titré à 15% d'azote, 75% de P_2O_5 et 15% de K_2O et se présente sous forme de granulés de couleur beige. Le diamètre des grains varie de 2 à 4 mm. La dose recommandée est de 100 kg/ha soit 10 g/m^2 (Darriet et *al* (2007).

CEC : La Capacité d'Echange Cationique est l'ensemble des charges positives disponibles pour fixer les cations (Bruand et *al,* 1992).

Spéciation : La spéciation est, en biologie le processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent, une espèce au sens du concept biologique (Nevo, 1991).

Biodisponibilité : Selon Juste la biodisponibilité est l'aptitude d'un élément à être absorbé et assimilé par des organismes vivants (Juste et *al*, 1996).

Acidité d'un sol : Acidité d'un sol constitue, avec sa texture, un facteur essentiel pour les plantes ayant des exigences particulières en la matière. Le PH est une mesure de l'acidité du sol, il dépend de la concentration en protons (H+) dans la solution du sol (Guivarch, 2001).

Fer et manganèse : Ce sont des oligoéléments essentiels à la croissance des plantes (Yamada, 1971).

Agriculture urbaine et périurbaine : Au sens large, l'agriculture désigne l'ensemble des travaux transformant le milieu naturel pour la production des végétaux et d'animaux utiles à l'homme (Clément, 1981). Dans un sens plus restreint, et en fait plus agronomique, l'agriculture est l'art de mettre en œuvre les méthodes par lesquelles l'homme peut tirer du milieu dans lequel il vit, à l'aide du sol de la plante et de l'animal, et dans les meilleurs conditions possibles, les produits nécessaires à la satisfaction de ses besoins (Koundé, 1998). Il ressort de cette définition que l'agriculture est une activité non seulement nécessaire à la vie et pouvant être menée en milieu urbain, périurbain et rural, mais elle est aussi vaste et regroupe pour cela plusieurs sous-secteurs d'activités parmi lesquels, le maraîchage. Dans une vision plus approfondie, le comité de l'agriculture en 1999 perçoit l'agriculture urbaine et périurbaine comme l'ensemble des pratiques agricoles dans les villes et autour des villes qui utilisent les ressources (terres, eau, énergie, main d'œuvre) pouvant également servir à d'autres usages pour satisfaire les besoins de la population urbaine. Cette agriculture comprend diverses composantes à savoir : le maraîchage, l'horticulture, le, l'élevage, la production laitière et fourragère, l'aquaculture et la foresterie (Onifade, 2006).

Maraîchage : dérivé du mot latin mariscus relatif aux lacs et marais, le terme de maraîchage s'est d'abord appliqué aux cultures de légumes effectuées dans les marais. Ce terme a connu des évolutions dans le temps et est devenu une branche

de l'horticulture orientée vers la culture intensive et professionnelle des légumes (Mustin, 1987). Le maraîchage pratiqué à l'intérieur et à la périphérie des villes fait partie de ce que les techniciens appellent l'agriculture urbaine et périurbaine.

L'horticulture : Selon le dictionnaire de l'Académie française, l'horticulture est un art, c'est celui de cultiver les jardins, de pratiquer la culture des légumes, des fleurs, des fruits (horticulture maraîchère, arboriculture fruitière, floriculture, pépinière). Elle est également définie comme une branche de l'agriculture comprenant la culture des légumes, des petits fruits, des fleurs des arbres et arbustes d'ornement.

Dans le cadre de la présente étude, il faut retenir sous ces concepts, le mode de gestion qui consiste au conditionnement des différentes composantes des déchets dès leur production, dans différents contenants en vue de leur réutilisation ou de leur traitement par valorisation. Le fertilisant organique (compost) issu de la valorisation des déchets par compostage est utilisé à coup sûr dans l'agriculture urbaine ou périurbaine comme alternative à l'utilisation des engrais chimiques de synthèse.

1.1.4 Revue de Littérature

La revue de littérature a mené à la recherche des données et informations dans les principales bibliothèques du Bénin. Ces recherches ont été procédées au centre de documentation de la Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines (FLASH/UAC), au centre de documentation du Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU) et au centre de documentation de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar (ASECNA). Les bibliothèques de l'INSAE, du PNUD, du CCF, du CCA de l'ONG Bethesda, d'Oxfam-Québec et du CREPA ont été fréquentées. Des recherches ont été également effectuées sur l'Internet.

Les types d'informations recueillies portent aussi bien sur les généralités sur les déchets, des informations à caractère méthodologique que sur le sujet spécifique de la valorisation des déchets solides biodégradables. Il faut cependant noter que si de nombreux ouvrages portent sur les déchets en général, peu ont été consacrés à la valorisation des déchets solides biodégradables. Une analyse de ces travaux a été effectuée dans une approche thématique :

- forces et faiblesses du système de gestion des solides à Cotonou ;
- les différents modes de traitement des déchets et problèmes récurrents ;
- expériences de valorisation des déchets solides urbains ;
- importance de la valorisation pour une gestion durable et efficace des déchets solides urbains ;
- les grandes zones de la production maraîchère au Bénin **;**
- importance des composts dans le maraîchage ;
- importance socio-économique du maraîchage à Cotonou et ailleurs.
- généralités sur la grande morelle.

1.1.4.1 Forces et faiblesses du système de gestion des déchets solides à Cotonou

1.1.4.1.1 Les forces du système

L'étude des forces du système peut être abordée aussi bien sur le plan technique que sur le plan social.

1.1.4.1.1.1 Sur le plan technique

Sur le plan technique, les forces du système se situent à deux niveaux.

- ***La cohérence et la dynamique du système***

Sur le plan conceptuel, le système actuel de gestion des déchets se révèle assez cohérent. Tous les maillons de la chaîne (pré collecte, collecte et traitement) ont été évoqués du système de gestion des déchets. Le système se révèle assez dynamique : dix-huit (18) ONG de pré collecte avec à peine trois mille sept cent trente-deux (3732) abonnés en 1995 et soixante-quatre (64) ONG de pré collecte avec trente-sept mille neuf cent quarante-sept (37947) abonnés en 2007 (Dessau, 2007).Tout le système de pré collecte est relativement organisé autour d'un collectif : la Coordination des Organisations Non Gouvernementales de Gestion des Déchets Solides Ménagers et de l'Assainissement (COGEDA) avec un bureau élu.

- ***L'approche participative de la gestion du système***

Le système tel que conçu, est basé sur une approche participative. Ce qui indique non seulement une implication des populations, principaux bénéficiaires des activités

d'assainissement, mais également la clarification des rôles et l'implication des différents acteurs du secteur public et du secteur privé. En effet le système actuel de gestion des déchets identifie clairement les différents acteurs et définit leur rôle aussi bien au niveau de l'exécution des activités que du financement du système. Il ne s'agit donc plus d'un système centralisé au niveau de la mairie de Cotonou qui élabore, finance et exécute. L'importance du rôle des autres acteurs a été reconnue par les responsables communaux qui, non seulement impliquent ces différents acteurs dans le processus de mise en œuvre du système, mais également leur concèdent des volets dont ils assurent la supervision. C'est ainsi que les ONG de pré collecte dont le rôle a été longtemps reconnu par la Mairie de Cotonou sont aujourd'hui chargées de la pré collecte dans toute la ville avec son appui technique et celle d'autres partenaires au développement. Les ménages financent entièrement la pré collecte tandis que la Municipalité de Cotonou assure, sur la base de contrat avec les entreprises privées, la collecte et le traitement des déchets solides de la ville. Des partenaires au développement tels que OXFAM QUEBEC, à travers le Projet de Gestion des Déchets Solides Ménagers (PGDSM) apportent un appui technique et matériel au système.

1.1.4.1.1.2 Les aspects sociaux

Sur le plan social, le système actuel de gestion des déchets solides est pourvoyeur d'emplois. Le rapport 2009 de la pré collecte à Cotonou a révélé que les activités de pré collecte emploient au 31 décembre 2009, huit cent quatre-vingt-sept (887) personnes contre huit cent vingt-six (826) en 2008. Ces agents sont répartis entre directeurs, secrétaires, charretiers, recouvreurs, comptables, chauffeurs, manœuvres, gardiens et autres personnels d'appui.

Les investigations menées dans le cadre de la présente recherche révèlent que les activités de collecte emploient trois cent dix-neuf (319) personnes tandis que les activités d'enfouissement nocturne ou diurne emploient une trentaine de personnes. La plupart de ces agents sont des jeunes (plus de 80 % ont moins de 40 ans). La pré collecte reste une activité majoritairement occupée par les hommes. On en compte 795 hommes pour 92 femmes. Leur salaire mensuel varie entre vingt mille 20000 et cent soixante un mille (161000) francs CFA. Le système actuel de gestion des

déchets contribue pour une part importante à la résolution du problème de chômage dans ville de Cotonou.

Malgré toutes ces forces, le système de gestion des déchets dans ville de Cotonou comporte des faiblesses qu'il importe de relever.

1.1.4.1.2 Les faiblesses du système

La principale faiblesse du système actuel de gestion des déchets solides à Cotonou est relative à l'aspect environnemental et écologique. Elle réside dans la non maîtrise des différents endroits servant de points de regroupement ou dépôts transitoires des déchets. En effet, la pré collecte se faisant essentiellement à Cotonou à l'aide des charrettes à traction humaine, ne peut se faire convenablement sans que des endroits appropriés soient retenus et aménagés pour servir de points de regroupement. Dans le système actuel, la difficulté à trouver ces endroits mène les structures de pré collecte à rejeter les déchets pré collectés dans les marécages, aux abords des cours d'eaux, sur les espaces publics et dans les parcelles non bâties. Cette situation a énormément contribué à la prolifération des dépotoirs sauvages à Cotonou.

Au total 53 lieux de dépôts sauvages des déchets de formes différentes et repartis sur toute la ville de Cotonou ont été dénombrés (Dessau, 2007). Les principaux dépotoirs, de par leur taille sont rencontrés dans les quartiers Aïdjèdo, Dantokpa, Dédokpo, Enagnon, Dandji et Suru-Léré. Les volumes de ces dépotoirs varient de 1741 à 5813 m^3 (Dessau, 2007). Les conséquences environnementales et sanitaires de cette situation sont multiples.

1.1.4.1.2.1 La pollution visuelle

La caractéristique principale des nombreux dépotoirs de Cotonou est la présence remarquable des plastiques qui constituent pratiquement la couche supérieure de ces dépotoirs. En effet, compte tenu de leur caractère non biodégradable, les plastiques constituent ce qui reste, même si les autres composantes se dégradent et diminuent de volume. Ce processus fait apparaître en premier plan des plastiques qui marquent l'état d'insalubrité de ces lieux, créant une pollution esthétique remarquable avec des impacts certains sur le tourisme et l'économie. Cet état d'insalubrité créé principalement par la présence des plastiques est reconnu par 75

% des ménages (Gbedo, 2010). La solution au problème d'insalubrité à Cotonou, passe par la résolution du problème de prolifération des déchets pastiques. Autrement dit sans une stratégie de collecte sélective des déchets plastiques, il ne saurait y avoir un assainissement durable à Cotonou. Or aujourd'hui, en l'absence d'un sous-système généralisé de collecte sélective des déchets plastiques à Cotonou, il n'existe aucune activité de récupération par conséquent il est opportun d'interdire l'utilisation des plastiques à Cotonou (Tchakpa, 2010).

1.1.4.1.2.2 La Pollution atmosphérique

L'une des pratiques courantes des populations pour se débarrasser des déchets est l'incinération. Il faut noter que là où se développe le plus ces pratiques sont les points de regroupement non aménagés. La quasi-totalité des dépotoirs connaissent ce phénomène déclenché soit volontairement par les riverains, soit de façon accidentelle par des cendres et charbons incandescents contenus dans les déchets. L'incinération des déchets dégage abondamment de polluants et des odeurs nauséabondes nuisibles à la santé. Il est à noter essentiellement :

- des poussières et des fumées noires constituées de particules de carbone ;
- du dioxyde de carbone et des oxydes d'azote qui sont des gaz à effet de serre, responsables du réchauffement climatique de la planète ;
- du monoxyde de carbone, gaz toxique pour l'homme et les organismes vivants ;
- des métaux lourds volatils (plomb, mercure et cadmium,…) qui s'accumulent dans les milieux naturels et la chaîne alimentaire.

1.1.4.2 Les différents modes de traitement des déchets urbains

Dans son ouvrage ''*les méthodes de traitement des déchets urbains*'', Vernier (2007) montre qu'il y a aujourd'hui quatre méthodes de traitement que sont : le recyclage, le traitement biologique, l'incinération et la mise en décharge. En prenant l'exemple de la France en 2007, 100 % des déchets urbains bénéficient d'un traitement contre seulement 56 % en 1980. En 2007, les différents traitements subis par les déchets solides ménagers collectés en France se présentent comme suit : valorisation matière 19 % contre 13 % en 2004, valorisation organique 3,5 %, valorisation énergétique 42,5%, incinération 2%, mise en décharge contrôlée 33 % (Ademe,

2009). De même, en Suisse, la situation de traitement des déchets urbains se présente en 2007 comme suite : recyclage 48 %, incinération 50 %, mise en décharge contrôlée 2 %.

Dans les pays développés, ces pourcentages varient énormément d'un pays à un autre et d'une époque à une autre et dépendent des options prises par chaque pays. La collecte sélective et le recyclage de certains matériaux concernent essentiellement les verres, les papiers cartons, les textiles, les plastiques, les métaux, etc. Le traitement biologique de la composante fermentescible se fait soit par fermentation à l'air libre (compostage aérobie) soit par fermentation en l'absence d'oxygène (compostage anaérobie ou méthanisation). L'incinération de la composante combustible et la décharge qui reçoit les déchets ultimes, restent la méthode la plus fréquente. Ces différents modes de traitement des déchets urbains sont précédés de deux systèmes de collecte. Il s'agit de la collecte domiciliaire et de l'apport volontaire qui sont d'ailleurs presque toujours combinés (Topanou, 2012).

Dans les pays en développement, s'ajoute à ces deux systèmes de collecte une phase de pré collecte faisant intervenir des organisations qui assurent l'enlèvement des déchets des domiciles jusqu'à des points de regroupement d'où s'effectue l'évacuation des déchets de ces décharges intermédiaires au centre de traitement. Cette expérience très développée dans les villes de l'Afrique de l'Ouest comme au Bénin se retrouve également dans d'autres villes d'Afrique et du monde.

Cependant, il est à noter que, quel que soit le mode adopté, la gestion des déchets urbains en Afrique rencontre d'énormes difficultés. La revue comparative des modes de gestion des déchets urbains dans neuf (9) villes Africaines réalisées en 2001 par Follea et *al* montre que les difficultés auxquelles sont confrontés les différents systèmes de gestion des déchets sont d'ordre organisationnel, technique et financier. Pour Aîna (2006), les causes de ces difficultés sont connues, en premier lieu l'exode rural et la métropolisation des villes avec ces conséquences dans le domaine de l'habitat, de l'éducation, de la santé et de l'environnement et, en deuxième lieu, la mauvaise gouvernance.

1.1.4.3 Expériences de valorisation des déchets urbains

Différents travaux ont porté sur les expériences de valorisation des déchets urbains. Dans le document du collectif Enda tiers-Monde intitulé« *les déchets et les hommes ; expériences urbaines de recyclage dans le tiers-Monde* »paru en 1990, plusieurs auteurs ont présenté des articles sur les expériences de recyclage des déchets dans certaines villes du tiers - Monde telles que Manille, Dakar, Santiago, Bombay, Bamako et Cotonou. Le cas de la gestion des ordures ménagères à Cotonou présenté par Tonon n'a pas abordé des expériences de pratique de recyclage.

Dans sa thèse de doctorat du troisième cycle en sciences de l'environnement, Tonon (1987) a fait une analyse de l'état d'assainissement de la ville de Cotonou en identifiant les différents paramètres à prendre en compte pour la formulation de propositions pour la gestion des déchets. Il a mis l'accent sur un certain nombre d'aspects opérationnels du système-déchet qu'il définit comme l'ensemble de tous les éléments ou facteurs des trois composantes que sont : le sous-système milieu physique, le sous-système milieu socio-économique et le sous-système moyens matériels et organisationnels qui déterminent la nature et la composition des déchets, les modes de sa production, les moyens de sa collecte, de son évacuation, de son élimination ou de sa valorisation. Les propositions formulées par l'auteur pour améliorer la gestion des déchets à Cotonou ont essentiellement trait aux aspects techniques, financiers et institutionnels. Propositions dont l'application dépend des comportements des populations, du cadre juridique et de la volonté politique.

Selon Gbedo (2010), les expériences de valorisation des déchets plastiques à Cotonou ont été abordées. Dans sa thèse, l'auteur a montré que les principaux facteurs qui déterminent la qualité de la gestion des déchets plastiques à Cotonou sont liés au faible niveau de conscience environnementale des acteurs de la filière, au schéma inapproprié de gestion des déchets et à la faible mobilisation des ressources pour le financement du système. Les ménages constituent la principale source de production de déchets plastiques à Cotonou, avec 55 tonnes par jour sur une production totale estimée au moins à 96 tonnes par jour. Le principal mode de traitement de déchets plastiques est le brûlage avec, pour conséquences le dégagement d'odeurs nauséabondes et des polluants dont le monoxyde de carbone et des métaux lourds volatils.

Les déchets plastiques valorisables, produits à Cotonou, sont composés principalement des polyéthylènes et des polypropylènes qui représentent plus de 80% du gisement avec plus de 40% de plastiques souples, dont principalement les petits sachets. Leur valorisation fait appel essentiellement aux technologies de broyage, de granulation et d'agglomération. La valorisation se présente comme le meilleur mode de gestion durable des déchets urbains. Elle nécessite la mise en place d'un sous-système efficace de collecte sélective, de technologies de valorisation appropriées et respectueuses de l'environnement, et d'un mécanisme durable de mobilisation d'écotaxe pour le financement du système.

De même, l'étude de l'ouvrage du collectif RABEDE (1995) a révélé que plusieurs auteurs ont présenté des articles et des communications sur la valorisation, l'utilisation agronomique et le compostage des déchets.

En effet les déchets ménagers sont utilisés dans maints domaines qui constituent des filières de traitement des ordures. Ces filières sont adoptées lorsque les contraintes financières permettent l'acquisition de technologies appropriées.

Selon Ousseyinou (1996) la filière du compostage est maîtrisée dans les conditions africaines car des études ont été faites sur le compost au Bénin, au Burkina Faso (siège CREPA), au Mali, en Côte d'Ivoire, au Sénégal, au Cameroun et dans quelques pays du Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc). Ce qui reste à savoir est la rentabilité économique du compostage et la production de biogaz en dépit de multiples efforts qui sont fournis dans ces domaines. Ainsi, les ordures ménagères sont utilisées en fonction des réalités que vivent les populations urbaines.

L'une des possibilités d'utilisation des ordures ménagères en agronomie est leur transformation en fertilisants organiques pour la production agricole, surtout dans le domaine du maraîchage.

Selon de Silguy (1996), les agronomes montraient aux paysans déjà au XIXe siècle l'intérêt de l'usage des ordures ménagères en raison de leur teneur en matières organiques. Les nouveaux produits proposés furent baptisés « compost ». Selon le même auteur, les Anglais désignaient sous le terme compost, « des mélanges de terre, de fumier, de végétaux verts, de sciures de bois, de cendres, d'os, de déchets de l'économie ménagère et autres » disposés en couches superposées et laissées à

la fermentation, pour rendre plus assimilables les éléments fertilisants qui y sont contenus. Dans les zones où se pratiquent maraîchage et horticulture il peut être utile au travers d'expériences pilotes où le compost serait offert gratuitement aux utilisateurs, de susciter leurs intérêts et d'augmenter ainsi la demande. Bon nombre d'utilisateurs ont tendance à croire que, tant que la plante parvient à satisfaire ses besoins en nutriments à partir des engrais chimiques, les rendements continueront à s'améliorer.

Selon Hebette (1996), l'expérience a montré que ce n'est pas vrai, car les engrais chimiques n'apportent pas aux plantes tous les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires et n'ont qu'un effet limité sur les autres facteurs de la fertilité du sol comme la structure, la résistance à l'érosion et le pouvoir de rétention en eau.

Pour remédier à une pareille situation, il serait prudent d'utiliser le compost qui normalement contient tous les oligo-éléments nécessaires outre une quantité appréciable d'éléments majeurs (N, P, K). En effet, le compost, par la matière organique qu'il renferme, assure une amélioration très nette de la structure du sol. Incorporé régulièrement aux sols, le compost réduit et bien souvent annule les effets désastreux de l'érosion hydrique et éolienne. A côté de ces actions physiques et mécaniques, il exerce sur les sols une action chimique qui en particulier permet une meilleure utilisation des engrais chimiques, ce qui équivaut à une moindre dépense (Hebette, 1996). En fait, la matière fertilisante organique du compost joue un rôle capital sur l'ensemble des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol par :

- des effets stabilisants et structurants du sol ;
- une augmentation de la perméabilité ;
- un pouvoir tampon ;
- un effet protecteur des micro-organismes du sol ;
- la régulation et la stimulation de la nutrition minérale des plantes ;
- l'augmentation de l'activité biologique ;
- la protection du sol contre l'érosion.

Selon Vermande (1995), compte tenu des moyens matériels et financiers des pays en voie de développement, il s'agit de rechercher des méthodes de traitement les moins coûteuses et les plus écologiquement rationnelles pour sauvegarder

l'environnement des villes et valoriser à moindre coût l'agriculture péri urbaine. Ainsi le compostage est l'ensemble des opérations (tri, fragmentation, fermentation aérobie, affinage) par lesquelles on obtient à partir des végétaux et des déchets contenant de la matière organique, un produit stable et hétérogène appelé compost ; celui-ci présente des caractères généraux de l'humus.

Selon Soclo *et al.* (1999), pour relever le double défi de la satisfaction des besoins alimentaires et de la protection de l'environnement, la promotion d'une option de gestion des ordures intégrant une agriculture biologique durable convient aux pays en voie de développement. C'est alors l'une des méthodes qu'il faut actuellement adopter pour l'élimination des déchets ménagers (la valorisation par compostage), car son coût est modeste par rapport aux autres modes de traitement (incinération, enfouissement).

Selon Ndunbe *et al* (1995), le compostage apparaît ainsi comme un moyen permettant tout à la fois d'assainir les villes à moindre coût, de réduire les importations d'engrais chimiques et d'améliorer l'environnement global.

Selon Haug (1980), le compostage peut être défini comme « la décomposition biologique et la stabilisation des substrats organiques dans les conditions qui permettent le développement des micro-organismes. L'élévation de la température lors d'un tel processus est le résultat d'une production calorifique d'origine biologique qui permet l'obtention d'un produit final suffisamment stable pour le stockage et pour l'utilisation sur les sols sans impacts négatifs sur l'environnement ». Un compost mûr ne présente pas une montée de température et son rapport MO/N est suffisamment faible pour que les cultures ne subissent pas un effet dépressif, appelé « faim d'azote ». Hebette (1996) propose en fonction du rapport MO/N les définitions suivantes de la maturité du compost :

Produit frais MO/N > 60

Produit mi frais 50 < MO/N < 60

Produit mûr MO/N< 50

Elle recommande ainsi un produit mûr en grandes cultures de maraîchage, pépinières et comme support en horticulture. Selon l'Agence Française pour la

Récupération et l'Elimination des déchets (1990), la maturité du compost ne peut être appréciée de façon fiable en utilisant conjointement divers critères d'ordres physiques (granulométrie, rétention en eau, couleur) chimiques (rapport C/N, N-NO3 / N-N+…) ou biologiques. Adjademe (1994) a proposé comme définition au compostage aérobie que c'est «un procédé biologique contrôlé ayant pour objet l'accélération et l'optimisation de la bioconversion aérobie des matières organiques par des systèmes microbiens naturels en un produit stabilisé, hygiénique et riche en substances humiques ».

En effet le compostage aérobie passe par des étapes techniques qui sont les suivantes :

- le tri des déchets pour en tirer les matières non putrescibles ;
- la mise en andain des matières à composter ;
- la fragmentation grossière des déchets ;
- l'arrosage nécessaire à la fermentation ;
- le contrôle du rapport carbone, azote, de la température et de l'humidité ;
- le retournement des tas ou des andains ;
- la maturation du compost ;
- le tamisage.

Selon Jeangille (1995), le compostage aérobie est un processus qui consiste à faire fermenter en présence d'oxygène des déchets organiques (pailles, fumiers, feuilles, écorces, déchets de cultures…) dans des conditions contrôlées

En général, le compostage est le processus de décomposition des matières organiques et leurs transformations en humus par l'action d'un grand nombre de micro-organismes dans un milieu chaud humide. Ainsi le compostage est un processus microbiologique en perpétuel changement, produit par l'activité d'une succession de micro-organismes, chaque groupe étant adapté à un milieu d'une durée relativement élevée.

1.1.4.4 Importance de la valorisation pour une gestion durable et efficace des déchets solides urbains

Selon certains auteurs (Miquel et *al*, 2003) la valorisation des déchets solides urbains revêt une grande importance pour une gestion efficace et durable. Pour Vernier (2001), cette importance se note essentiellement à deux niveaux :

- du point de vue économique, il note en premier lieu une économie financière dans la mesure où la valorisation permet de donner de la valeur financière à un matériau usagé. En second lieu, la valorisation permet également une économie de matière première (le bois pour le papier) ou une économie d'énergie (recyclage du verre ou de l'aluminium) ;
- du point de vue traitement global des déchets on peut espérer une amélioration qualitative du traitement (en séparant le verre, on évitera de le retrouver inerte dans le refus d'incinération ou de compostage) ou simplement quantitative (en recyclant tout ce qui est possible, on allège la quantité de déchets à traiter par des procédés plus coûteux).

Dans un pays comme la Suisse qui dispose d'un système de gestion des déchets urbains les plus performants au monde, un accent particulier est mis sur la valorisation des déchets. Une étude de l'Office Fédérale de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP) en Suisse révèle que 48 % des déchets urbains sont recyclés. Selon cette même étude avec 7,2 millions d'habitants, la Suisse et la principauté de Lichtenstein produisent 4,99 millions de tonnes de déchets urbains par an. Les 48 % de ces déchets représentant 2,41 millions de tonnes sont recyclés grâce à une collecte sélective efficace des différentes composantes valorisables. Ainsi, la filière de recyclage s'est imposée en Suisse comme un moyen de plus en plus efficace de traitement des déchets urbains diminuant de façon considérable la part des déchets urbains incinérés ou enfouis.

En France également la valorisation des déchets occupe une place prépondérante. Selon Vernier, en 2007, en France 71 % de verre est récupéré pour le réemploi et le recyclage ; 54 % des emballages en papier carton est récupéré et valorisé ; 15 % des textiles pour la réutilisation et le recyclage ; 19 % des bouteilles plastiques est récupéré pour la réutilisation ou le recyclage ; 100 % des emballages métalliques en

acier, et 27 % des emballages métalliques en aluminium sont également récupérés et recyclés. Pour récupérer ces déchets dans des conditions requises pour la valorisation, la quasi-totalité de la population française est aujourd'hui desservie par une collecte sélective contre seulement 20 % en 1997.

Il est à noter cependant que si dans les pays comme la France et la Suisse, le niveau organisationnel et technologique a permis d'atteindre un taux de collecte sélective et de valorisation élevé, il n'en est pas de même dans les pays en développement comme le Bénin.

1.1.4.5 Les grandes zones de la production maraîchère au Bénin

Selon une étude de Sagbohan, 1988 citée par Zossou, 2004 et Onifade 2006, il existe cinq (5) grandes zones de production maraîchère :

- Malanville et Karimama, zone en activité d'octobre à avril avec des productions irriguées de pommes de terre, d'oignon à gros bulbes et de tomates de type Roma auxquelles sont associées des cultures de piment, gombo, courgettes et un peu de manioc.
- La région de Natitingou avec la production irriguée de tomate (S*olanum lycopersicum*) et des spéculations non négligeables de pomme de terre (*Solanum tuberosum*), de piment (*Capsicum frutescens*), de gombo (*Hibiscus esculentus*) et d'oignon (*Allium cepa*) ;
- le plateau d'Adja (Klouékanmè, Toviklin, Lalo, Dogbo et ses environs) avec les petites exploitations paysannes produit la tomate locale, le piment et le gombo en saison des pluies ;
- la région du Sud Est regroupant Sèhouè, Pobè et la vallée de l'Ouémé. Les deux premières localités produisent exclusivement de la tomate en saison de pluie tandis que la vallée de l'Ouémé se caractérise par les cultures de décrue où la tomate et les légumes feuilles sont surtout produits ;
- les zones périurbaines constituées de ceintures de cultures maraîchères produisent des légumes locaux et exotiques (laitues, haricot vert, carotte, chou, concombre, betterave etc…) durant toute l'année grâce à un arrosage manuel. On remarque une forte activité de maraîchage au Sud Bénin en particulier à Cotonou à cause de la forte urbanisation qu'elle connaît par

rapport aux autres régions (PADAP, 2003). De même on assiste à Cotonou à une montée en flèche de la demande et à une exigence des consommateurs en termes de qualité des légumes (FAO et ONU, 1992). La production maraîchère à Cotonou se pratique toute l'année de manière permanente à cause de la nappe phréatique qui affleure (1,5 m du sol) et qui permet une disponibilité en eau pour les arrosages.

1.1.4.6 Importance des composts dans le maraîchage

Au regard du rôle important que joue la matière organique du compost sur les propriétés physiques et biologiques du sol, et la texture sableuse ou sablonneuse du sol à Cotonou, l'utilisation du compost à grande échelle dans le maraîchage serait d'une grande importance. Cela permet non seulement d'éviter l'utilisation anarchique d'engrais chimiques et de pesticides qui d'ailleurs appauvrissent les sols et engendrent l'insécurité alimentaire mais également, de valoriser les domaines maraîchers actuellement emblavés pour la sécurité alimentaire et d'éviter l'exploitation de grands espaces pour des rendements peu appréciables (Veldkamp, 1992).

1.1.4.6 Importance socio-économique du maraîchage à Cotonou

Le maraîchage pratiqué à l'intérieur et à la périphérie des villes fait partie de ce que les techniciens appellent l'agriculture urbaine et périurbaine voire l'agriculture durable ; dans plusieurs grandes villes africaines, l'importance de l'agriculture urbaine a été démontrée à plusieurs niveaux :

- tout d'abord comme source d'emploi, le développement de l'agriculture urbaine permet de lutter contre le chômage et la pauvreté. Par exemple à Bamako 22 % de la population active exerce à titre principal dans le secteur agricole. Dans cette capitale il y a deux fois plus d'agriculteurs que d'ouvriers dans les industries (Miquel, 2003)
- l'agriculture urbaine contribue également à la sécurité alimentaire (Miquel, 2003). Elle permet de fournir des produits frais à des prix compatibles avec le faible pouvoir d'achat des populations urbaines en rapprochant la production des centres de consommation. Cette production sur place permet de réduire les coûts de transport et donc le prix à la consommation ;

- l'agriculture urbaine peut également contribuer à la préservation de l'environnement. Les besoins en matière organique pour le maraîchage permettent de valoriser le recyclage des déchets organiques qui représentent une grande partie des ordures ménagères. L'importance socio-économique du maraîchage dans les centres périurbains n'est plus à démontrer. Cette activité constitue une source importante de revenus ; 300 millions de FCFA de marge brute par an pour l'ensemble des producteurs de Cotonou hormis leur propre consommation évaluée de 30 % à 40 % de leur production (PADAP, 2003). Mais ces taux sont excessifs. A Cotonou, la marge brute par hectare et par an, est estimée à 16,395 millions (Onifade, 2006). De même une étude réalisée par PADAP en 2003 montre que le revenu annuel d'un maraîcher qui cultive à plein temps est estimé à 640.000FCFA. Par ailleurs, la commercialisation des produits maraîchers par les femmes constitue pour elles une activité lucrative et génératrice de revenus, ce qui leur permet d'apporter leur modeste contribution aux charges du ménage. Le maraîchage constitue un facteur très important dans la résorption du chômage par sa capacité à créer des emplois surtout à ceux qui ne peuvent prétendre trouver un emploi dans l'économie formelle. Le maraîchage contribuerait à la création de près de 60.000 emplois directs (Onifade, 2006). Il joue également un rôle dans l'amélioration de la valeur nutritive des aliments par la richesse des légumes en éléments nutritifs (protéines, vitamines et sels minéraux) (Miquel, 2003) cités par (Onifade, 2006).

1.1.4.7 Généralités sur la grande morelle

- **Origines, historique, botanique et exigences climatiques**

Appartenant à la famille des solanacées, comme nom scientifique *solanum macrocarpum* communément appelé « Gboma » en langue fon, la grande morelle est retrouvée en Afrique et dans les îles voisines, elle est représentée par au moins 100 espèces indigènes dont une vingtaine est d'introduction récente. La grande morelle est une plante herbacée qui peut atteindre 1 à 2 mètres de hauteur. Elle porte des feuilles plus ou moins lisses et lobées, une couleur verte foncée, un coriace dont la taille et la forme peuvent varier jusqu'à 50 cm selon les variétés. Les fleurs blanches à bleu pâle ont un diamètre d'environ 3 cm. Leurs pétales sont soudés, ce qui leur

donne la forme d'une cloche assez évasée. Les fruits dressés sont ronds, légèrement aplatis ; leur diamètre est de 5 à 7 cm **(**Giguere, 2003)**.** Chez certaines variétés ils peuvent atteindre la taille d'une orange. Ils sont verts puis jaunes orangés à maturité, parfois légèrement violacés. Ils sont groupés par deux ou trois, parfois cinq. La grande morelle est bisannuelle vivant surtout dans les régions où les saisons sèches ne sont pas trop longues. Les fruits apparaissent normalement au cours de la seconde année de culture alors que la croissance des feuilles à lieu au cours de chaque saison pluvieuse. Les variétés sont reconnaissables à leurs feuilles plus ou moins profondément lobées. La grande morelle est une plante peu exigeante en ce qui concerne la fertilité du sol. Mais elle produit mieux si le sol est riche en matières organiques. Dans les sols pauvres elle produit rapidement les fruits, sa production de feuilles est alors faible et de qualité médiocre. La grande morelle est une plante de plein soleil ; elle résiste bien à la sécheresse. La grande morelle a un ancêtre africain. En effet on trouve les formes sauvages épineuses dans toutes les zones tropicales non arides d'Afrique. Leurs fruits sont encore récoltés de temps à autre comme légumes, alors que la forme cultivée appelée « Gboma » en Afrique de l'Ouest constitue un légume fruit et un légume feuille important, produit commercialement et dans les jardins familiaux. Les cultivars locaux cultivés pour leurs feuilles sont fréquents en Afrique centrale et en Afrique de l'Ouest. Les types cultivés pour leurs fruits sont limités en grande partie aux côtes humides de l'Afrique de l'Ouest. Elle est également très répandue en Afrique centrale et en Afrique de l'Est. Elle est signalée en Afrique australe comme légume. Elle est retrouvée sous forme de cultivars à fruits en Amérique du Sud et importés d'Afrique de l'Ouest. Le nombre de chromosomes est de 2n = 24 soit 2n = 36 **(**Giguere, 2003)**.**

- **Utilité**

Les jeunes feuilles et les jeunes fruits de la grande morelle sont très utiles à consommer après cuisson. Les feuilles peuvent être mangées à part soit accompagnées de sauce avec des ingrédients. Leur goût est plus ou moins amer et très apprécié. Les feuilles sont cuites à la vapeur soit frites dans l'huile avec des oignons. En Afrique de l'Ouest les feuilles et les fruits sont consommés. Au Bénin c'est un cultivar à feuilles et à petits fruits qui est le plus consommé. Les feuilles, les tiges et les racines ont une grande variété d'utilisations médicinales. Les feuilles

chauffées mâchées traitent des maux de gorge. Ces fruits sont utilisés au Nigeria pour traiter les maladies cardiovasculaires. Les fleurs et les fruits sont mastiqués pour nettoyer les dents. Le jus des racines bouillies peut être bu pour éliminer les ankylostomes. Ces feuilles écrasées permettent de lutter contre les maux d'estomac. Elle est cultivée dans d'autres pays (Chine et Inde) comme plante ornementale.

1.1.4.8 Conséquences des engrais chimiques sur l'agriculture

- ***Un bilan environnemental à nombreux points noirs***

Selon Pujol et Drone (2002), les agricultures mondiales sont très diversifiées et les effets positifs de nombreuses exploitations sur l'environnement contrastent avec les impacts problématiques de certaines pratiques intensives et concentrées. Il est question ici des points sur lesquels la puissance de certaines techniques utilisées ou envisagées récemment par l'agriculture semble avoir dépassé la capacité du monde agricole à maîtriser leurs effets environnementaux.

- En France par exemple l'agriculture est le premier consommateur national d'eau (50 à 80%), le premier émetteur de pollution azotée (65 %), le deuxième émetteur de phosphore (20 %). Le quart des nappes européennes dépassent 50 mg/l de nitrates, le quart des captages dépassent 40 mg/l, les trois-quarts des ressources bretonnes en eau douce dépassent 0, 1 µg/l de phytosanitaires, dont la consommation a été multipliée par 8 pour un triplement de la production agricole. On parle déjà d'eau directement « traitante » ou fertilisante », même si les pires situations françaises sont en général moins graves que celles d'autres pays (Pays-Bas notamment pour l'état des eaux : 100 à plus de 400 mg/l). La France est le deuxième utilisateur de phytosanitaires après les USA, avec néanmoins des usages beaucoup moins intenses que dans certains pays voisins (en moyenne 3 kg/ha/an de matières actives, contre jusqu'à 10 aux Pays-Bas, par exemple) ; si les tonnages utilisés diminuent (-15 % entre 1988 et 1995), cette évolution n'est pas proportionnelle à l'accroissement de l'activité des nouvelles substances impliquées de (1 à 100).
- Dans l'air, l'agriculture émet plus de 90 % du NH_3, la moitié du CH_4 et le quart du N_2O français, la concentration des phytosanitaires dans l'eau de pluie atteint couramment 1 à 2 µg/l quel que soit le lieu.
- Certains usages agricoles (utilisation intensive de produits toxiques pour la pédofaune) ont entraîné le durcissement des sols et la baisse de leur productivité.

L'accumulation de métaux (Cu, Zn, Cd) issus des engrais, boues et déjections animales menace certaines terres de phytotoxicité (sauf dépollution Coûteuse) à un horizon de 10 à 70 ans suivant les endroits et les pratiques ; plus de 6,5 millions d'hectares (vignes, maraîchages, vergers, maïs et cultures industrielles) pourraient connaître des relargages préoccupants de métaux lourds si leur pH s'acidifiait. L'érosion des sols s'est accentuée (1% d'horizon fertile est perdu annuellement en Beauce depuis 30 ans, par exemple). La situation certes n'est pas aussi préoccupante que dans d'autres pays (Espagne, Etats-Unis, par exemple), mais provoque néanmoins des dommages (coulées de boue par exemple).

- L'agriculture (33 ha en France) est le premier intervenant sur les paysages et les écosystèmes : 2 ha, soit le quart des zones humides françaises, ont été drainés (par comparaison, les espaces protégés au titre de l'environnement en métropole représentent moins de 750 000 ha).

C'est aussi le premier utilisateur de la biodiversité : les recherches de performances productives sur quelques critères ont beaucoup réduit la diversité des espèces domestiques et cultivées (30 races bovines en 1950, 3 pour 98% du cheptel aujourd'hui ; 90 % des maïs européens viennent d'une seule souche ; une seule variété de pomme (golden) fait les trois-quarts de l'offre marchande. L'utilisation des produits phytosanitaires a multiplié les résistances, mettant en question le potentiel agrochimique disponible (plus de la moitié des insectes résistent aux organophosphorés, plus de 150 espèces de champignons pathogènes sont résistants, on trouve même depuis 1998 des herbes sauvages résistantes au glyphosate).

- L'usage massif d'antibiotiques dans les élevages intensifs pourrait accélérer les problèmes de santé publique liés à la diffusion des résistances chez les êtres humains (la Commission européenne a d'ailleurs proposé pour janvier 1999 l'interdiction des usages vétérinaires de quatre antibiotiques impliqués aussi dans la thérapie humaine.

- Enfin, des questions sanitaires et environnementales restent insuffisamment précisées, dont : l'effet à long terme des produits phytosanitaires à petites doses est important dans l'air et dans les aliments, mais aussi pour les utilisateurs (selon la MSA, environ 20 % des manipulateurs agricoles de ces produits connaissent des troubles allergiques, neurologiques ou cancéreux) ; les effets des OGM végétaux et

animaux sur les écosystèmes ; les conséquences sur la microfaune des sols, des diverses pratiques agricoles.

- ***Conséquences économiques et sociales***

- Les dommages causés par certaines pratiques agricoles intensives perturbent fortement d'autres activités économiques qui dépendent des mêmes ressources naturelles, notamment de la qualité de l'eau et du sol : tourisme (explosions algales ou toxiques sur les littoraux bretons), conchyliculture et pisciculture (pesticides et algues toxiques), industrie agro-alimentaire (nitrates).
- Retrouver une eau de qualité peut de ce fait coûter cher pour un ménage touché par des excès de nitrates (en Bretagne, par exemple), il est estimé à environ 2 600 F le coût direct de cette pollution (traitement et eau minérale obligée) ; par comparaison, les aides publiques à l'agriculture sont estimées à 2 650 F (404) par ménage et par an.
- Le fait qu'agriculture et technologies modernes ne s'associent dans l'esprit du public qu'à l'occasion de crises induit une méfiance générale vis-à vis de l'alimentation moderne.
- La dynamique économique agricole correspond à la disparition de 3,5 millions d'actifs en 30 ans, et à la fermeture d'une exploitation toutes les 30 minutes en France, les soutiens publics à l'agriculture, plus visibles (disparition progressive des soutiens de marché au profit des aides directes) rendent les inégalités régionales aussi plus évidentes (de 1 800 F à 2 600 F pour 274 à 396 par hectare de blé, par exemple, suivant que l'exploitation se trouve en Limousin ou en Beauce) et difficilement défendables, tout comme les écarts entre secteurs (en moyenne, de 10 000 F pour 1 524 par personne pour un élevage extensif à 200 000 F pour 30 490 par personne pour une céréaliculture intensive).

En outre, le développement de techniques biologiques à la place des engrais chimiques peut limiter les effets négatifs de certains de ces derniers. Ainsi la lutte biologique contre les ravageurs des cultures, la bactérisation des plantes ou la mycorhisation de leurs racines pour en améliorer la croissance, la mise au point de végétaux et d'animaux résistants aux maladies et ravageurs pourraient permettre une diminution de l'emploi de certains produits chimiques. Chez les végétaux et les

animaux, les techniques de transgénèse accroissent nettement les possibilités de création de résistances aux agents de maladies et aux ravageurs (Bonny, 1994).

L'utilisation des engrais organiques favorise non seulement la protection de l'environnement mais aussi de promouvoir l'agriculture biologique pour une alimentation saine et équilibrée. Elle peut aussi dispenser les producteurs et les consommateurs des problèmes de santé humaine et garantit la sécurité alimentaire. L'agriculture urbaine garantit la sécurité alimentaire ; elle est pratiquée à plein temps et les produits cultivés sont toujours disponibles aux consommateurs : C'est l'agriculture durable.

Cette revue de littérature nous a permis d'orienter cette recherche sur la «Valorisation des déchets solides ménagers comme alternative à l'utilisation des engrais chimiques de synthèse dans le maraichage à Cotonou ».

A ces documents, il convient d'ajouter tous les autres ouvrages mentionnés dans la bibliographie de ce mémoire de thèse.

1.2 Cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets

La gestion des déchets solides au Bénin est déterminée par des orientations politiques à travers les dispositions législatives et règlementaires ainsi que le cadre institutionnel en vigueur.

1.2.1 Cadre juridique

Le cadre juridique de la gestion des déchets solides ménagers est appréhendé à travers des dispositions législatives et règlementaires au Bénin mais, elles sont d'ordre général.

1.2.1.1 La constitution du 11 décembre 1990

A travers ces articles 27, 28, 29, 74, 98 la constitution fait de l'environnement la préoccupation de tous et définit les comportements à avoir pour le protéger. En effet l'article 27 de cette constitution stipule que « Toute personne a droit à un environnement sain satisfaisant et durable et à le devoir de le défendre. L'Etat veille à la protection de l'environnement ». C'est en ces termes qu'elle pose la question de la protection du cadre de vie des citoyens. Ainsi présentée, la protection de

l'environnement implique aussi bien la participation du citoyen que la responsabilité de l'Etat entendu dans son acception large.

1.2.1.2 Textes législatifs

La loi n° 87-015 du 21 septembre 1987 portant code d'hygiène publique, a constitué pendant longtemps la principale base juridique de la gestion des déchets au Bénin. Elle interdit notamment les dépôts anarchiques de déchets de toutes sortes (immondices, détritus, eaux usées, graisses, huiles de vidanges véhicules usagés) sur la voie publique ainsi que leur enfouissement ou incinération anarchique, fixe l'implantation des décharges contrôlées à cinq kilomètres au moins des dernières habitations et cinquante mètres au moins d'un point d'eau. Le code d'hygiène publique, en son article 97 interdit en outre le mélange des déchets solides ménagers avec les déchets issus des abattoirs et les « produits toxiques » ou pharmaceutiques. Nous pouvons lire ici le souci du législateur d'établir une gestion séparée et donc plus écologique des différentes catégories de déchets.

Cependant le code d'hygiène paraît aujourd'hui en déphasage avec les réalités actuelles face aux nombreuses évolutions intervenues ces dernières années dans le domaine de l'environnement.

Ainsi dans la ferveur de la mise en application des décisions de la conférence de Rio sur l'environnement et le développement (juin 1992), assemblée nationale a voté la loi n° 98-030 du 12 février 1999, portant loi-cadre sur l'environnement. Elle traite les déchets dans les 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 sur la santé humaine, les ressources naturelles ou la qualité de l'environnement en général. Enfin la loi 97-029 du 15 janvier 1999 portant organisation des communes en République du Bénin qui en son article 93 alinéa 2 confie à la commune la collecte et le traitement des déchets solides sur son territoire.

1.2.1.3 Textes règlementaires

Plusieurs textes règlementaires complètent les lois précédemment citées.

Le décret n° 74-60 du 08 Mars 1974 portant création, attribution, composition, organisation et fonctionnement de la Commission Nationale chargée de la lutte contre la pollution et l'amélioration de l'environnement ;

Le décret n° 2003-332 du 27 août 2003 portant gestion des déchets solides en République du Bénin.

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. Il vise essentiellement à :

- prévenir ou réduire la production des déchets et leur nocivité ;
- promouvoir la valorisation des déchets notamment par le recyclage ;
- organiser l'élimination des déchets ;
- limiter, surveiller et contrôler le transfert des déchets.

La présente étude s'inscrit dans le cadre du deuxième point de l'article ci-dessus stipulé.

Somme toute, si la gestion des déchets solides ménagers apparaît dans les grands axes stratégiques nationaux de développement, le cadre juridique de la valorisation des DSM qui existe s'est limité à la déclaration générale sans que les pouvoirs publics ne mettent en place des règlementations qui organisent véritablement le secteur de valorisation des déchets solides biodégradables. Ceci contrairement en France par exemple où la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 et la loi n° 92-646 du 15 juillet 1992 favorisent la mise en place des filières de valorisation des DSM en limitant l'enfouissement aux déchets ultimes.

Mais qu'en est-il du cadre institutionnel de la gestion et valorisation des déchets solides au Bénin ?

1.2.2 Cadre institutionnel

Plusieurs acteurs interviennent dans la gestion des déchets solides au Bénin dont les rôles et les responsabilités sont définis par les textes en vigueur.

Il y a d'abord l'Assemblée Nationale qui est l'organe fondamental de législation au niveau national. Les articles 27, 28, 29, 74, 98 de la constitution du 11 décembre 1990 lui donne les pouvoirs d'orientation générale de la politique environnementale et un pouvoir de contrôle en matière de protection des ressources naturelles et de l'environnement notamment la gestion des déchets (pré collecte, collecte, transport et traitement).

Plusieurs services déconcentrés des ministères de l'Etat interviennent dans le cadre de la gestion des déchets solides à Cotonou. Il s'agit du Fonds National pour l'Environnement (FNE), la Police Environnementale de la Direction Départementale de l'Environnement de l'Habitat et de l'Urbanisme (DDEHU) et la police sanitaire de la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base (DHAB).

La Mairie de Cotonou, au terme du chapitre III de la loi n 97-029 du 15 janvier 1999, portant organisation des communes au Bénin, dispose des compétences, d'hygiène et de salubrité. Dans les communes, la gestion des déchets est partagée entre les producteurs des déchets (populations, ménages, commerces etc.) et la mairie (conseil communal et administration communale). A ce titre, l'élaboration, l'adoption et la mise œuvre d'un plan local de gestion des déchets centré sur le tri-valorisation des déchets solides est du ressort de la commune.

Les ménages et les marchés sont les principaux bénéficiaires des services de la filière de gestion des déchets de la ville. Leur principale responsabilité dans le domaine de la valorisation des DSM est de participer de façon active à la récupération de ces déchets à la source en vue de leur valorisation. La SOGEMA, les organisations non gouvernementales (ONG) de gestion de déchets regroupés au sein de la Coordination des ONG de Gestion des Déchets Ménagers et de l'Assainissement (COGEDA), contribue à l'assainissement du cadre de vie à travers la pré collecte, la collecte, et la valorisation des DSM.

Les Partenaires Techniques et Financiers (PTF) apportent une assistance technique et financière aux acteurs nationaux à travers la mise en œuvre des projets et des recherches-actions.

En somme, il est à noter qu'au cours de ces dernières années, des initiatives ont été prises au plan institutionnel et organisationnel pour développer le secteur de gestion des

DSM. Mais elles sont moins préoccupées de la problématique de valorisation des DSM. On peut citer la création des Ministères de l'environnement, de la décentralisation et la mise en place d'un Fonds National pour l'Environnement, etc. Cependant le respect et la mise en œuvre de ces lois et de ces institutions dans la ville de Cotonou permettront une meilleure efficacité des différents acteurs impliqués dans le secteur.

1.3 Cadre géographique de l'étude

Le cadre géographique de l'étude concerne entre autre les données physiques, humaines et économiques de la ville de Cotonou.

1.3.1 Données physiques, humaines et économiques de la ville de Cotonou

La ville de Cotonou est située en bordure du Golfe de Guinée, sur le bassin sédimentaire côtier du sud-Bénin, dans la plaine littorale d'altitude basse et sablonneuse. Elle est située entre 6° 20'et 6° 24' latitude Nord et entre 2° 22'et 2° 29' longitude Est. Elle est limitée au Nord par le lac Nokoué, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par la commune de Sèmè-Kpodji et à l'Ouest par la Commune d'Abomey-Calavi,(figure1).

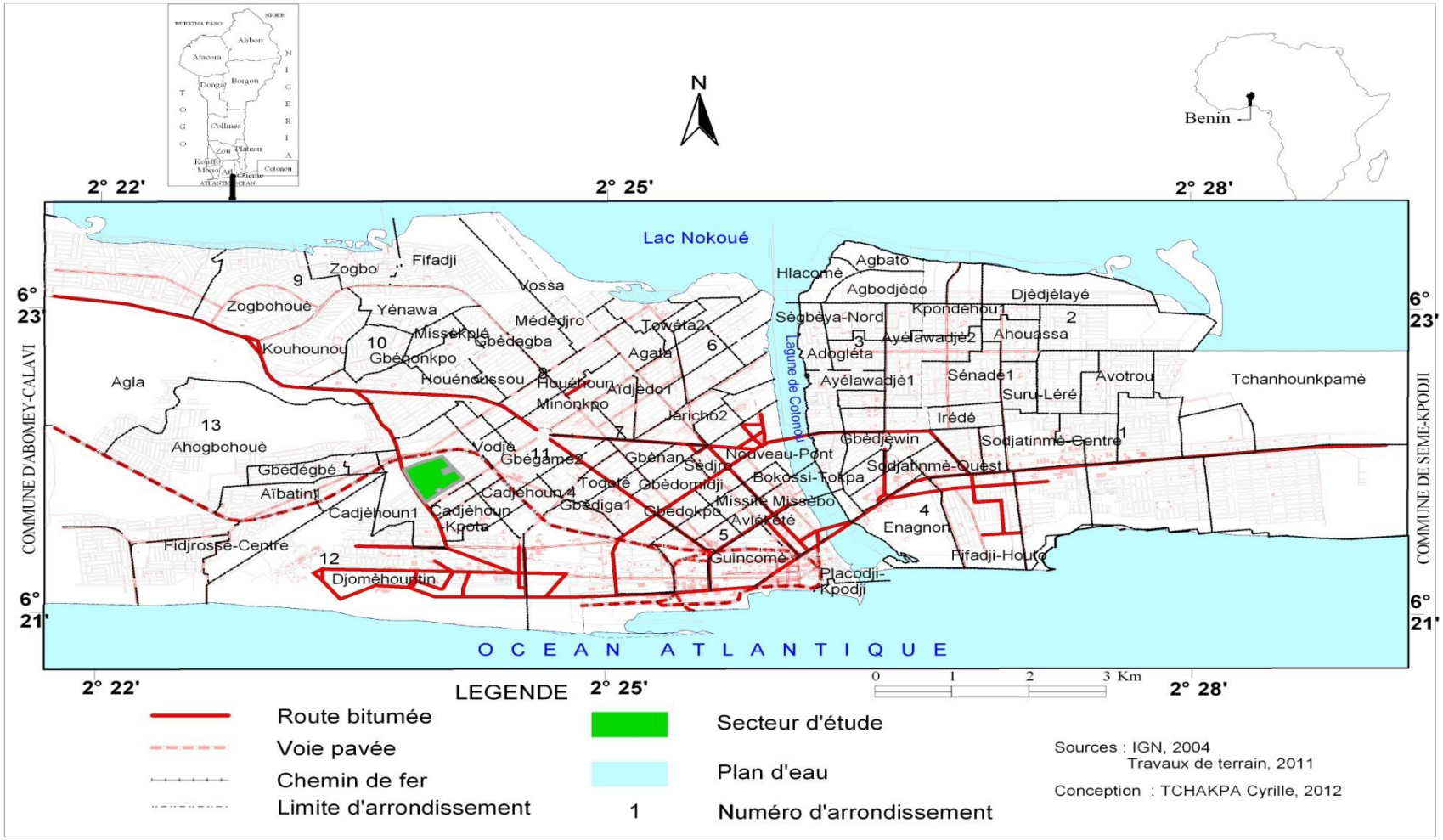


Figure 1 : Situation géographique du site de maraîchage de Houéyiho à Cotonou

La ville de Cotonou est localisée sur un cordon littoral constitué de sables alluviaux présentant deux caractéristiques principales :

- des dépressions longitudinales parallèles à la côte ;
- des bas-fonds dont la superficie s'amenuise progressivement du fait de l'occupation des terres à des fins d'habitation. Elle couvre une superficie de 7006 hectares dont 70 % sont situés à l'ouest du chenal. Trente trois (33 %) de la superficie de Cotonou sont constituées de zones marécageuses et soixante sept (67 %) de zones urbanisées (INSAE, 2004)

La ville est divisée en deux par le chenal encore appelé lagune de Cotonou. Trois ponts permettent la liaison entre les deux parties de la ville. La nappe phréatique affleurante est très exposée aux risques de pollution en saison pluvieuse où on assiste souvent à de grandes inondations (INSAE, 2004).

Le relief de Cotonou est relativement plat et son altitude oscille entre 0,3 et 6 mètres.

Le climat est de type subéquatorial ou béninien, les vents y sont relativement modérés dont la direction est du Sud Ouest au Nord Est. Les précipitations ont lieu principalement entre Mars et Juillet avec un maximum en Juin (300 à 500 mm) et la température moyenne varie entre 27 et 31° centigrades (ASECNA, 2002). On y distingue quatre saisons, à savoir :

- une grande saison sèche de mi-novembre à mi mars ;
- une grande saison pluvieuse de mi-mars à mi juillet ;
- une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;
- une petite saison pluvieuse de mi-septembre à mi Novembre.

En réalité ces saisons sont diversement généreuses à l'agriculture urbaine, une agriculture qui se pratique à plein temps et favorise la sécurité alimentaire.

Quant aux sols, Cotonou s'étend sur des sols sableux, hydromorphes et acides dans leur majeure partie avec une végétation formée des essences de reboisement telles que : *canaldulensis* (eucalyptus), *azadiracta indica* (neems), *terminalia cattapa* (colatiers). Mais il subsiste encore une végétation primitive constituée essentiellement d'espèces marécageuses.

Sur le plan administratif, la ville de Cotonou (ville à statut particulier à l'instar de Porto-Novo et de Parakou) est érigée en département par le découpage administratif et territorial (MDGLAAT, 2007). Ce département est le plus petit des douze (12) du Bénin en termes de superficie (79 km^2). Contrairement à tous les autres départements, celui du Littoral est constitué d'une seule commune qui est la ville de Cotonou. Elle est composée de 13 arrondissements et de cent quarante (140) quartiers de ville (INSAE, 2004). C'est la capitale économique du Bénin.

1.3.1.1 Données humaines

Du point de vue démographique, la population de Cotonou dénombrée est de 678874 habitants au quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat de février 2013 (INSAE, 2013). On en compte 325.284 (47,9) hommes pour 353590 (52,1) femmes et attire les ¾ de la population qui quitte les milieux ruraux pour s'installer dans les centres urbains à la recherche des activités économiques. La croissance démographique a été remarquable dans la ville de Cotonou de 1910 à 2013. Si, en 1910 Cotonou ne comptait que 1954 habitants et en 2013, 678874 habitants, il ressort que sur une période de 100 ans, la population a connu une augmentation de 676920 habitants.

Le nombre de ménages est de 154346. Son poids démographique est de 6,8 % avec une densité de 8593 habitants au km^2 (INSAE, 2013). Bien qu'il soit difficile d'établir un lien direct entre l'âge, le sexe et la production des déchets solides ménagers, il a été constaté que les femmes sont les premiers acteurs de la gestion de ces déchets au sein des ménages. Toute stratégie visant le tri des déchets à la source et la collecte sélective doit se fonder sur une réelle appropriation des objectifs visés par les femmes. Les ethnies majoritairement rencontrées sont les locuteurs fonphonés. On y rencontre également des Mina, des Gouns, des Yoruba, des Tchabè, des Idaasha. La ville est marquée du point de vue des religions par le catholicisme et l'islamisme. Les autres chrétiens et les célestes sont également représentés.

En ce qui concerne les habitations, elles représentent un maillon important du niveau social de la famille. Dans la ville de Cotonou on rencontre quatre types d'habitation : Les habitations précaires se caractérisent par leur état de fragilité, c'est-à dire sont construites par des matériaux précaires (vieilles tôles recyclées ou des bambous

parfois couverts de sachets) et sont parfois installées dans des marécages. Elles représentent 30 % des ménages enquêtés (Gbedo, 2010)

Les habitations de type moyen représentent les 35 % des ménages enquêtés (Gbedo, 2010). Elles sont rencontrées presque partout dans la ville. Leurs murs sont bâtis en ciment avec ou sans crépissage. Des efforts sont faits par ces habitants pour éloigner de leur site d'habitation des déchets.

Les habitations coloniales sont constituées de « vestiges » coloniaux. On les rencontre dans les anciens quartiers comme Xwlacodji, St Michel, Guincomè, Gbéto, etc. Elles ont abrité des administrations coloniales ou utilisées comme résidence des administrateurs coloniaux.

Les habitations à haut standing sont celles qui sont érigées dans presque tous les quartiers notamment dans les quartiers résidentiels. Elles sont construites avec une architecture moderne et représentent 35 % des ménages enquêtés (Gbedo, 2010). Cependant quelques-unes de ces habitations s'observent au milieu de zones marécageuses et insalubres.

Quant aux infrastructures sociocommunautaires, la ville de Cotonou est et demeure la ville qui bénéficie de plus d'infrastructures à cause de son statut de capital économique du Bénin. La couverture sanitaire de la ville est la meilleure de tout le pays. La ville bénéficie de plusieurs centres de santé de référence (Centre Psychiatrique de Djako, Centre National Hospitalier et Universitaire Hubert Koutoukou MAGA et l'Hôpital de la Mère et de l'Enfant). Dans les domaines de commissariats, l'accès à l'eau potable et l'électricité, la couverture est bonne et est assurée. Sur le plan éducatif, Cotonou dispose de 212 écoles primaires publiques et 208 écoles primaires privées (INSAE, 2008) et 400 collèges publics et privés.

1.3.1.2 Activités économiques

Les principales activités économiques pratiquées dans la ville de Cotonou sont multiples et assumées par quelques industries manufacturières, de la pêche, de l'élevage, du jardinage, du transport et surtout du commerce donnant ainsi à la ville l'appellation de la grande ville commerciale du Bénin.

Dans le secteur primaire, l'agriculture urbaine se développe et mobilise une importante main-d'œuvre qualifiée notamment les nationaux. Elle se pratique en toutes saisons et les produits cultivés sont diversifiés (légumes feuilles, légumes fruits, légumes racines).

La pêche est relativement développée et mobilise beaucoup de personnes ; des nationaux comme des étrangers. Dans les nombreux plans d'eau (lacs et lagunes), la pêche se pratique sous plusieurs formes :

- pêche continentale (s'opère dans le lac Nokoué et les étangs piscicoles à l'aide des filets et des acajas)
- pêche maritime artisanale,
- pêche maritime industrielle.

Dans le domaine de l'industrie, c'est le département qui abrite le plus grand nombre d'usines au plan national (les industries agro-alimentaires, chimiques, textiles et artisanales). Les activités artisanales sont assez diversifiées. C'est le département où le secteur moderne est le plus développé.

Sur le plan commercial, le département abrite beaucoup de marchés d'importance locale, nationale et un marché international. Les activités commerciales sont orientées aussi bien vers la consommation intérieure que vers l'importation et l'exportation. Ce département offre d'énormes possibilités touristiques, dispose d'hôtels de luxe et des plages pittoresques. (INSAE, 2008).

Somme toute la concentration de toutes ces infrastructures ajoutées aux activités économiques à Cotonou mobilise une main d'œuvre abondante et entraine l'exode rurale. La conséquence de cette situation est la production croissante des déchets dont la gestion efficace demeure un défi majeur pour tous les acteurs du développement local.

1.3.2 Présentation, description et caractéristique du Périmètre maraîcher de Houéyiho

Situé au bord de la route inter - Etat Cotonou - Lomé et juste à la montée ou à la descente du passage supérieur de houéyiho et plus précisément dans la partie Ouest de la commune de Cotonou, le périmètre maraîcher de Houéyiho abrite le

domaine de l'ASECNA au quartier Cadjèhoun. Il est le plus grand centre de ravitaillement en légumes à Cotonou. (Tokanou et *al,* 2007). Il est localisé dans le 12ème arrondissement de Cotonou d'après le découpage administratif territorial (INSAE, 2004). Il est situé entre 6° 20' 39''et 6° 22' 01'' de latitude Nord et entre 2° 23'45''et 2° 24' 08''de longitude Est. Il limité au Nord par EPP Houéyiho, au Sud par une voie pavée, à l'Est par le quartier Vodjè et à l'Ouest par la route inter Etat Cotonou – Lomé. Sa superficie s'étend environ sur 16 ha pour une population de 354 maraîchers (figure2).

Le relief du site de maraîchage de Houéyiho est morphologiquement hétérogène. Il est basé sur une bande de sable alluvial et d'un ensemble de marécages traversé par deux pistes qui s'acheminent à l'entrée et à la sortie du site.

Le climat est de type subéquatorial ou béninien (ASECNA, 2002), on y distingue quatre saisons comme celles de Cotonou,

Sur le plan pédologique, le site repose sur un sédiment meuble et s'étend en majorité sur des sols sablonneux acides (sols blancs à tendance podzolique). Ces sols, peu évolués de profil, sont d'une grande pauvreté chimique.

Quant aux formations végétales, on peut distinguer un certain nombre de formations de bananiers et de quelques plantations de cocotiers. Concernant les cultures maraîchères le site produit de :

- légumes feuilles : *latuca sativa* (laitue), *solanum macrocarpum*, (Grande morelle) etc.
- légumes fruits : *lycopersicum esculentum* (tomate), Hibiscus *esculentus* (gombo), *capsicum frutescens* (piment) etc.
- légumes racines : *dancus carota* (Carotte), allium capa (oignons) etc. (de SOUZA, 1988)

Sur le plan humain, la population du site dénombrée est de 394 maraîchers regroupés en 5 (cinq) coopératives, donc 79 maraîchers par coopérative (PGDSM, 2010). Les ethnies majoritairement rencontrées sont les locuteurs fonphonés. On y rencontre également des Mina, des Gouns, des Yoruba, des Tchabè, des Idaasha.

Les principales activités économiques du site sont multiples et assumées parla fabrication artisanale du compost et la production maraîchère. Les cultures maraîchères alimentent le marché qui s'anime tous les jours devant le site, elles alimentent aussi le marché de fruits de Cadjèhoun et le marché de la Haie vive (PGDSM, 2010).

La figure 2 présente les traits caractéristiques du site de maraîchage de Houéyiho.

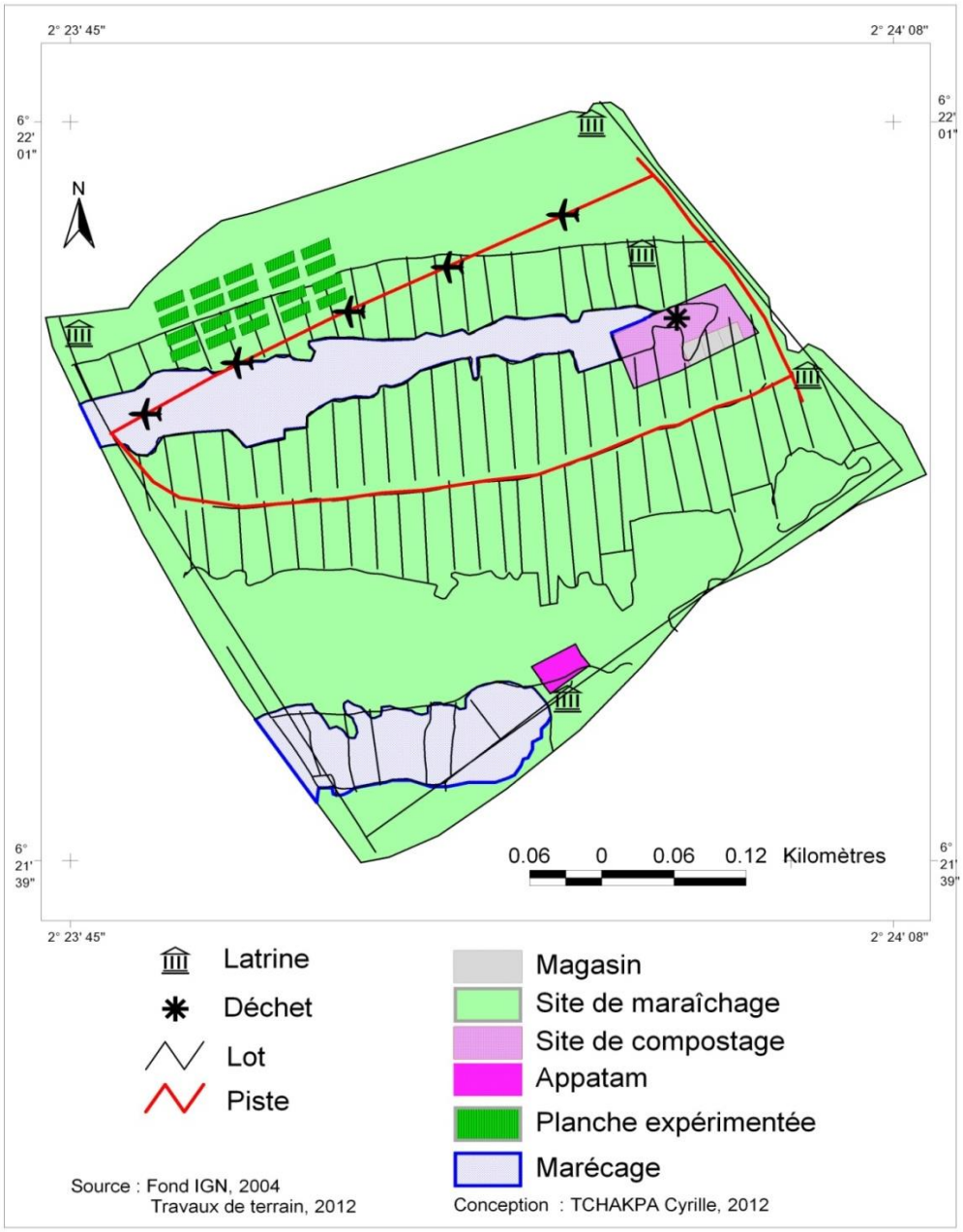


Figure 2 : Localisation du périmètre maraîcher de Houéyiho

Somme toute, la concentration de toutes ces infrastructures dans la ville de Cotonou mobilise une abondante main-d'œuvre et attire l'exode rural. La forte demande en produits maraîchers a poussé une partie de la population (394 maraîchers) à s'intéresser à l'agriculture urbaine et après à la valorisation des déchets par compostage dans le périmètre maraîcher de Houéyiho. Quant aux données physiques, le climat est favorable à ces activités par contre le sol de Cotonou, de par sa nature pédologique a besoin d'un apport en fertilisants organiques pour se rendre disponible aux plantes. Cependant, le développement de ces activités dans la ville de Cotonou a permis de réduire un temps soit peu le problème du chômage.

Le chapitre ci-après présente la méthodologie adoptée pour la conduite de ce mémoire de thèse.

CHAPITRE II :

METHODOLOGIE

2. Méthodologie

La méthodologie suivie dans le cadre de la présente étude a consisté essentiellement à la recherche documentaire, à la collecte d'informations auprès des différents acteurs, à des opérations de pré-collectes et de caractérisation (tri) de déchets ménagers et à la valorisation par compostage de la fraction fermentescible des ordures ménagères. Ensuite il est procédé à des analyses physico-chimiques au laboratoire et à des essais agronomiques pour déterminer la qualité fertilisante du compost fabriqué.

2.1 Recherche documentaire

Cette phase a consisté à parcourir un certain nombre de centres de documentation pour la rédaction du mémoire de thèse. Une étude des différents documents sélectionnés nous a permis de faire le point sur les travaux déjà réalisés sur le sujet et d'approfondir nos réflexions en la matière. Elle est poursuivie jusqu'à la fin de l'étude. Les documents étudiés sont les livres qui nous permettent d'avoir des informations générales sur le sujet ; les thèses, les articles, les mémoires nous renseignent sur les informations spécifiques par rapport aux thématiques et les dictionnaires pour avoir quelques définitions. L' internet a été également notre site de recherche. Les données obtenues sont quantitatives et qualitatives.

2.2 Population d'étude

Tous les 13 arrondissements de la ville de Cotonou sont pris en compte pour cette étude. Les acteurs de la filière de gestion des déchets solides ménagers constituent la population enquêtée. Ces acteurs sont supposés comme étant ceux capables de fournir des informations recherchées sur les déchets et leur valorisation. La composition de ces acteurs est la suivante :

- les structures de gestion et de valorisation par compostage des déchets solides ménagers à Cotonou (mairie et ONG) ;
- les producteurs des déchets solides ménagers sont les ménages, les marchés, les services administratifs et les écoles ;
- les agriculteurs composteurs urbains sont les récupérateurs, producteurs et utilisateurs de compost et les consommateurs.

Les personnes ou structures ressources qui sont représentées par le Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU), l'Agence Béninoise pour l'Environnement (ABE), Fonds National pour l'Environnement (FNE), Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base (DHAB), Centre Régional pour l'Eau Potable et d'Assainissement (CREPA), Mairie de Cotonou (DST), ONG BETHESDA, et la Société de Gestion des Marchés Autonomes (SOGEMA).

2.3 Collecte des données

Elle porte sur la détermination de l'échantillonnage, le choix des techniques et outils de collecte des données puis les enquêtes de terrain proprement dites.

2.3.1 Taille des échantillons et techniques d'échantillonnage

Il a été adopté la méthode non probabiliste. La technique utilisée dans le cadre des présents travaux de recherche consiste à opérer des choix et à établir la liste de la population d'enquête. Ainsi, le choix par catégorie socioprofessionnelle et par catégorie des personnes ressources au niveau des quartiers de ville a été effectué à partir de ces listes.

2.3.1.1 Les ménages

Tous les 13 arrondissements sont pris en compte. Pour ce faire, il a été procédé à un choix raisonné de 13 quartiers habités par des personnes d'un niveau de vie moyen. Les murs de leur habitation sont bâtis en ciment avec ou sans crépissage et une toiture en tôle. La tranche d'âge des chefs de ménage interrogés est comprise entre 30 à 70 ans. Un échantillon de 5 % du nombre des ménages par quartier, soit un total de 593 ménages a été constitué et un membre par ménage a été soumis au questionnaire. Les échantillons constitués par quartier sont présentés dans le tableau I.

Tableau I : Caractéristique de l'échantillon enquêté

Arrondissements	Quartiers cibles	Nombre de ménages	Echantillon 5 %
1 er	N'venamede	780	39
2ème	Kpondehou II	373	19
3ème	Segbèya sud	482	24

4ème	Dedokpo	1114	55
5ème	Guincome	419	21
6ème	Dantokpa	587	29
7ème	Sehogan	696	34
8ème	Agontikon	1224	61
9ème	Zogbo	1215	61
10ème	Vedoko	952	47
11ème	Gbegamey I	758	37
12ème	Cadjehoun	860	43
13ème	Aibatin II	2460	123
TOTAL	-	11920	**593**

Source : enquête de terrain, décembre 2009

2.3.1.2 Les autres groupes ciblés

Les marchés : Les autres producteurs de déchets solides biodégradables sont des marchés. Aujourd'hui, 40 marchés sont identifiés à Cotonou, un échantillon de 5 % soit 2 marchés (Dantokpa et St Michel) qui constituent un groupe ciblé. Les déchets de ces marchés font l'objet de caractérisation et de compostage. Le tableau II présente les caractéristiques de l'échantillon des deux marchés.

Tableau II : Caractéristiques de l'échantillon des deux marchés

Secteurs	Nombre de marchands	Nombre de femmes
Bâtiments	35	15
Hangars	35	15
Kpodji	35	15
Caniveau/Lac	35	15
Total	**140**	**60**

Source : enquête de terrain, décembre 2011

Les agriculteurs composteurs urbains : vingt trois (23) sites de maraîchage ont été identifiés et géo référencés à Cotonou. Un échantillon de 5% soit un site (site de

maraîchage de Houéyiho qui constitue le domaine de nos différentes expérimentations. Et les personnes ressources identifiées ont été prises en compte de façon exhaustive.

Tableau III : Echantillon des maraîchers enquêtés

Site maraîcher de Houéyiho	populations enquêtées	Echantillon 5%
Maraîchers	394	20
Agriculteurs composteurs	198	10

Source : enquête de terrain, avril 2012

2.3.2 Choix des techniques et outils de collecte de données

L'exploitation documentaire, les observations directes et participantes, les entretiens et interviews sont les techniques utilisées pour la collecte des données compte tenu des spécificités et des informations recherchées. Les grilles d'observation, les guides d'entretiens, et les questionnaires sont constitué les principaux outils de collecte des données utilisés respectivement dans le cadre des observations directes, des enquêtes menées auprès des ménages, des marchés, des sites de maraîchage des autorités locales, et des structures ressources. Les données collectées sont celles socio-économiques et culturelles, données démographiques, données sur l'usage des engrais chimiques et du compost dans l'agriculture urbaine et leurs conséquences sur l'environnement.

2.4 Caractérisation des déchets

Avec les composteurs, la collecte des déchets solides est effectuée pendant 4 semaines dans les marchés et sont convoyés dans le site de maraîchage de Houéyiho. En effet les déchets obtenus après mélange sont immédiatement pesés et triés à main levée en onze catégories à savoir : 1)- matières biodégradables composées majoritairement des déchets de cuisine (épluchures de fruits, de légumes, restes de repas…) et de déchets végétaux (feuilles mortes, branchages, fleurs et débris de bois) ; 2)- matières minérales fines constituées principalement de sable fin et de cendres ; 3)- matières plastiques (ce sont surtout des objets à base de dérivé de pétrole à savoir : sachets, sacs, vieux ustensiles, jouets et caoutchouc) ; 4)- papiers et cartons 5)- matières métalliques (boîtes de conserve et rebus des forges) ; 6)- textiles et morceaux de matelas ; 7)- verres (morceaux de verre cassé et bouteilles en verre) ; 8)- les chaussures et/ou morceaux de cuir ; 9)-

coquillages et perles ; 10)- gravions et morceaux de briques ; 11)- les piles usagées . Chaque fraction est ensuite pesée et le pourcentage des différents composants calculé.

2.5 Valorisation par compostage

La technique adoptée est le compostage aérobie. Les matières biodégradables qui constituent le matériel organique fermentescible des ordures des marchés, sont utilisées pour la réalisation de trois andains rectangulaires de dimensions 7m x 2m x 1,50m. Les trois andains sont espacés de 2m. Les mesures de température et d'humidité sont régulièrement relevées. Au cours de cette étape, la prise est effectuée une fois tous les dix jours, à l'aide d'un thermomètre portatif. En cas de baisse de la température, les andains sont retournés pour permettre l'aération de ces derniers et relancer l'activité microbienne. Chaque retournement est suivi d'un arrosage contrôlé. Le retournement permet le brassage complet du compost et son évolution homogène. Au bout de 3 mois environ le compost arrive à maturité. Il est stocké en tas et bâché dans un coin où la maturation continue encore pendant deux semaines et plus. Après ce temps il est mis en sac et conservé dont un échantillon est prélevé pour les analyses physico-chimiques et les essais agronomiques. (Adjademen, 1994)

Par ailleurs, l'analyse des impacts des déchets, du compost, des engrais chimiques sur l'agriculture urbaine est faite en utilisant le modèle PEIR (Pression-Etat- Impacts-Réponses) présenté à la figure 3.

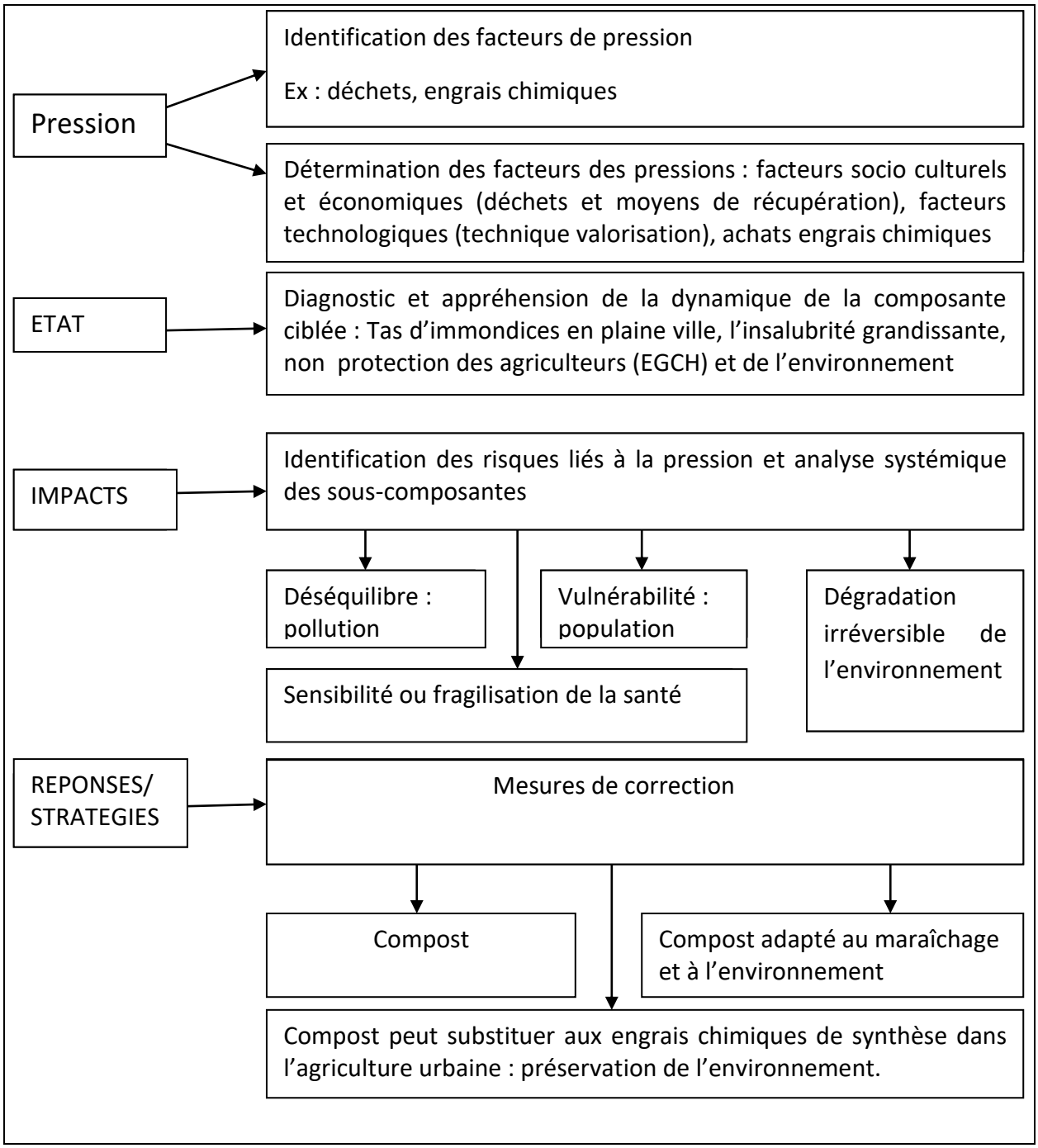


Figure 3 : Modèle d'analyse de valorisation des déchets comme alternative à l'utilisation des engrais chimiques dans le maraîchage

L'utilisation du modèle PEIR comme base d'analyse a permis d'évaluer l'état et les tendances en se focalisant sur la connaissance des déterminants de la pression (déchets, engrais chimiques utilisés dans le maraîchage) sur les composantes environnementales (air, eau , sols et végétation). Les impacts qui résultent de ces déterminants sont négatifs et les réponses apportées par les populations et les travaux terrains (compost) constituent des mesures correctives.

2.6 Analyses physico-chimiques au laboratoire.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées respectivement dans le Laboratoire de Chimie Inorganique et de L'Environnement (LACIE) de la FAST et dans le Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et de l'Environnement (LSSEE) de l'INRAB. Pour la plupart de ces analyses les normes AFNOR sur la « Qualité des sols » ont été utilisées. (Mathieu et *al.* 2003 ; AFNOR, 2004). Les similitudes de composition et de caractéristiques physico-chimiques entre les sols et les sédiments ont motivé l'utilisation de ces normes. Les principaux matériels utilisés sont présentés dans le tableau I.

2.6.1 Préparation des échantillons pour analyse

L'échantillon destiné à l'analyse a été soumis aux différents traitements selon la norme NF X31-101 qui consiste au séchage à l'air ambiant (environ 40°C) à l'émottage au tamisage à l'aide d'un tamis de taille de 2mm de diamètre et à la mise en boîte des échantillons ainsi obtenus (Mathieu et *al*. 2003 ; AFNOR, 2004)

2.6.2 Caractérisation physico-chimique des composts

La teneur en humidité résiduelle (norme NF X31-102) a été déterminée par différence de masse sur 10,0 g de compost après séchage à 103 ± 2°C jusqu'à ce que la masse soit constante à l'étuve (Guevara-Riban, 2004 ; AFNOR, 1994)

Le pH (eau) : Ici 20 g de compost ont été dissous dans 50ml d'eau déionisée. Après 20 min d'agitation, on laisse décanter le mélange pendant 30minutes et on prend le pH à l'aide d'un pH mètre de type HANNA HI 8014.

Le pH (KCl) : La démarche expérimentale est la même que précédemment à la seule différence que l'eau distillée a été remplacée par une solution de KCl 1M. L'intérêt de cette mesure est qu'elle permet d'évaluer la contribution du complexe argilo humique dans l'acidité de la solution du sol. Car le KCl libère des ions H+ du complexe argilo humique qui viennent s'ajouter à ceux libres dans la suspension. Ainsi le pH (KCl 1M) est plus faible que le pH (eau) de 0,5 à 1 unité en moyenne.

La conductivité électrique a été également déterminée sur une suspension compost/eau dans un rapport de 1/5 (en masse/volume) après 1 h d'agitation puis filtration

sur papier Whatman à 0,45 µm. Les **carbonates** ont été déterminés suivant le protocole de Rauret (1988) par dosage en retour acido-basique pour 5,0 g de sédiment sec finement broyé. Le **carbone inorganique** correspond au cinquième du taux de carbonate. La **matière organique** totale a été déterminée par la méthode à la perte au feu à 450 °C pendant 3 heures pour 0,5 g de sédiment (Mathieu et al, 2003 ; AFNOR, 2004). Pour la détermination du **carbone organique**, nous aurons recours à la troisième méthode qui est celle qui utilise la relation inverse de Walkley et Black (2010) où le carbone organique correspond à 58 % du taux de matière organique. Le **carbone total** sera égal alors à la somme du carbone organique et du carbone inorganique. Le dosage par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (SAA) type Perkin-Elmer, modèle 2380, avec flamme air/acétylène du fer (Fe), du manganèse (Mn), du phosphore (P), et du plomb (Pb) a été réalisé sur 0,25 g de sédiment finement broyé puis minéralisé par la méthode aux mélanges d'acides perchlorique et fluorhydrique (Pagnanellia et *al*., 2003). La norme NF X 31-151 est utilisée pour décrire la mise en solution des éléments métalliques traces, par attaque aux acides chlorhydrique et nitrique (communément dite méthode de l'eau régale) ou par attaque à l'acide fluorhydrique. Ces méthodes conduisent à l'obtention d'une solution destinée à des dosages par spectrométrie d'absorption ou d'émission atomique.

La première méthode, celle à l'eau régale, à pour principe la mise en solution de l'échantillon dans un mélange d'acide chlorhydrique et nitrique par ébullition sous réfrigérant à reflux. L'inconvénient c'est qu'elle ne permet pas la mise en solution des métaux liés à la structure silicatée. La méthode à l'acide fluorhydrique par contre, permet de dissoudre les composés silicatés. Cette méthode nécessite une calcination préalable à 450°C (afin de détruire la matière organique), suivie d'une mise en solution dans de l'acide fluorhydrique concentré en présence d'acide perchlorique. Après élimination des acides fluorhydrique et perchlorique par évaporation, le résidu est attaqué par les acides chlorhydrique et nitrique. L'inconvénient de cette méthode est l'éventuelle perte d'éléments sous forme de composés volatils tels que le mercure (Hg) ou le plomb tétraéthyle lors de la calcination ainsi que l'évaporation de la silice sous forme de SIF4. La méthode qui a été choisie pour cette étude est celle de l'acide fluorhydrique puisque les inconvénients de cette méthode n'impacte point les paramètres ciblés. On pèse 0.25 g d'échantillon préparé pour essai dans une capsule en quartz, on la place dans un

four (four) puis on calcine à 450°C pendant 3 heures, on retire la capsule et on laisse refroidir.

Le résidu solide est ensuite transféré dans une capsule en PTFE, on ajoute 5ml d'acide fluorhydrique (48 %) et 1,5ml d'acide perchlorique (70 %), on porte sur une plaque chauffante et on laisse évaporer à sec.

Toujours sur la plaque, on ajoute 3,75 ml d'acide chlorhydrique (38 %) et 1,25 ml d'acide nitrique (65 %), une fois la dissolution finie, on verse la solution dans une fiole jaugée de 100 ml, on complète au volume par de l'eau déminéralisée et on analyse à l'appareil SAA (Spectromètre d'Absorption Atomique). L'appareil qui a été utilisé pour la mesure des concentrations des différents éléments est un ULTIMA 2 de JOBIN YVON HORIBA.

Extraction séquentielle : La procédure d'extraction séquentielle a été appliquée pour la spéciation du fer et du manganèse.

Pour effectuer l'extraction séquentielle, la méthode de TESSIER et *al* (1979) a été utilisée. Elle est basée sur l'utilisation d'une série de réactifs plus ou moins sélectifs choisis pour solubiliser successivement les différentes fractions minéralogiques. La solubilisation de ces fractions, conduit à la libération des métaux qui leur sont liés par différents mécanismes : l'échange d'ion, absorption, co-précipitations, complexation….

Pour effectuer les expériences, on pèse 1 g d'échantillon dans un tube à centrifugation en polyéthylène de 40 ml auquel on applique le protocole d'extraction séquentielle décrit dans le Tableau IV. La cinquième fraction n'a pas été déterminée expérimentalement tel que décrit dans le protocole. Elle a été calculée par différence entre la concentration totale des éléments (après minéralisation complète), et la somme des quatre fractions. Entre deux étapes d'extraction successives, le sédiment est centrifugé pendant 15 min à 4500 µm. Le surnageant est ensuite filtré (filtre papier 0,45 µm), acidifié avec quelques gouttes d'acide nitrique, puis complété à 25 ml avec de l'eau déminéralisée et immédiatement analysé. Le résidu solide est utilisé pour l'étape qui suit après lavage à l'eau déminéralisée (10 ml), centrifugation et filtration.

Tableau IV : Schéma d'extraction séquentielle du fer et du manganèse pour 5,0 g d'échantillon

Fractions	Réactifs d'extraction	Volume (ml)	Temps (h)
Echangeable	1M MgCl2, pH7, 20°C, agitation continue	8	2
Acido-soluble (CO_3^{2-})	1M CH3COONa/CH3COOH, pH5, 20°C, agitation continue	8	24
Réductible (Fe; Mn)	0,04M NH2OH, HCl + 25%CH3COOH, 95°C agitation intermittente	20 (20)	24
Oxydable (M.O.)	30% H2O2 , 0,02M HNO3, pH2, 85°C, agitation intermittente, 3,2M CH3COONH4, + 20% HNO3	5 3 5	10 2
Résiduelle	40% HF + 60% HClO4 (Minéralisation totale)	5	à sec
Teneur totale en métal	40% HF + 60% HClO4 (Minéralisation totale)	10	A sec

Source : Analyse au laboratoire de Chimie Inorganique et de L'Environnement (LACIE) FAST 2013

2.7 Essais agronomiques

2.7.1 Caractéristiques du sol du site d'expérimentation

Les expérimentations sont faites sur le site de maraîchage de Houéyiho. Le sol a une couleur brune et une texture limono sablonneuse, perméable à l'eau et pauvre en matière organique, donc très peu fertile.

2.7.2 Dispositif expérimental

Le dispositif adopté sur le site d'expérimentation est le Bloc Aléatoire Complet (BAC) de Fisher avec 5 traitements (1 à 5) et 4 répétitions répartis de façon aléatoire. Les dimensions des planches, les distances entre deux planches de même bloc et les distances entre blocs sont représentées sur le schéma du dispositif (Figure 4).

La dose de compost apportée est de 20 tonnes par hectare (en poids sec) soit 6 kg de compost par parcelle élémentaire de superficie de 3 m^2.

Schéma du dispositif expérimental **:**

20 planches de dimension 3 m x 1 m chacune

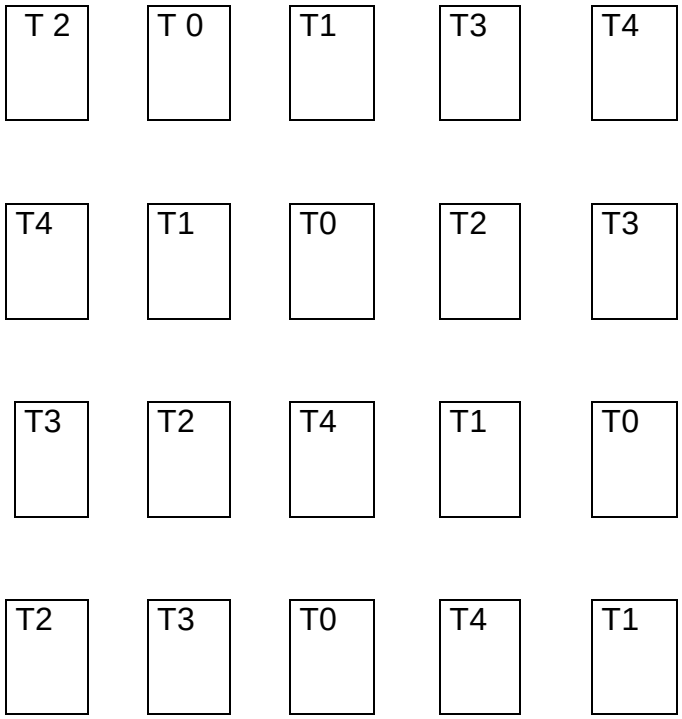


Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental

Traitements :

T0 : fumure minérale : 100g de NPK + 100g d'urée (/3m^2)

T1 : compost 0,5 dose (1,5 kg/3m^2)

T2 : compost 1 dose (3 kg/3m^2)

T3 : compost 1,5 dose (4,5 kg/3m^2)

T4 : compost 2 doses (6 kg/3m^2) + fumure minérale vulgarisée (100 g de NPK+100 g d'urée)

Objectif des essais agronomiques

Mettre en exergue les qualités fertilisantes du compost fabriqué et déterminer les quantités optimales de compost nécessaire pour un rendement optimum de la culture de la Grande morelle (*solanum macrocarpon*).

Matériels utilisés

Différents matériels ont été utilisés pour la collecte des déchets et des données. En dehors des outils, il faut noter que pour la collecte des déchets: charrettes à traction et pour les données le GPS pour la prise des coordonnées géographiques.

Pour la caractérisation et le compostage: perles fourches, coupe - coupes, gants, cache-nez, bottes, balances de marque diamont (5 kg-150 kg), déchets organiques fermentescibles, un thermomètre portatif pour la prise de la température dans les tas, tamis, sacs de 50 kg pour le conditionnement du produit fini sont utilisés.

Le matériel végétal utilisé pour les essais agronomiques en milieu réel est la Grande morelle (*solanum macrocarpon*). Le choix de cette plante est dû au nombre de fois de coupe après la maturation, elle plus commercialisée que les autres (laitue) d'après les enquêtes. Elle est une plante herbacée qui peut atteindre 1 à 2 mètres de hauteur. Ces feuilles sont plus ou moins lisses et lobées, une couleur verte foncée, un coriace dont la taille et la forme peuvent varier jusqu'à 50 cm selon les variétés et très adaptée à l'environnement du site.

La photo 1 montre le repiquage des plantes de la grande morelle.

- **Techniques culturales**



Photo 1 : Repiquage des plantes de la grande morelle sur le site de Houéyiho
Prise de vue : ACLASSATO (juin 2013)

Les semences de la grande morelle ont été mises en pépinière pour avoir les plantules à repiquer sur les planches préparées. Le compost a été épandu sur les planches une semaine avant le repiquage des plants. Cette durée permet l'incorporation de la matière organique. La densité des semis au repiquage sur chaque plant est de 60 plants soit 12 plants disposés sur cinq lignes de longueur avec un espacement de 20 cm. Au total 1200 plants ont été repiqués sur le dispositif.

La photo 2 traduit le suivi (l'arrosage) et l'entretien des plants.

- **Suivi et entretien de la culture**



Photo 2 : Arrosage et entretien des plantes
Prise de vue : ACLASSATO (juillet 2013)

L'arrosage des jeunes plantes après le repiquage permet à ces dernières de fixer leurs racines au sol et de reprendre leur équilibre ; ceci est d'autant plus important car les plantes tirent leur substance nutritive des planches sur lesquelles sont incorporés les fertilisants organiques. L'arrosage se fait 3 fois par jour et ce pendant les deux premières semaines après le repiquage et deux fois par jour pendant quatre semaines. L'entretien consiste à procéder au désherbage, au billonnage et à utiliser des produits phytosanitaires.

- **Evaluation des rendements agricoles**

La photo 3 illustre la prise des mesures de la grande morelle sur le dispositif adopté.



Photo 3 : Prise des mesures au niveau des plants

Prise de vue : ACLASSATO (septembre 2013)

En effet Les paramètres agronomiques ont été mesurés au cours de chaque semaine par la prise des données suivantes :

-nombre de plants ;
-nombre de feuilles ;
-hauteur tige ;
-circonférence tige ;
-circonférence voute foliaire.

A maturité le rendement en poids frais et sec a été évalué. Une récolte est faite sur une surface utile de 0,25 m^2 prises de façon aléatoire au niveau de chacune des planches. La biomasse obtenue est pesée Pt, puis une fraction P1 est prélevée, hachée et placée à l'étuve à 105°C pendant 72 heures pour déterminer la teneur en matière sèche.

2.8 Traitements, et analyses des données

Les fiches d'enquête, après avoir été dépouillées manuellement sont codifiées et ensuite traitées à l'ordinateur avec le logiciel Word et Excel.

Le dépouillement des données qualitatives a suivi 3 étapes: la constitution des classes thématiques, le regroupement des interviews par classes thématiques, et enfin l'analyse de ses classes thématiques.

Une codification des données quantitatives est effectuée saisie et analysée grâce au logiciel Excel. La fréquence des différentes variables est calculée. Les photographies effectuées sont imprimées classées et analysées.

Les travaux cartographiques de laboratoire consistent essentiellement à la numérisation du fond de carte (IGN, 2012) sur lequel sont projetées les coordonnées géographiques du site de maraîchage de houéyiho identifié sur le terrain, des points de regroupement des déchets des marchés Dantokpa et Saint Michel et les 140 quartiers que constitue la ville de Cotonou. Il a été procédé par la suite à l'établissement de la carte du site proprement dit, à la carte de situation géographique du site dans Cotonou et à la carte des points de regroupement et de collecte des déchets.

Ensuite, s'agissant des valeurs agronomiques, le test de Fisher (2004) est utilisé pour la comparaison des moyennes des différents traitements et leur séparation est faite par le test de Kruskall-Wallis avec calcul de la Plus Petite Amplitude Significative au seuil de 5%.

En conclusion partielle la valorisation des déchets solides ménagers dans la ville de Cotonou a nécessité une méthodologie appropriée qui a été adoptée. En fonction de celle-ci, les résultats suivants ont été obtenus.

CHAPITRE III :

RESULTATS DES TRAVAUX

3. Résultats des travaux

Ici il s'agit de présenter les résultats obtenus lors des différents travaux de terrain à savoir la caractérisation des ordures ménagères, la mise en œuvre des andains, le suivi du compostage, les analyses physico chimiques aux laboratoires et les essais agronomiques.

3.1 Caractérisation des ordures ménagères de Cotonou

Les enquêtes menées auprès des ménages, des potentiels marchés et structures de valorisation ont permis de faire un état des lieux sur une politique de gestion des ordures ménagères à Cotonou afin d'apprécier leur connaissance.

3.1.1 Dans les ménages

Les composants des déchets solides ménagers dans la ville de Cotonou sont répartis en 10 catégories. La figure 5 présente les résultats obtenus auprès des ménages**.**

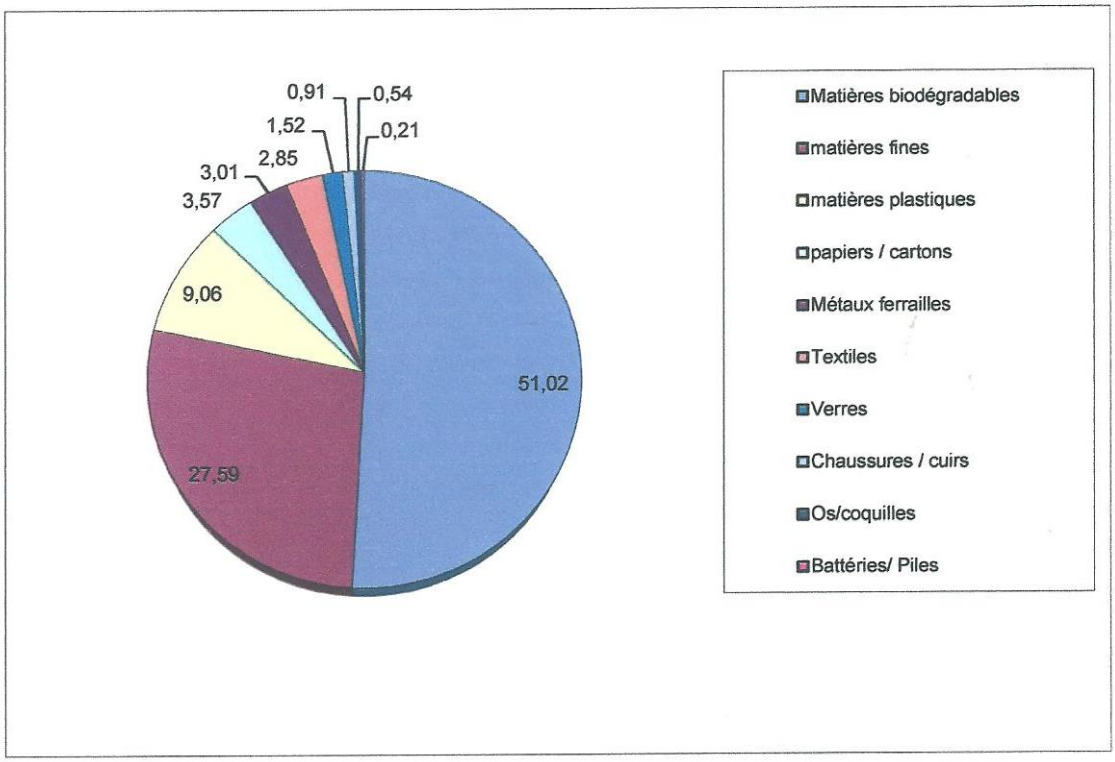


Figure 5 **: Caractéristiques des ordures ménagères de Cotonou**

Source : Enquête de terrain, janvier à février 2012

L'analyse des données de la figure 5 montre que 91,7 % des ménages enquêtés possèdent de poubelles et 63,33 % sont abonnés à une structure de pré-collecte ; les matières biodégradables occupent le pourcentage le plus élevé (51,02 %) du poids total des déchets. Cette forte proportion de matières biodégradables s'explique par une frange de notre échantillon qui constitue de vendeuses de denrées périssables (fruits et légumes) dont les déchets provenant de leurs activités commerciales viennent grossir leurs ordures ménagères. Cette forte proportion occupe la première place avec 51,02 % de déchets biodégradables produits par jour à Cotonou si l'on considère la production journalière de 708 tonnes (Dessau, 2007). Ce qui révèle la possibilité de valorisation par compostage avec un tri sélectif à la source. Par la suite, les matières fines (sable, cendre) constituent 27,59 %. Cette proportion importante des matières fines s'explique par la nature du sol qui est sablonneuse et la technique de balayage dans les maisons. Quant aux autres déchets non biodégradables, ils sont constitués de 9,06 % de matières plastiques; 3,57 % de papiers et cartons ; 3,01 % de métaux/ferrailles ; 2,85 % de textiles ; 1,52 % de verres ; 0,91 % de chaussures/cuirs ; 0,54 % d'os et coquilles ; 0,21 % de batteries/piles usagées.

Une étude réalisée en 2013 par l'INSAE a montré que la production des déchets à Cotonou jusqu'en 2020 évolue de façon progressive. Elle est présentée dans le tableau V.

Tableau V : Evolution estimée de la production des DSM à Cotonou de 1992 à 2020

Années	Population de jour	Production journalière de DSM (tonnes par an)
1992	536827	289. 887
2002	665100	359.154
2013	678874	400.536
2020	687645	405.711

Source : INSAE, 2013

En réalité cette étude a été faite en tenant compte d'une proportion de 0,54 kg/jour/habitant de 1992 à 2002 puis une production de 0,59 kg/jour/habitant de 2003 à 2013. L'estimation de la population de 2020, est faite sur la base d'un taux de

croissance annuelle de 0,18 % (INSAE, 2013). Sur la base de ces données, il est à noter qu'en 2020 la production de déchets solides ménagers atteindrait 405711 kg par jour, soit 148814,52 tonnes par an.

3.1.2 Caractéristiques des déchets produits dans les marchés : Dantokpa et Saint Michel

En fonction des produits vendus dans ces marchés, différentes zones ont été identifiées et les déchets produits sont présentés dans le tableau VI :

Tableau VI : Présentation des éléments Caractéristiques des déchets produits à Dantokpa et à Saint Michel par zones de vente

Secteurs	Zones de	Produits vendus	Types de déchets
CANIVEAU/LAC	Légumes	Produits maraîchers, Produits vivriers, Produits de la pharmacopée (feuilles, écorces, racines de plantes médicinales), Bois et produits artisanaux	Débris végétaux et bois
	Fruits	Toutes sortes de fruits tropicaux selon les saisons (mangues, oranges, citrons, ananas, avocats….)	Déchets fermentescibles : fruits pourris et divers noyaux, pépins, tranches et épluchures de fruits. Débris de paniers et sacs en jute, sachets plastiques
	Bouteilles	Bouteilles récupérées et revendues	Verres (bouteilles cassées)
		Dépouilles d'animaux et ustensiles de vaudou	Matières plastiques Restes d'animaux
	Appatams	Produits vivriers en détail (maïs, haricot, riz, tomate, gombo, oignon)	Déchets fermentescibles (végétaux et animaux)
		Huile, conserves, poisson Boucherie	Papiers cartons Plastiques : sachets et bidons. Métaux : reste de boites de conserve
KPODJI	Parking	Produits vivriers en gros (oignons, ails, maïs, tubercules….)	Déchets fermentescibles : restes de produits vivriers et de fruits
		Fruits	Débris de paniers et sacs en jute
	Charbon	Charbon	Débris de sacs en jute ou en plastique Débris de paniers
	Volailles	Volailles de toutes variétés	Déchets fermentescibles : plumes et fientes de volailles Bois : débris de paniers servant de cages aux animaux
	Tubercules	Tubercules en gros : ignames, manioc, patates et taro	Déchets fermentescibles : restes de tubercules. Débris de paniers et sacs en jute et en plastique

	Condiments	Condiments : tomate piment, oignon légume, gombo, moutarde, œuf, poissons, crevette, crabe gingembre, sel, huile diverses conserves	Déchets fermentescibles : Tomates pourries et autres matières végétales et animales Matières plastiques Papiers cartons
	moutons	Caprins	Excréments d'animaux Débris végétaux issus de l'alimentation des animaux
HANGARS	Pièces	Pièces mécaniques de toutes sortes Appareils électro ménagers	Matières métalliques Papiers cartons Matières plastiques
	Produits manufacturés	Bijoux, tissus, chaussures, produits de soins et cosmétiques Ustensiles de cuisine, récipients plastiques	Matières métalliques Papiers cartons Matières plastiques
	Médicaments	Médicaments de toutes sortes et autres produits pharmaceutiques, produits de mercerie	Déchets médicaux, Papiers cartons Textiles et fibres
BATIMENTS	Bâtiments principaux et autres	Produits manufacturés : bijoux, tissus, liqueurs layettes	Textiles et cuirs Emballages (cartons, chiffons Plastiques)
	Autour des bâtiments	Produits manufacturés : tissus habits, chaussures et produits cosmétiques	Emballages (cartons, papiers, plastiques) Textiles et cuirs, bois et sable

Source : Enquête de terrain, décembre 2011

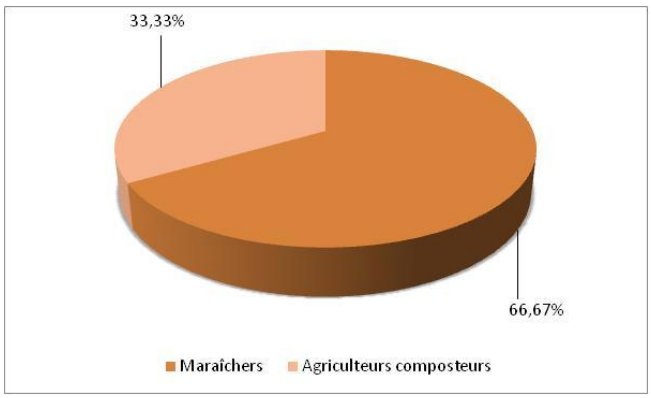
L’analyse de ce tableau montre clairement que tous ces déchets se retrouvent soit sur les artères des marchés Saint Michel et de Dantokpa, soit dans des paniers pris comme poubelles à côté des étalages attendant d’être enlevés par les femmes « Gbobeto » soit à divers endroits au bord du caniveau à ciel ouvert depuis le marché Saint Michel débouchant sur la lagune, derrière le terrain de sport de HINDE, à Gbogbanou et à Wèdèmè (Kpodji). La majorité des déchets retrouvés dans les deux marchés sont assimilables aux ordures ménagères. La composition de ces déchets est classée par ordre de proportion suivante :

- déchets fermentescibles constitués essentiellement de matières végétales et animales ;
- déchets combustibles constitués essentiellement de matières plastiques, du bois et chiffon-Papiers, cartons ;
- matières inertes constituées de métaux, verres, piles usagées ;
- tissus, chaussures et cuirs ;
- matières fines constituées du sable, débris de charbon.

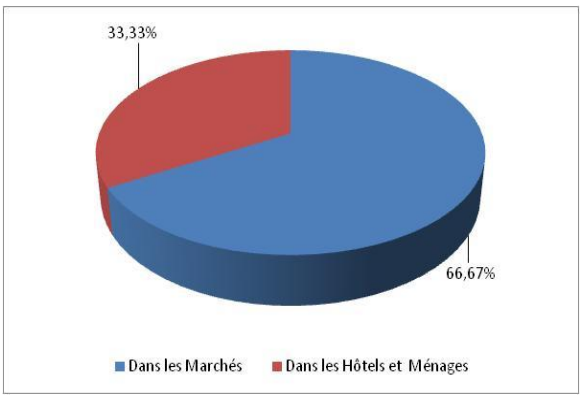
La quantité totale des déchets produits est en moyenne 2401, 20 kg par jour. Dans les deux marchés les déchets rencontrés en forte proportion sont les déchets fermentescibles et les emballages en plastiques, en carton et autres. Ces déchets engendrent des nuisances pour les riverains et usagers et polluent l’environnement des marchés. La valorisation de ces déchets permettra à coup sûr de réduire les nuisances observées dans les marchés.

3.1.3 Résultats d’enquête des maraîchers et producteurs de compost de Houéyiho

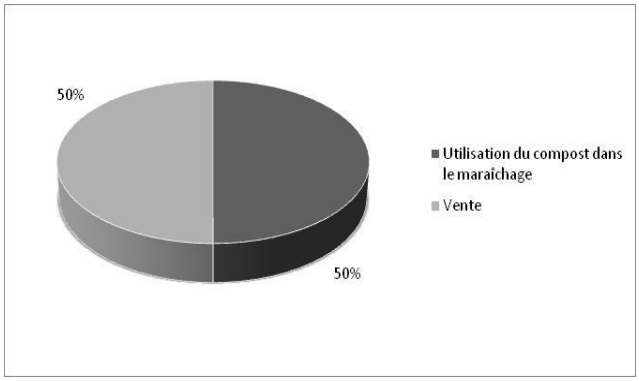
La figure 6 ci-après présente les résultats obtenus auprès des maraîchers et agriculteurs/composteurs du périmètre maraîcher de Houéyiho.



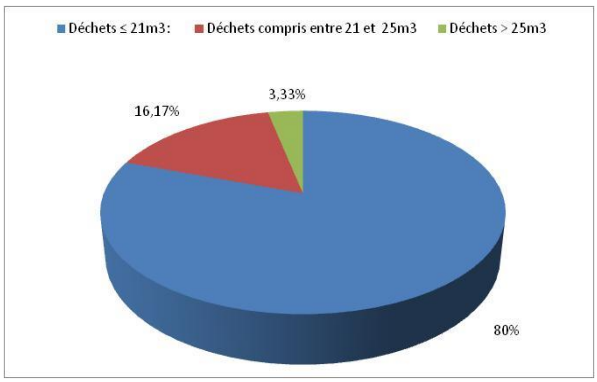
Ra : Résultats auprès des maraîchers et agriculteurs composteurs



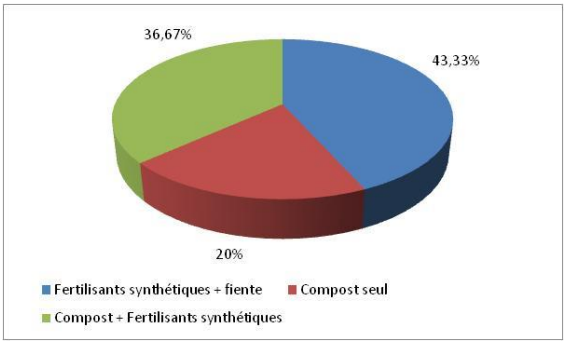
Rb : Déchets collectés dans les marchés



Rd: Composts utilisés dans le maraîchage



Rc: Volume de déchets compostés par cycle



Re: Fertilisants utilisés dans le maraîchage

Figure 6: Résultats obtenus auprès des maraîchers et/ou composteurs de Houéyiho

Source : Enquête de terrains, 2012

66,67 % des personnes interrogées sont des maraîchers, 33,33 % sont des agriculteurs composteurs et sont constituées également des collecteurs des déchets (Ra). Ces agriculteurs composteurs reconnaissent faire le compostage à partir de matières premières récupérées dans les marchés (Rb). Ils utilisent des matières biodégradables pré-triées à la source. Ils affirment tous faire le compostage aérobie en trois mois au maximum. La quantité moyenne de déchets compostés par cycle est inférieure ou égale à

21m^3 pour 80 % des composteurs (Rc). Cette proportion des composteurs affirme produire par cycle de compostage une quantité moyenne de compost inférieure ou égale à 2000 kg. Ces agriculteurs composteurs fabriquent et utilisent le compost dans leur maraîchage (Rd). Ces derniers reconnaissent vendre une partie ou la totalité du compost produit aux agriculteurs urbains et périurbains à 2000 francs le sac de 50 kg. 66,67 % des maraîchers qui n'adhèrent pas à la fabrication du compost, achètent à 1000 francs le sac de 80 kg. Pour tous les maraîchers interrogés les fertilisants synthétiques viennent toujours en complément aux engrais organiques dans les pratiques culturales (Re). 43,33 % d'entre eux l'utilisent avec des fientes, alors que 36,67 % l'utilisent avec des fertilisants synthétiques. Seulement 20 % des maraîchers utilisent exclusivement du compost dans la production des fruits et légumes.

De ce qui précède, il est à retenir que Cotonou, qui est l'une des villes à statut particulier du Bénin a connu des avancées notoires dans le domaine de l'assainissement du cadre de vie, mais des efforts supplémentaires restent à faire. Contrairement aux pratiques qui ont cours dans le passé à Cotonou où les déchets urbains pré-collectés sont purement jetés dans les bas-fonds, ici ils sont en partie valorisés à travers le compostage. C'est également l'une des villes où l'agriculture urbaine se développe en s'appuyant en partie sur l'utilisation des composts concomitamment avec celle des engrais chimiques et des fientes de volaille.

3.2 Valorisation par compostage des déchets

3.2.1 Pré collecte et collecte des déchets dans les deux marchés Dantokpa et Saint Michel

Les systèmes de pré collecte et de collecte des déchets dans les deux marchés sont organisés par le Projet de Gestion des Déchets Solides Ménagers à Cotonou (PGDSM) qui assure la gestion des déchets et l'assainissement des marchés en partenariat avec la Mairie de Cotonou et de Ouidah. Dès son installation à Cotonou en 1999, le projet a rigoureusement formé 45 (quarante cinq) femmes du marché Dantokpa appelées « femmes Gbobeto »qui assurent le ramassage des ordures auprès des vendeuses de fruits et légumes avec des paniers, bassines, balais, gants, cache-nez, bottes contre une redevance de 100 F à 200 F. Ces vendeuses ont été préalablement sensibilisées par un tri à la source. Leurs ordures ramassées

sont alors déposées dans deux points de regroupement construits en grillage avec 64 poubelles situées au long du caniveau et à Gbogbanou : c'est la pré collecte. Ensuite la collecte est effectuée par deux tracteurs du point de regroupement des déchets jusqu'au site de maraîchage de Houéyiho pour être compostés et les fractions non biodégradables sont convoyées au site de décharge final de Hêvié.

C'est donc ce système de collecte qui a été utilisé pour avoir les déchets. Sur le site de maraîchage, les déchets sont soumis à un nouveau tri pour être caractérisés, mélangés et la fraction fermentescible compostée.

La figure 7 ci-après présente les points de regroupement et dépotoir des déchets des marchés Dantokpa et Saint Michel.

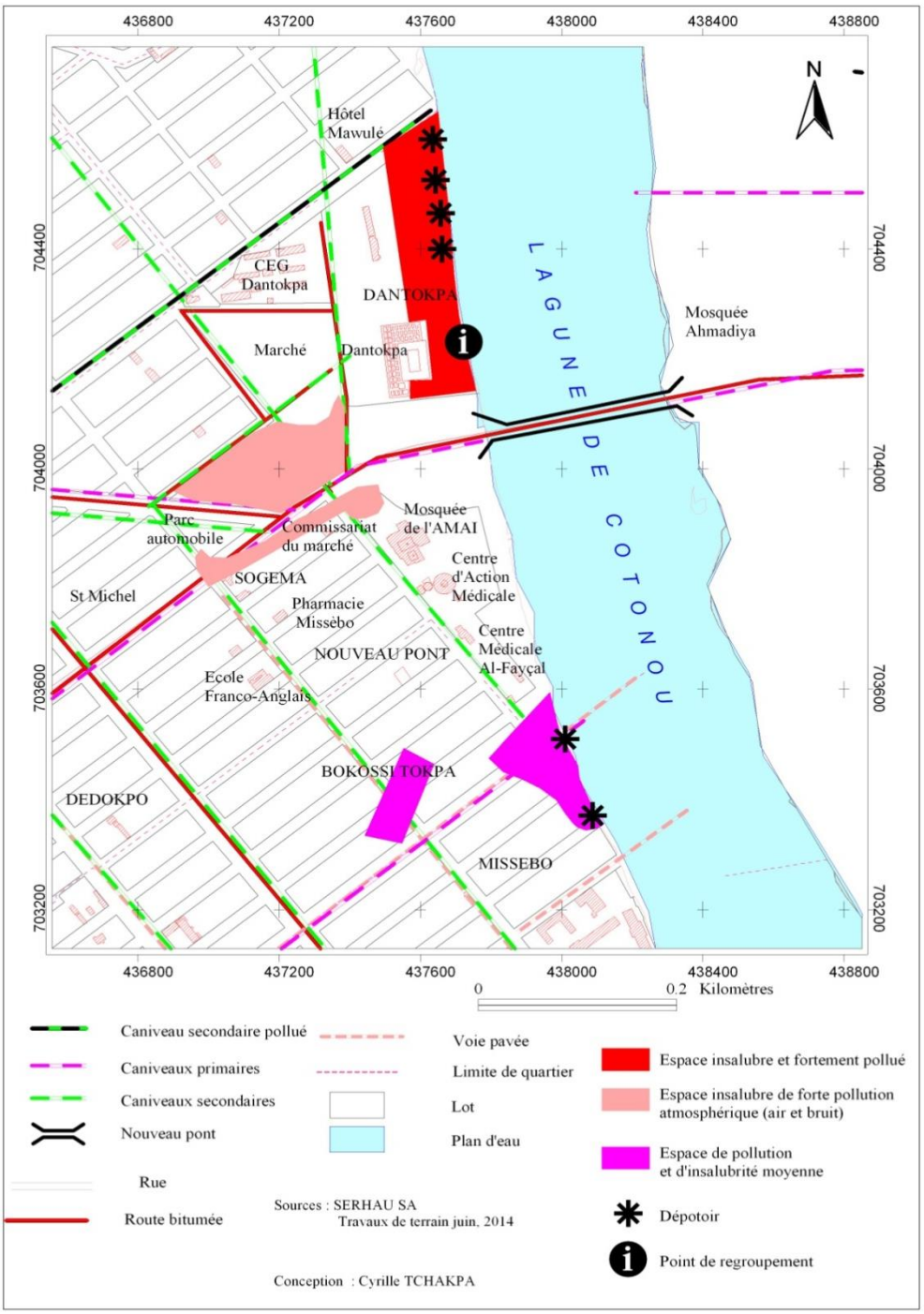


Figure 7 : points de regroupement et dépotoirs des déchets des marchés Dantokpa et Saint Michel

3.2.2 Tri

La collecte des déchets effectuée dans les marchés a permis de faire un tri sur le site de compostage de Houéyiho.

Ainsi, le tableau VII présente les résultats issus du tri des ordures ménagères.

Tableau VII: Résultats de la caractérisation des ordures ménagères des deux marchés

Périodes	**Quantités (kg)**									
	Matières biodégradables	**Matières plastiques**	**Papiers, cartons**	**Matières Fines**	**Os, coquilles**	**métaux**	**verres**	**Textiles chiffons**	**Chaussures, cuirs**	**Total**
1ère semaine	12088,33	1670,5	1197,75	915,5	799,08	485,87	379,97	356,61	125,39	18010
2ème semaine	11906,50	1702,48	1205,35	989,55	811,52	522,11	407,83	349,91	116,75	18012
3ème semaine	12166,73	1619,43	1222,52	907,27	785,61	500,25	382,79	314,76	106,65	18006
4ème semaine	12370,22	1580,38	1106,6	907,43	761,27	499,82	377,78	303,75	100,75	18008
total	48531,78	6572,79	4732,22	3719,75	3157,48	2008,05	1539,37	1325,03	449,54	72036
Pourcentage	67,37	9,12	6,59	5,16	4,38	2,78	2,14	1,83	0,62	100

Source : Travaux de terrain, Janvier 2012

L’analyse des données du tableau VII montre que 67, 37 % des déchets collectés et traités sont constitués de matières biodégradables dont majoritairement de matières humides (fruits pourris et divers noyaux, pépins, tranches et épluchures de fruits, tomates pourries, légumes, restes de produits vivriers, restes de tubercules et autres matières végétales et animales) et de matières sèches (feuilles mortes, branchages, fleurs et débris de bois); 9,12 % de matières plastiques; 6,59 % de cartons et papiers ; 5,16 % de matières fines; 4,38 % de coquilles, de carapaces de crabes et de perles; 2,78 % de métaux ; 2,14 % de verres ; 1,83 % de textiles et de débris de mousse; 0,62 % de chaussures et cuirs .

La photo 4 illustre le tri des déchets réalisés sur le site maraîcher de Houéyiho.



Photo 4: Tri des déchets réalisés sur le site de Houéyiho

Prise de vue : TCHAKPA, décembre 2012

A l’issue de ces tris, une prise de mesure au niveau des tas révèle que le pourcentage d’humidité des déchets est de 65 %. Au total 48531,78 kg de matières biodégradables ont été compostées sur une aire de 2500 m^2.

D’après ces résultats, on peut donc retenir que l’hypothèse selon laquelle les déchets solides ménagers de Cotonou contiennent de fortes proportions de matières organiques fermentescibles est vérifiée.

Qu’en est-il alors du compostage de ces fortes proportions de matières organiques fermentescibles retrouvées à Cotonou ?

3.2.3 Confection des andains

Les 48531,78 kg de matières biodégradables obtenues après tri et mélange ont permis de mettre en place 3 types d'andains rectangulaires de dimensions 7 m x 2 m x 1,50 m chacun sur une superficie de 2500 m^2. Ainsi trois types de compost ont été expérimentés : le compost 1 est constitué de déchets de cuisine, épluchures de fruits et légumes et de débris de céréales; quant au compost 2 il est constitué de matières végétales et animales (feuilles mortes, débris d'ananas, débris et sciures de bois, débris d'animaux morts) et enfin le compost 3 est constitué du reste de tubercules, de céréales, de fruits et condiments pourris, de copeaux et de bouses. La technique adoptée est le compost aérobie, il s'agit d'un compost en andain c'est-à-dire en tas allongé et à l'air libre utilisant ainsi le matériel organique fermentescible des ordures ménagères. Pour une bonne fermentation des déchets, un andain doit atteindre 3m de hauteur. (Adjademen, 1994).

Les photos 5, 6 et 7 montrent les trois types de compost ainsi réalisés.



Photo 5 : déchets en compostage 1 sur le site de Houéyiho

Prise de vue : TCHAKPA, décembre 2012



Photo 6: déchets en compostage 2 sur le site de Houéyiho

Prise de vue : TCHAKPA, décembre 2012



Photo 7: déchets en compostage 3 sur le site de Houéyiho

Prise de vue : TCHAKPA, décembre 2012

S'agissant du compostage, la teneur en eau optimale trouvée pour une bonne décomposition est de 60 %. Cependant, si le volume d'eau atteint 80 %, l'oxygène qui est un élément indispensable à une fermentation aérobie disparaît et inévitablement on arrive à une décomposition anaérobie par l'absence de l'air. Si les andains se retrouvent dans cette situation, il faut reconnaître qu'il est impossible d'obtenir le compost recherché. Il en est de même si les andains connaissent le problème d'insuffisances d'air et de chaleur. Mais, dans tous les cas, les excès ou insuffisances d'air, de chaleur ou d'humidité, ont pour solution appropriée le

retournement de l'andain. Ainsi l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets en France (ANREDF) réalise des expériences de compostage sous une serre à température constante proche de celle du périmètre maraîcher de Houéyiho. Elle propose un taux d'humidité compris entre 50 et 60 % au démarrage du compostage, tandis que Jeangille (1995) préconise des valeurs comprises entre 50 et 75 %. Le taux d'humidité obtenu étant compris entre ces dernières limites.

3.2.4 Suivi de l'évolution de la température dans les andains

Le suivi de l'évolution de la température des andains est effectué à l'aide d'un thermomètre portatif.

La figure 8 ci-après montre l'évolution des températures dans les andains

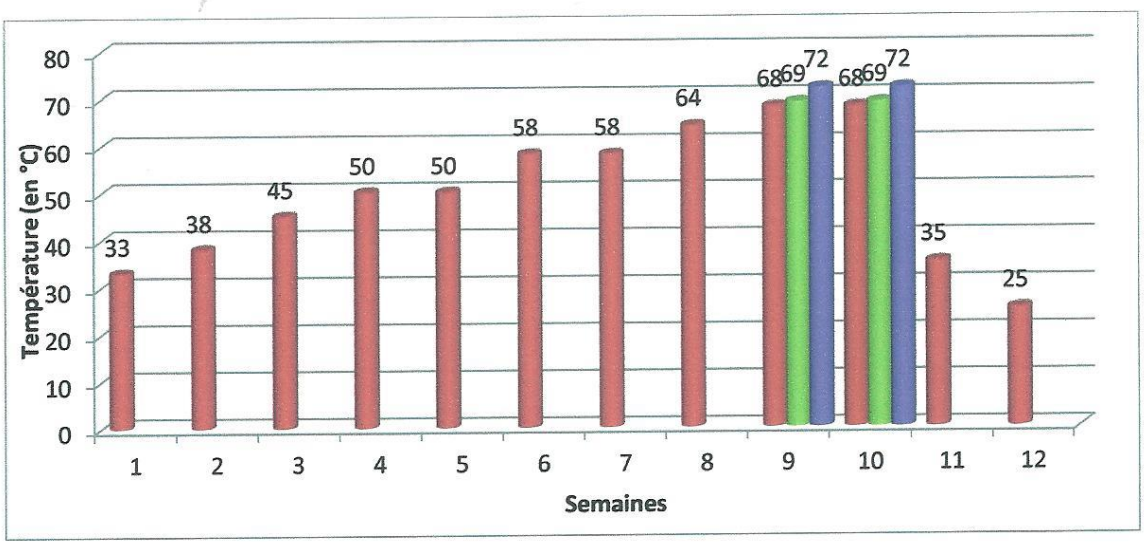


Figure 8 : l'évolution des températures dans les andains

La figure 8 ci-dessus traduit l'évolution de la température moyenne relevée au niveau des trois andains en fonction du temps. La mesure de la température est effectuée toutes les semaines à l'aide d'un thermomètre portatif. En effet, la température moyenne des andains a démarré à partir de 33°C la 1ère semaine et a connu une augmentation jusqu'au voisinage de 38°C à la 2ème semaine, 45° la 3ème semaine puis 50° la 4ème semaine. De là, elle est restée constante pendant la 5ème semaine signalant un ralentissement voire un arrêt du processus de dégradation de la

biomasse. A cette date les andains ont connu le premier retournement qui permet l'aération et qui apporte de l'oxygène dans le tas et le premier arrosage copieux pour relancer l'activité microbienne. A la 6ème semaine la température s'est accrue de huit (08) unités passant de 50°C à 58°C. Cette augmentation de la température est une expression de la reprise de l'activité des microorganismes décomposeurs. A la 7ème semaine la température est redevenue constante et égale à 58°C signalant l'arrêt des processus microbiologiques. A cet instant un deuxième retournement des andains est intervenu la 8ème semaine qui a fait passer la température de 58°C à 64°C et enfin un troisième retournement la 9ème semaine qui a fait passer la température de 64°C à 68°C dans le compost 1, de 64°C à 69°C dans le compost 2 et de 64°C à 72° C au niveau du compost 3. Cette différence de température de fermentation observée s'explique par l'existence des matières riches en micro-organismes et azote qui favorisent bien la fermentation. De la 10ème semaine à la 11ème semaine la température est restée constante. Delà elle a commencé par décroître jusqu' à 35°C voire 25 et 20°C la 12ème semaine. Les expériences de l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (France) ont conduit à des températures comprises entre 60 et 70°C en compostant les ordures ménagères produites en France. Il en est de même pour les expériences de (Bintou, 1995) qui ont conduit à des températures élevées comprises entre 70 et 73°C en compostant les déchets et substrats végétaux disponibles en zone sahélienne et dans la ville de N'djaména. Pour lui les déchets riches en micro - organisme et azote favorisent bien la fermentation. Des niveaux plus élevés de températures permettent d'obtenir un produit plus sain. En réalité, le dimensionnement de l'andain influe sur l'évolution des températures.

Cette évolution de la température du compost rend compte de l'activité biologique qui a lieu en son sein. Selon Onifadé (2006), la température du compost commence par croître quand l'activité microbienne est très intense et la dégradation de la matière organique est amorcée. Cette montée de la température au cours de l'opération de compostage est un moyen de destruction des germes pathogènes conduisant ainsi à l'innocuité du compost à maturité. Dès que la quantité de matières organiques finit de se décomposer, l'activité des microorganismes cesse et la température descend à son minimum. A ce stade le compostage prend fin, mais le compost issu de l'opération n'est pas encore totalement mûr. Il doit être ré-entassé et soigneusement

recouvert pendant une période d'environ deux à trois semaines pour permettre sa maturation. C'est pendant cette phase que la minéralisation de la matière organique s'achève et le compost peut être utilisé pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques, de même que pour les essais agronomiques.

La photo 8 ci-après montre le compost mûr ainsi fabriqué.



Photo 8: Compost mûr réalisé sur le site maraîcher de Houéyiho

Prise de vue: TCHAKPA, Avril 2012

L'analyse de la photo 8 ci-dessous réalisée traduit le compost mûr fabriqué sur le site maraîcher de Houéyiho. En effet des 72036 kg de déchets collectés on a obtenu 48531,78 kg de déchets fermentescibles qui correspondent à 40443,33 kg de compost frais soit un rendement de 83,33 %. Rapporté à la masse d'ordures collectées ce rendement donne 56,17 %. Ce taux de transformation des ordures ménagères est non négligeable et peut contribuer considérablement à réduire les nuisances si la collecte et le compostage sont régulièrement effectués. Le compost réalisé est morphologiquement homogène avec une couleur grise sombre et illustre les caractéristiques d'un compost mûr.

Ces résultats obtenus permettent de confirmer que l'hypothèse selon laquelle le compostage de ces déchets solides ménagers pourrait constituer une voie de réduction des nuisances dans la ville de Cotonou est vérifiée.

Enfin un échantillon du compost a été prélevé pour les propriétés physico-chimiques, de même que pour les essais agronomiques.

3.3 Caractéristiques physico-chimiques du compost produit

Pour réaliser les caractéristiques physico-chimiques du compost, un échantillon a été prélevé pour des analyses physico-chimiques au laboratoire. Les résultats de ces analyses sont consignés dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Résultats des analyses physico-chimiques du compost produit

Paramètres		Unités	Normes	Appareils	Méthodes
Matière sèche		51 %		Etuve, four, micro	METSON
Humidité		49 %		Balance	
Matière minérale		27,62 %	15 - 20	Four, balance	
Matière organique (MO)		16,02 %		pourcentage	Walkley Black
Carbone organique		14,97 %		Spectrophotomètre AA et réactifs	Walkley Black
Azote total		1,15 %			
C/N		13 %	10 - 15	pourcentage	
pH eau		6,51		Verrerie et agitateur mécanique	
PH kcl		7,59			
Carbone inorganique		0,044 %			
Manganèse		291,667ppm		Spectrophotomètre	
Fer		10965,389 ppm		Spectrophotomètre	orthophénan
Bases échangeables	Sodium	2,11 Méq/100g MS		Spectrophotomètre De flamme	METSON
	Potassium	9,51 Méq/100g MS			
	Calcium	14,28 Méq/100g			

		MS			
	Magnésium	17,32 Méq/100g MS			METSON
	Somme B. E	43,22 Méq/100g MS			
CEC		61,18 Méq/100g MS		ESPA	METSON
Granulométrie		>2000 µm (refus) 17,52		PIPETTE de ROBINSON	METSON
		2000-200µm (sable grossier) 28,71%			
		200-50 µm (sable fin)			
		50-20 µm (limon grossier) 14,49%			
		20-2 µm (limon fin) 11,18%			
		2-0 µm (argile) 10,1%			
Texture		Grossier			
Métaux lourd (plomb)		12.7594 ± 0.1006 mg/Kg		Broyeur, balance, four, SAA 110, verrerie lampe et réactifs	METSON

Source : Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement (LACIE /FAST) et Laboratoire Sciences du Sol de l'Eau et de l'Environnement LSSEE de l'INRAB.

Le pH du compost est légèrement acide cette acidité peut être attribuée au faible taux de carbonates aux sols acides de la ville de Cotonou où l'expérimentation a été réalisée. Le pH est un indicateur de maturité du compost. En effet, les composts matures ont un pH compris entre 7 et 9 (Avnimelech *et al*, 1996). Ce qui diffère du pH du compost réalisé.

La moyenne des mesures de la conductivité présentée révèle un taux plus important de sels solubles dans le compost.

Le compost analysé présente un taux plus ou moins fort d'humidité, une faible acidité mais des valeurs élevées en matières organiques. On note aussi des valeurs élevées en cations échangeables (Ca=14,28 ; Mg=17,32 ; K=9,51 ; Na=2,11) et en capacité d'échange cationique.

Quant au manganèse et au fer les figures 9 et 10 représentent les résultats de l'extraction séquentielle.

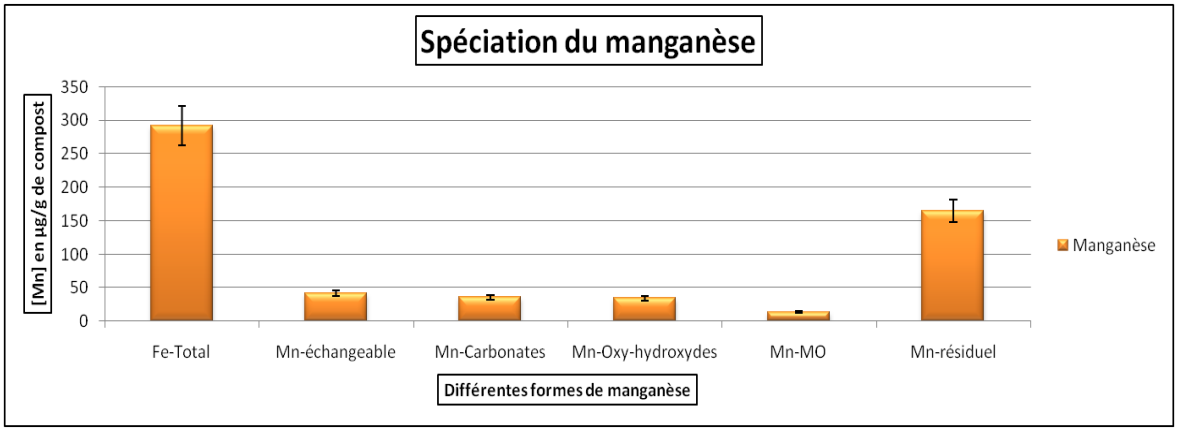


Figure 9 : Résultats de l'extraction séquentielle du manganèse

Source : Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement

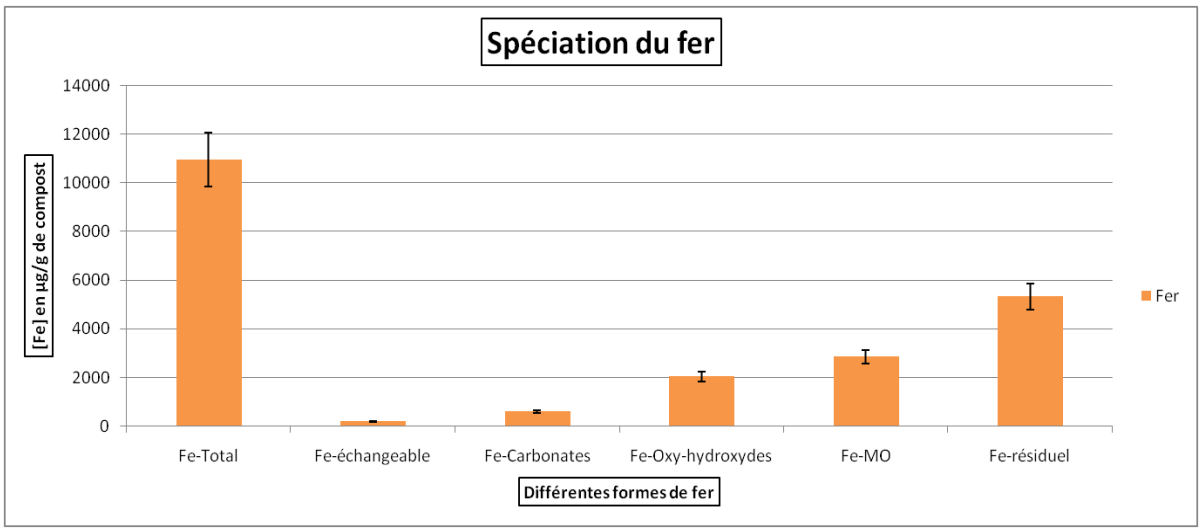


Figure 10 : Résultats de l'extraction séquentielle du fer

Source : Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement

La fraction échangeable immédiatement disponible aux plantes en manganèse est très importante comparativement à celle du fer. Ceci a pu provenir de l'utilisation

importante de détergents contenant notamment du manganèse (permanganate et potassium) pour l'hygiène et les vaisselles. Ainsi il est à constater que les effluents domestiques impactent sur les propriétés physico-chimiques du compost vu la valeur très élevée relevée pour la conductivité. Le compost est riche en fer. La fraction la plus importante du fer est sa forme liée à la matière organique (plus que le quart de tout le fer). Le fer résiduel est à moins de 50 % du fer total donc la biodisponibilité du fer total est forte pour être disponible aux plantes. Ceci prouve la source principale de composants de compost. L'évaluation de la qualité d'un compost est une question complexe étant donné que les besoins particuliers des sols et des plantes en plus de l'éventail des méthodes d'utilisation des composts :

- la Norme Nationale du Canada concernant les amendements organiques (1996) stipule qu'un compost mature doit avoir un rapport C/N inférieur ou égal à 25 "puisqu'en général, la décomposition d'un compost ayant un rapport C/N inférieur ou égal à 25 dans un sol n'entraîne pas l'immobilisation de l'azote du sol au détriment des végétaux" ;
- la maturité est aussi souvent évaluée par le rapport C/N. En ce qui concerne le compost produit, le rapport C/N est de 13 ce qui est tout à fait acceptable. Ce qui indique que le compost était mûr. Mais ce rapport seul n'est pas suffisant pour estimer la maturité d'un compost, il est nécessaire de le combiner avec d'autres paramètres physico-chimiques.

Le compost ayant une CEC égale ou supérieure à 60 méq/100g MS est mature. Le compost produit dans nos essais a légèrement excédé ce critère. La capacité d'échange cationique est la capacité d'une matière organique de capter réversiblement les cations (Bruand, 1992). L'humus a une forte CEC et fixe les ions minéraux nutritifs tels que les cations K^+ et Ca^{2+} et les phosphates de manière à les rendre disponibles aux plantes pour leur croissance et leur développement. La CEC (Capacité d'Echange Cationique) est un indice général de la maturité d'un compost et sa valeur a tendance à augmenter graduellement lors du compostage.

Le pH est aussi un indicateur de maturité du compost. En effet, les pH mesurés variant de 6,51 à 7,59 sont un peu faibles et seraient dus aux sols acides de la ville de Cotonou où l'expérimentation a été réalisée.

Les particules dont la taille est inférieure à 2 mm constituent la proportion la plus importante quel que soit le traitement. Le compost présente une structure dont les particules sont plus petites et assez homogènes, et la texture se rapproche de celle d'un sol fertilisant. Le fort taux d'éléments fins du compost pourrait s'expliquer par le processus de décomposition / dégradation au cours du compostage et les teneurs élevées en éléments fins des déchets. Les fortes proportions des éléments fins témoignent d'une bonne qualité de compost bien que les refus avoisinent les 17,52 %.

Quant au plomb l'échantillon de compost soumis à l'essai contient en moyenne 12.7594±0.1006 mg/kg de plomb. En considérant que les teneurs moyennes des sols agricoles en plomb varient de 2 à 200 mg/kg de sol (Swaine, 1955) et que la teneur moyenne dans les sols contaminés est de 17 mg/kg de plomb (Nriagu, 1978), il ressort que le compost analysé contient une teneur relativement élevée de plomb mais en deçà des limites tolérées. Son utilisation dans le cadre du maraîchage ou d'une agriculture urbaine doit être raisonnée afin de prévenir une accumulation de cet élément trace pour la santé humaine dans ces écosystèmes.

Ces résultats permettent de dire qu'à dose acceptable, le compost produit peut être valorisé en agriculture.

3.4 Résultats agronomiques du compost fabriqué

Après analyses physico-chimiques, le compost a été testé avec des feuilles de grande morelle pour être agronomiquement évalué.

La photo9 illustre les effets du compost sur le rendement agricole.



Photo 9 : effet du compost sur le rendement de grande morelle

Prise de vue : ACLASSATO (Septembre 2013)

L'analyse de la photo 9 montre que sur un sol brun, les planches traitées présentent des pieds de grande morelle dont les feuilles sont plus épaisses, et plus vertes que les feuilles des planches témoins. Par la suite les plants des planches témoins sont plus grands que les plants les planches traitées. Ceci témoigne de la richesse nutritionnelle surtout en azote qu'apporte le compost pour le développement des plantes. En conséquence on observe une nette différence entre les pieds des planches traitées et ceux des planches témoins. Cette différence témoigne de la qualité agronomique du compost fabriqué. Sur la photo, la différence n'est pas entièrement claire mais les traitements au laboratoire l'ont démontrée.

3.4.1 Analyse poids feuille

Etant donné qu'il s'agit d'une comparaison de plus de deux moyennes, nous avons proposé une analyse de la variance à trois facteurs (Bloc, Traitement et Coupe), modèle mixte. Les tests de normalité de Ryan-Joiner et d'égalité de Levène ont donné respectivement une probabilité p=0,067 et p=0,535 supérieures à α=0,05 ; nous pouvons conclure que les conditions préalables sont vérifiées et donc nous pouvons effectuer une analyse de la variance.

L'analyse de la variance effectuée sur le poids frais des feuilles de Grande morelle a montré qu'il y a une différence significative (p=0,017< 0,05) entre les traitements au seuil de 5 % contrairement aux autres facteurs que sont le bloc et la coupe.

Une analyse de la variance à un facteur (Traitement) et une comparaison deux à deux de Turkey effectuées sur les poids frais des feuilles de Grande morelle a donné les résultats suivants : (voir annexe).

Comme dit précédemment il y a une différence hautement significative (p=0,00<0,05) entre les traitements. Le tableau IX ci-après montre la comparaison deux à deux des résultats :

Tableau IX : Résultats de la comparaison deux à deux du poids feuille de la grande morelle

Traitements	**3_KG_Comp**	**6_KG_Comp**	**9_KG_Comp**	**NPK_UREE_C**	**Témoin**
3_KG_Comp		≈	≠	≠	≈
6_KG_Comp	≈		≠	≈	≈
9_KG_Comp	≠	≠		≈	≠
NPK_UREE_C	≠	≈	≈		≠
Témoin	≈	≈	≠	≠	

Source : Analyse au laboratoire de la production végétale FSA, 2013

≈ Pas de différence significative au seuil de 5 %

≠ Différence significative au seuil de 5 %

A l'issue de ces analyses, les traitements ont été classés du point de vue de leur rendement en feuilles sur le tableau X.

Tableau X: Résultats des rendements en poids frais des feuilles de la grande morelle

Rang	Traitements	Moyennes
1	9_KG_Comp	18,06 ± 1,83
2	NPK_URE_C	14,50 ± 1,90
3	6_KG_Comp	10,97 ± 1,09
4	3_KG_Comp	8,22 ± 1,17
5	Témoin	5,694 ± 0,773

Source : Analyse statistique au laboratoire de la production végétale FSA, 2013

A l'issue de ces résultats, il ressort que 9 kg de compost permet d'avoir un rendement meilleur. Nous pouvons donc proposer aux maraîchers, en ce qui concerne la production de la grande morelle, d'utiliser 9kg de compost à base d'ordures ménagères sur une superficie de 3 m^2.

En ce qui concerne les autres variables dépendantes à savoir la Circonférence de la Voute Foliaire (CVF), le Nombre de Feuilles par Plant (NFP) et la Circonférence de la Tige (CT) au pied du plant, leurs résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

Tableau XI: Résultats, moyennes et erreurs types

Facteurs	CVF_1	Nbfeuil_1	CT_1
Bloc1	126,52±13,78	65,41±7,12	6,93±0,76
Bloc2	150,25±11,74	77,68±6,07	8,23±0,64
3_KG_Comp	111,22±16,15	57,50±8,35	6,09±0,89
6_KG_Comp	125,55±19,92	64,91±10,30	6,88±1,09
9_KG_Comp	167,05±23,07	86,37±11,93	9,15±1,26
NPK_UREE_C	162,28±21,72	83,9±11,23	8,89±1,19
Témoin	119,22±21,11	61,64±10,91	6,53±1,16
Coupe 1	141,09±13,46	72,94±6,96	7,73±0,74
Coupe2	133,04±12,96	68,78±6,70	7,29±0,71

Source: Analyse statistique au laboratoire de la production végétale FSA, 2013

Au terme de ces résultats, les conditions d'application d'une analyse de la variance n'ont pas été vérifiées même après transformation. Ainsi donc il a été effectué un test

non paramétrique de Kruskall-Wallis sur les données et les résultats se présentent comme suit (voir annexe). Ce test de Kruskall-Wallis a donné des probabilités supérieures à α=0,05. Nous pouvons donc conclure qu'il n'existe pas de raison suffisante pour parvenir à une différence significative entre les modalités de chaque facteur ainsi que leurs interactions du point de vue des valeurs médianes variables dépendantes telles que la circonférence de la voute foliaire (CVF), le nombre de feuilles par plant et la circonférence de la tige au pied du plant. Néanmoins les moyennes et les erreurs types sont ainsi déterminées.

Quant aux traitements de la matière sèche des feuilles de la grande morelle, le tableau XII ci-après montre la comparaison deux à deux des résultats :

Tableau XII: Résultats de la comparaison deux à deux de la matière sèche des feuilles de la grande morelle

Traitements	**3_KG_Comp**	**6_KG_Comp**	**9_KG_Comp**	**NPK_UREE_C**
3_KG_Comp				
6_KG_Comp	≈			
9_KG_Comp	≠	≈		
NPK_UREE_C	≈	≈	≠	
Témoin	≈	≈	≈	≈

Source: Analyse statistique au laboratoire de la production végétale FSA, 2013

L'analyse de la variance effectuée sur la matière sèche des feuilles de la grande morelle a montré qu'il y a une différence significative (p=0,007 < 0,05) entre les traitements au seuil de 5 %. Une analyse de la variance à un facteur (Traitement) et une comparaison deux à deux de Turkey a donné les résultats suivants : (voir annexe). Comme dit précédemment il y a une différence hautement significative (p=0,00 < 0,05) entre les traitements. Cela témoigne de la richesse nutritionnelle qu'apporte le compost aux plantes. Le compost est alors plus avantageux, plus économique et plus adapté à l'environnement qu'aux engrais chimiques qui d'ailleurs appauvrissent les sols et font rentrer de devise dans les pays producteurs.

En guise de conclusion partielle, les résultats obtenus au cours de cette recherche sont suffisamment concluants. Il est alors important de recommander aux maraîchers d'utiliser le compost à base d'ordures ménagères dans la production de fruits et légumes. Le chapitre qui suit, présente la discussion de ces résultats.

CHAPITRE IV :

DISCUSSION ET SUGGESTIONS

4 Discussion et suggestions

4.1 Discussion

La valorisation par compostage des déchets solides ménagers à Cotonou pose de nombreuses contraintes. D'abord il s'agit de mettre un accent particulier sur la comparaison des résultats et ensuite d'aborder les contraintes proprement dites.

4.1.1 Comparaison des résultats

4.1.1.1 Composante des déchets solides dans les ménages

Au niveau des ménages, les valeurs trouvées sont comparables à celles rapportées par les études de Gbedo en 2010 qui ont trouvé 48,51 % de matières biodégradables ; 25,87 % de matières fines et 7,74 % de matières plastiques pour les ordures ménagères des quartiers périphériques de Cotonou. Cette comparaison s'explique par la croissance exponentielle que connaissent les déchets et surtout à cause de l'explosion démographique de la ville de Cotonou. De même les études réalisées par Tchakpa (2010) ont trouvé des taux : 50,19 % de matières biodégradables ; 32,18 % matières fines ; 8.31 % de matières plastiques sont comparables à ceux obtenus par Gbedo (2010). D'après le PGDSM (2002), la densité ou la masse volumique des déchets produits par les ménages au niveau de la concession est en moyenne de 410 kg/m^3, comparée à la France où la densité en poubelle est entre 150 et 200 kg/m^3. Cette forte densité est due à la grande proportion de matières organiques et de matières fines.

4.1.1.2 Tri des déchets sur le site maraîcher de Houéyiho

A l'issue de ces tris, une prise de mesure au niveau des tas révèle que le pourcentage d'humidité des déchets est de 65 %. Cette valeur trouvée est différente à celle rapportée par les études d'Adjahossou et Aguewe en 1995 qui ont trouvé un taux d'humidité de 75 % pour les ordures ménagères des quartiers périphériques de Cotonou. Elle est également différente des études de Tchakpa (2010) qui ont trouvé un taux d'humidité de 60 % Cette différence de taux d'humidité peut s'expliquer par la source de production des déchets car ici les déchets collectés proviennent des marchés. Par contre, elle est comparable aux taux d'humidité se situant entre 57,1 et

65 % (Ngnicam *et al*, 1995) trouvé pour certaines villes d'Afrique Centrale. Il ressort de l'étude d'Adjahossou *et al,* (1995) que le taux d'humidité varie non seulement selon les saisons, mais également selon le niveau de vie des populations collectées. S'agissant du compostage, certains auteurs pensent qu'un fort taux d'humidité ne favorise pas la pénétration de l'air dans au moins 50 % de la masse du compost, et de ce fait, bloque l'évolution de ce dernier. Ainsi l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets propose un taux d'humidité compris entre 50 et 60 % au démarrage du compostage, tandis que Jeangille (1995) préconise des valeurs comprises entre 50 et 75 %. Le taux d'humidité trouvé (65 %) étant compris entre ces dernières limites.

S'agissant du compostage, la teneur en eau optimale pour une bonne décomposition se situe entre 40 et 60 % (Ndiaye, 1995), tandis que Jeangille (1995) préconise des valeurs comprises entre 50 et 75 %. Notre taux d'humidité trouvé (60%) est compris entre ces limites.

4.1.1.3 Suivi de l'évolution des températures dans les andains

Les expériences de l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (France) ont conduit à des températures comprises entre 60 et 70°C en compostant des ordures ménagères produites en France. Il en est de même pour les expériences de Bintou, (1995) qui ont conduit à des températures élevées comprises entre 70 et 73°C en compostant les déchets et substrats végétaux disponibles en zone sahélienne et dans la ville de N'djaména. Pour lui les déchets riches en micro-organisme et azote favorisent bien la fermentation. Des niveaux plus élevés de températures permettent d'obtenir un produit plus sain.

Cette évolution des températures du compost rend compte de l'activité biologique qui a lieu en son sein. Selon Onifade (2006), la température du compost commence par croître quand l'activité microbienne est très intense et la dégradation de la matière organique est amorcée.

4.1.1.4 Caractéristiques physico-chimiques du compost fabriqué

En ce qui concerne les caractéristiques physico chimiques du compost, la teneur en substance nutritive du compost est nettement supérieure à celle des engrais

chimiques. En outre, la Norme Nationale du Canada concernant les amendements organiques (1996) stipule qu'un compost mature doit avoir un rapport C/N inférieur ou égal à 25 "puisqu'en général, la décomposition d'un compost ayant un rapport C/N inférieur ou égal à 25 dans un sol n'entraîne pas l'immobilisation de l'azote du sol au détriment des végétaux".

Il a été établi qu'un rapport C/N voisin de 10 -15 correspond à un compost mature qui peut amender considérablement les sols sur lesquels les plantes tirent leurs substances nutritives (Namkoong *et al*, 1999).

Pour ce qui est du compost fabriqué le rapport C/N est de 13 ce qui est tout à fait acceptable. Ce qui indique que le compost était mûr. Cette valeur est légèrement supérieure à celle trouvée par Gnonzan (2003) qui est de 11,50 ; similaire à celle trouvée par Ngnikam, (1993) qui est de 13,5 et largement inférieure à celle trouvée par Adjademe qui est de 21. Ces différences entre les résultats témoignent du type de déchets ainsi compostés. Pour Juste et Pommel (1987), un rapport C/N compris entre 10 et 25 est stabilisant pour les sols sur lesquels le compost est appliqué. Mais ce rapport seul n'est pas suffisant pour estimer la maturité d'un compost, il est nécessaire de le combiner avec d'autres paramètres physico-chimiques.

Les composts matures ont un pH compris entre 7 et 9 (Avnimelech *et al*, 1996). Ce qui diffère des pH du compost réalisé (pH eau 6,51 et pH Kcl 7,59). Plusieurs auteurs dont Hamda et Inoko (1980) citent qu'un compost ayant une CEC égale ou supérieure à 60 méq/100g MS est mature. Le compost produit dans nos essais a légèrement excédé ce critère ce qui prouve que le compost réalisé est mûr. Le compost présente une structure dont les particules sont plus petites et assez homogènes, et la texture se rapproche de celle d'un sol. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par plusieurs auteurs dont Soudi (2001) et Charnay (2005).

4.1.1.5 Résultats agronomiques du compost fabriqué

Les résultats agronomiques obtenus au cours de ces travaux confirment ceux obtenus par Gnonzan (2003) à Cotonou sur l'influence du rapport des constituants de compost à base d'ordures sur la production du chou-pommé.

L'analyse de variance relative à l'effet des différents traitements sur le rendement en biomasse totale du chou pommé a révélé une différence significative au seuil de 5 % ($Pr < 0,0109$) entre les effets des traitements appliqués. Par contre il ne montre aucune différence significative au seuil de 5 % entre les blocs.

De même ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Koundé (1998) sur *l'étude de l'impact du compost à base d'ordures ménagères sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à Djougou*. Les légères améliorations du niveau de fertilité initial des sols témoins n'ont pas eu un effet significatif sur la productivité des plantes tests. Ce qui ne fait qu'aucune différence significative au seuil de 5 % n'est observé entre les traitements. Mais pour ce qui concerne la hauteur des plants d'amarante, le compost enfoui est le seul traitement significativement différent du témoin. La différence non significative observée entre les traitements pourrait s'expliquer non seulement par la richesse naturelle de ce sol mais aussi par la faible valeur fertilisante des substrats organiques ayant servi au compostage. Malgré tout cela le compost a mieux valorisé le sol que le mélange brut des substrats organiques. De plus quel que soit le fertilisant appliqué, le mode d'épandage n'a pas eu un effet significatif sur le niveau de fertilité des sols.

Ainsi les résultats obtenus au terme de la recherche de Koundé ne sont pas beaucoup concluants puisqu'il n'y a pas de différence significative au seuil de 5 % entre les traitements. Cela n'est pas fréquent car certains auteurs (Mallouhi 1987, Attikou 1996, Kandji et SAAR 1990 etc.) qui, ayant mené leur recherche sur la restauration du niveau de fertilité des sols ferrugineux tropicaux dégradés, ont eu des résultats satisfaisants par rapport à l'apport du compost à ce type de sol.

A ce titre, lorsqu'on compare les résultats avec ceux obtenus par Onifadé (2006) sur la Valorisation des fèces et de l'urine : *aspects sanitaires et agronomiques sur les productions de la tomate et de la grande morelle,* les résultats obtenus ne sont pas significativement traités. Ensuite il a été constaté que le rendement maximal (12,14 TMS/ha) est obtenu avec une dose de 20 T/ha de matière organique (compost) + 334 kg/ha d'urée + 334 kg/ha de NPK. Plus la quantité de matière organique augmente plus le rendement est élevé. Le rendement optimal obtenu avec l'application de l'urine est de 533 kg/MS/ha pour une quantité de 100 hl/ha. Plus la quantité d'urine est élevée moins est le rendement. L'apport des engrais chimiques

intensifie l'agriculture mais ne favorise pas le rendement et appauvrit les sols. Il est alors impossible de recommander aux maraîchers d'utiliser l'urine et les engrais chimiques sur la production maraîchère.

De ce qui précède, on peut donc recommander aux maraîchers d'utiliser le compost à bases d'ordures ménagères dans la production des fruits et légumes.

4.1.2 Contrainte liée à la collecte et au compostage des déchets solides ménagers

La valorisation par compostage des déchets solides ménagers peut être une réalité que si la collecte s'effectue avec des moyens matériels disponibles et que si le tri sélectif est réalisé à la source dans les ménages et sur les lieux de production (Blalogoe, 2010). Or les habitants de Cotonou ne sont pas encore sensibilisés pour de telles pratiques de même le compostage exige une collecte spéciale des déchets biodégradables.

La presque inexistence de poubelle standard ne permet pas de recevoir les différents types de déchets solides ménagers (déchets biodégradables, matières recyclables et autres). A la suite des enquêtes menées, 96,67 % des ménages possèdent une poubelle mais n'est pas standard. La densité ou la masse volumique des déchets produits par les ménages au niveau de la concession est en moyenne de 410 kg/m^3, comparée à la France où la densité en poubelle est entre 150 et 200 kg/m^3. Dans ces conditions, les différents types de poubelles individuelles à promouvoir doivent s'adapter à l'habitat et aux revenus des habitants de la ville.

L'absence du tri à la source entraîne des principales difficultés de collecte des déchets biodégradables car la qualité du tri conditionne la qualité du compost obtenu. Le tri à la source réalisé par les femmes Gbobèto dans les marchés n'influe pas sur la qualité du compost obtenu. Il a fallu un nouveau tri sur le site avant la mise en place des andains. Le tri peut se faire en deux ou plusieurs catégories. Les usagers sont donc amenés à séparer les diverses fractions de leurs déchets pour les déposer dans deux ou trois poubelles à domicile et dans plusieurs conteneurs installés sur les points de regroupement, ou bien pour les présenter devant leur porte le jour de ramassage. Selon les résultats de l'enquête menée dans le cadre de cette étude, 100 % des personnes interrogées sont prêtes à séparer leurs déchets pour

permettre une valorisation de la matière organique à condition que la redevance actuelle soit revue pour les enlèvements des déchets. Or ce tri qui n'est pas fait actuellement à domicile est un métier dur qui présente en outre, certains risques qui ne peuvent être ignorés. Sans omettre la dimension psychologique, le tri manuel entraine deux risques non négligeables les légions musculaires, les contaminations. Alors la collecte séparative est nécessaire pour le ramassage des déchets biodégradables triés à la source pour les convoyer à la plate forme de fabrication de compost. La pratique de la collecte pose un problème d'un nouveau plan de zonage.

L'absence d'une aire de compostage à la décharge : la principale difficulté est l'absence de domaine publique pouvant servir pour ces travaux. Cela se justifie par les difficultés que rencontre la mairie dans le choix des sites devant servir des points de regroupement dans le contexte actuel de gestion des déchets solides ménagers. L'aire de compostage utilisée par le PGDSM est le site maraîcher de Houéyiho, domaine appartenant à l'ASECNA. Le promoteur voulait avoir un autre site de compostage à Akpakpa mais le problème de foncier s'était posé jusqu'à présent. Depuis 2011 le projet était terminé et le promoteur était rentré au Canada mais les agriculteurs composteurs continuaient son œuvre (collecte des déchets et fabrication de compost).

En dehors de ces difficultés d'ordre organisationnel, il faut ajouter que la pratique actuelle de compostage exige beaucoup de temps, de travail et d'une main d'œuvre qualifiée. En effet le temps nécessaire pour la fabrication d'un andain est de trois mois au minimum. Ce qui demande beaucoup d'effort et de suivi par rapport aux engrais chimiques. De plus le compostage n'est pas possible partout (Blalogoe, 2009). Cela dépend entre autre de la place et du matériel disponible, ainsi que des circonstances locales.

4.1.3 Aspects environnementaux et difficultés liées à l'utilisation du compost et d'engrais chimiques

Le compost favorise la réduction des nuisances que provoque la présence des matières putrides dans les quartiers, mais n'augmente pas toujours le rendement. Néanmoins s'il s'utilise correctement, il maintient le niveau de productivité du sol pendant 6 mois. Dans le cadre de cette étude les plantes sur lesquelles est exercé le

compost sont plus vertes plus épaisses et plus lourdes. Cela témoigne de la richesse en azote en son sein. Mais pour amender les sols avec ce fertilisant il en faut une grande quantité. Pour ce qui est des planches traitées, 30 grammes d'urée contre 6 kg de compost sont utilisés sur une planche de 3 m^2. Par contre l'urée et NPK utilisés, augmentent le rendement mais ne durent pas ; ce sont des ressources renouvelables à chaque culture. L'utilisation des engrais chimiques ou des pesticides rend les sols pauvres en matière organique. Les cultures issues de ces sols contiennent des substances chimiques qui ne favorisent pas la saine alimentation. Au Mali, la part de l'agriculture s'élève à 90 % de pesticides utilisés. L'utilisation massive de pesticides en maraîchage présente de dangers réels pour l'homme et pour l'environnement. En outre, les pesticides dans l'agriculture et dans le maraîchage permettent de tenir les légumes à l'abri des déprédateurs (Bourhima, 2003).

Ainsi, pour améliorer la structure du sol, les matières organiques fraîches sont meilleures par rapport au compost selon 7 % des maraîchers du site de Houéyiho. De plus l'utilisation du compost peut parfois augmenter le risque d'avoir des mauvaises herbes dans la culture selon les techniciens du développement rural.

Quant aux fientes de volaille 13 % des maraîchers les utilisent tout en ignorant le risque qu'ils courent comme hématode extrêmement grave pour l'organisme humain.

4.1.4 Aspects économiques et financiers

La récupération des déchets solides est une activité informelle très importante pour les populations à faibles revenus. Elle est créatrice d'emplois bien qu'elle soit considérée officiellement comme une activité marginale (PDM, 1996). Aujourd'hui beaucoup de jeunes femmes et de jeunes hommes chômeurs pratiquent ladite activité. Actuellement pour réussir à l'assainissement de la ville de Cotonou le service de la pré collecte et de la collecte dans la ville de Cotonou, est assuré par 52 ONG et 6 entreprises régulièrement autorisées par la mairie et qui sont réparties sur 95 secteurs d'intervention sur tout le territoire de la ville de Cotonou (DST / Mairie de Cotonou, 2007). Dans les quartiers, la pré-collecte des déchets est assurée par 5 structures qui assurent le service dans les ménages abonnés contre une redevance de 1500 à 2000 francs. Dans le marché Dantokpa, les « femmes Gbobeto » préalablement formées

par le PGDSM, assurent le ramassage (pré collecte) des ordures auprès des vendeuses de fruits et légumes avec des paniers, bassines, balais, gants, cache-nez, bottes contre une redevance de 100 à 200 francs. La collecte proprement dite est effectuée par les camions Bernes au point de regroupement dans les marchés comme dans les villes contre une redevance de 0 franc. Lorsque le problème de zonage s'était posé les hôtels ne se retrouvent plus dans la zone de la collecte des déchets de PGDSM. Or, les ONG à qui cette zone est attribuée ne collectent pas les déchets comme il se doit. Alors, le PGDSM assure la collecte de ces déchets contre 0 franc et utilise les matières biodégradables dans le compostage sur le site maraîcher de Houéyiho. Le compost ainsi fabriqué est vendu à 500 francs le sac de 80 kg aux maraîchers composteurs ; à 1000 francs le sac de 80 kg aux maraîchers non adhérents aux activités de compostage et 2000 francs le sac de 50 kg aux clients de l'extérieur. Ces fonds sont réunis par APCB (Association pour la Promotion de la Culture Biologique) pour relancer les activités de compostage. A l'avènement du projet c'est le promoteur qui finance les activités. Le compost se substitue partiellement aux engrais chimiques souvent importés et peut contribuer en conséquence à la réduction des sorties de devises. Mais à la fin du projet en 2011 les activités du compostage souffrent d'énormes problèmes de financement. Aujourd'hui, il est difficile aux maraîchers de pratiquer ces activités car les véhicules qui favorisent le transport des déchets tombent en panne et il manque de financement pour leur réparation. Alors ces activités de compostage se pratiquent à compte-gouttes.

Le compostage, à lui seul, ne peut définitivement résoudre le problème des déchets urbains dans les villes. Aujourd'hui les quinze compostières de Yaoundé par exemple traitent moins de 2 % de la quantité des ordures produites dans cette ville. Des problèmes financiers existent et s'ajoutent à la mauvaise répartition des rôles entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des déchets. Il est alors nécessaire aujourd'hui de mieux assurer la coordination des différentes interventions et de valoriser aussi les déchets plastiques.

4.2 Suggestions

La mise en place d'un système efficace et durable de gestion des déchets solides à Cotonou passe par l'extension de la collecte sélective dans toute la ville et la mise en place des centres de récupération et de valorisation. A cet effet un certain nombre de

dispositions doivent être prises dans tous les aspects du système de gestion suivant une approche intégrée qui, au-delà de la fraction fermentescible prendra en compte toutes les autres composantes des déchets urbains. Ces dispositions comprennent au prime abord un cadre juridique. En effet, et comme souligné plus haut le cadre juridique actuel manque de précision sur la récupération et la valorisation des déchets. Si la constitution du Bénin et la loi n°98-030 du 12 février 1999 portant loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin tracent le cadre pour une gestion écologique des déchets, d'autres applications plus précises sur la question de la valorisation doivent donner plus de visibilité dans ce domaine.

Pour ce qui est du cadre institutionnel, la création d'une agence nationale de gestion des déchets qui, avec l'appui financier du Fonds National de l'Environnement mettra en œuvre un programme national de gestion des déchets qui intègre la valorisation par compostage des déchets est nécessaire.

Aujourd'hui, face à l'ampleur des dégâts causés par la mauvaise gestion des déchets ménagers les autorités municipales souhaiteraient mettre en œuvre un programme pour améliorer le service public des déchets ménagers afin de réduire les conséquences néfastes des déchets sur le bien-être. En l'occurrence, il s'agit d'assurer la collecte et le traitement de tous les déchets ménagers produits dans la ville. Pour ce faire, la mairie a décidé de développer et de favoriser le tri sélectif et le recyclage, l'ouverture de plusieurs points de regroupement de déchets pré collectés par les ONG, d'interdire et de supprimer les décharges sauvages et de transporter tous les déchets de la ville vers le lieu de traitement. Cela demande beaucoup d'argent. Une façon de le faire est d'ouvrir une caisse réservée à ces fins. Cette caisse recevrait les contributions mensuelles de tous les usagers adultes.

Au niveau communal, l'approche de collecte sélective de la valorisation des déchets ne peut véritablement pas donner les résultats attendus si elle n'est pas soutenue par une volonté politique clairement définie (Gbedo, 2010). Les autorités communales en charge de la gestion des déchets doivent en faire une option et prendre des dispositions règlementaires et opérationnelles pour le faire adopter par leurs populations. Dans ce cadre des mesures incitatives doivent être mises par les autorités communales avec l'appui de l'agence nationale de gestion des déchets pour motiver les ménages et autres producteurs des déchets valorisables à pratiquer

le non- mélange des déchets à la source en vue de faciliter la collecte sélective et la valorisation. Aujourd'hui face à l'ampleur des dégâts causés par la mauvaise gestion des déchets ménagers les autorités municipales souhaiteraient mettre en œuvre un programme pour améliorer le service public des déchets ménagers afin de réduire les conséquences néfastes des déchets sur le bien-être. En l'occurrence, il s'agit d'assurer la collecte et le traitement de tous les déchets ménagers produits dans la ville. A cet effet, la mairie a décidé de développer et de favoriser le tri sélectif et le recyclage, l'ouverture de plusieurs points de regroupement de déchets pré collectés par les ONG, d'interdire et de supprimer les décharges sauvages et de transporter tous les déchets de la ville vers le lieu de traitement. Cela demande beaucoup d'argent. Une façon de le faire est d'ouvrir une caisse réservée à ces fins. Cette caisse recevrait les contributions mensuelles de tous les usagers adultes. Sur la base des textes de loi qui seront prises, des mesures coercitives pourront également être appliquées à l'encontre des producteurs récalcitrants ; ceci par le biais de la police environnementale et de la police sanitaire.

Pour la mobilisation des ressources en vue du financement de la valorisation des déchets la dynamisation du fonds national pour l'environnement reste une nécessité. Le FNE doit mettre en place un mécanisme efficace de mobilisation des écotaxes ; ceci avec l'implication de tous les acteurs qu'ils soient publics ou privés. Cela nécessite une meilleure prise de conscience sur les enjeux environnementaux du développement du pays. Des actions de communications et de lobbying doivent être initiées dans ce sens par le FNE pour l'atteinte de ces objectifs. De plus des actions de sensibilisions de tous les maraîchers de Cotonou doivent être menées efficacement afin de les amener à adhérer à la fabrication et à l'utilisation du compost dans le maraîchage. Il faudra alors créer dans tous les périmètres maraîchers de Cotonou des sites de valorisation des déchets par compostage. Le compost sera donc produit en quantité suffisante pour les maraîchers et utilisateurs de compost. Aussi est-il indispensable de décourager l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides dans l'agriculture urbaine ou dans le maraîchage pour une alimentation saine et équilibrée.

Enfin une étude d'impact environnemental suivie d'audit environnemental périodique doit accompagner tout le système.

Difficultés rencontrées

Les problèmes rencontrés pendant la conduite de cette recherche sont de plusieurs ordres :

-Problèmes liés à l'accès des données et informations disponibles sur les déchets à Cotonou n'ont pas été faciles. En effet, la non actualisation des données et l'accès très difficile aux documents confidentiels pour avoir les données fiables n'encouragent pas les recherches. De plus la collecte des informations auprès des ménages habitant des maisons de haut standing pose de sérieux problèmes. Puisque, la quasi-totalité des chefs de ménage de ces maisons échantillonnées ont été très difficiles d'accès. Toutefois, des solutions ont été trouvées en substituant tout simplement ces quartiers à d'autres répondants aux mêmes critères.

-Une autre difficulté majeure rencontrée au cours des différentes étapes de la recherche est liée à la collecte des déchets. Car sur le périmètre maraîcher de Houéyiho où la grande partie de la recherche a été conduite ; les véhicules qui favorisent le transport des déchets sont en panne. Pour ce faire nous avons dû faire recours aux ONG de pré collecte pour le transport des déchets sur le site. Les 20 planches sur lesquelles les essais agronomiques ont été réalisés sont louées et sont mises en jachère pendant un an ; ce qui nécessite beaucoup de moyens financiers. Cependant les recherches ont été menées à termes et le travail a été réalisé.

Conclusion générale

La présente recherche a permis d'obtenir des informations sur le mode de gestion des ordures ménagères à Cotonou, de les caractériser, de composter la fraction fermentescible de ces déchets et d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et agronomiques du compost fabriqué. Pour y parvenir des enquêtes exhaustives ont été menées auprès des ménages, des structures de pré-collecte, des maraîchers et dans les marchés. De ces travaux, il ressort que 91,7 % des ménages enquêtés possèdent de poubelles et 63,33 % sont abonnés à une structure de pré-collecte ; les matières biodégradables occupent le pourcentage le plus élevé (51,02 %) du poids total des déchets. Ces déchets proviennent dans leur grande majorité des vendeuses de denrées périssables (fruits et légumes) ; 100 % des fabricants de compost utilisent des matières biodégradables pré-triées à la source provenant des ordures pré-collectées. Quant aux déchets des marchés, les matières biodégradables occupent eux aussi le pourcentage le plus élevé 67,37 % du poids total des déchets collectés et traités. La quantité moyenne de déchets compostés par cycle est inférieure ou égale à 21 m^3 pour 80 % des composteurs. Cette proportion des composteurs affirme produire par cycle de compostage une quantité moyenne de compost inférieure ou égale à 2000 kg ; 66, 73 % de la population des fabricants de compost reconnaissent vendre une partie ou la totalité du compost produit aux agriculteurs périurbains. Pour tous les maraîchers interrogés, les fertilisants synthétiques viennent toujours en complément aux engrais organiques dans les pratiques culturales. 43,33 % d'entre eux l'utilisent avec des fientes, alors que 36,67 % l'utilisent avec des fertilisants synthétiques. Seulement 7 % des maraîchers utilisent exclusivement du compost dans la production des fruits et légumes.

Le pourcentage d'humidité des déchets est de 65 %. Un rendement de 83,33 % a été obtenu lors du compostage des déchets. Au vu des valeurs de pH le compost est basique et peut facilement équilibrer des sols siliceux acides comme ceux de Cotonou et ses banlieues surtout que sa capacité de rétention en eau de 49 % est plus ou moins forte. Un rapport C/N de 13 obtenu est stabilisant pour les sols sur lesquels le compost est appliqué. Des valeurs élevées en cations échangeables et en capacité d'échange cationique favorisent l'équilibre de sols lessivés. La biodisponibilité du fer total est forte pour être disponible aux plantes. La moyenne

des mesures de la conductivité présentée révèle un taux plus important de sels solubles dans le compost.

Quant à la présence du plomb dans le compost, son utilisation dans le cadre du maraîchage ou d'une agriculture urbaine et périurbaine doit être conditionnée afin de prévenir une accumulation de cet élément trace, dangereux pour la santé humaine dans ces écosystèmes.

A l'avenir, le compostage des ordures ménagères ne devrait être réalisé qu'après un tri minutieux de ces ordures afin d'écarter systématiquement des résidus industriels source de plomb. Il est aussi nécessaire de procéder à la spéciation des métaux lourds dans le compost en vue de sortir réellement le potentiel de biodisponibilité aux plantes du plomb dans le compost.

Les tests agronomiques ont donné des résultats satisfaisants avec des rendements en poids frais et sec. L'analyse de la variance effectuée sur les poids frais et sec des feuilles de la grande morelle a montré qu'il y a une différence significative entre les traitements au seuil de 5 %.

Le compost est alors un engrais naturel qui corrige les sols pauvres en matière organique et favorise la pérennisation d'une agriculture biologique saine.

Il est donc urgent de promouvoir l'utilisation des fertilisants organiques et d'élaborer les techniques de restauration des terres agricoles.

Aujourd'hui face à l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement, il est donc nécessaire de promouvoir la valorisation des déchets par compostage pour une agriculture durable voire un développement durable.

Dans les prochaines études, il sera question de faire des études comparatives sur le rendement de l'agriculture intensive, d'évaluer les substrats pédologiques et aussi d'étudier le coût de restauration des terres agricoles à moyen et à long terme.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

ABE, (1998) : Guide général de réalisation d'une étude d'impact sur l'Environnement, 52 p.

ABE, (2001) : Projet de gestions des déchets solides à Cotonou ; Audience publique sur l'environnement ; rapport de l'audience, Cotonou, Bénin, 132 p.

Adam K. **S., Boko M**., **(1983) : L**e Bénin. Sodimas / Edicef, Paris 1983, 95 p.

Adam A.H., (2000) : Gestion des ordures ménagères dans la ville de Garoua au Cameroun ; Mémoire de DEA, UAC, 48 pages.

Ademe, (2009) : La collecte des déchets par le service public en France ; résultat année 2007 ; ADEME, Paris, 20 pages

Ademe, (1993) : Modecom : méthode de caractérisation des ordures ménagères ; ADEME, Paris 61 p.

Adjademen N., (**1994**) **:** Contribution à l'étude de la gestion et du traitement des déchets ménagers et par compostage dans les conditions tropicales. Etude de cas de quelques quartiers de la ville de Cotonou (Bénin) ; travail pratique de diplôme d'ingénieur EPFL, Suisse 73 p**.**

Adjahossou B. Aguewe M., (**1995**) **:** Gestion, caractéristiques physico-chimiques des déchets solides dans la ville de Cotonou et valorisation par compostage. Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux (DIT), APE / CPU / UAC 98 p.

AFNOR, (1994) : Dictionnaire de l'environnement ; les termes normalisés ; Paris 307 pages.

Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets., (1990) **:** Le Tri-compostage des ordures ménagères. Editions des transformateurs. N° 27 Minitel, France.

Aïna P.M, (2006) : Expertise des centres d'enfouissement des déchets urbains dans les PED : contribution à l'amélioration d'un guide méthodologique et sa valorisation

expérimentale sur sites ; thèse pour l'obtention de grade de docteur de l'Université de limoges, 192 p.

ASECNA, (2002) : Rapport scientifique sur la variabilité du climat au Bénin, 11 p.

Avnimelech Y., (1996): Stability indexes for municipal solid waste compost. Compost Science &Utilization, p 26.

Bintou A., (1995) **:** Compostage et méthanisation des déchets et substrats végétaux disponibles en zone sahélienne et dans la ville de N'djaména, thèse doctorale, Tchad 288 p.

Blalogoe C. P., (2010) : Problématique de la valorisation agricoles des déchets solides ménagers de la ville de Cotonou. Mémoire du Diplôme d'Etude Approfondi. EDP/FLASH/UAC 99 p.

Boko M., (2005) : Méthodes et techniques des sciences environnementales ; manuel de cours, centre de publication universitaire, UAC, 303 p.

Bourhima, (2003) : Effet des pesticides sur le rendement agricole. Article publié, 17 p.

Bruand A., Zimmer D., **(1992)** : Relation entre la capacité d'échange cationique et le volume poral argileux : incidences sur la morphologie de la phase argileuse à l'échelle des assemblages élémentaires. CR Académie des sciences, Paris Série II, 315 p.

Clément J. M., (1981) : Larousse agricole. Librairie Larousse, France, 1208 p.

CREPA-BENIN., (1995) : Elimination des déchets solides dans le quartier st Michel à Cotonou, 5 p.

CREPA-BENIN, (2002) : Rapport annuel d'activité sur la gestion des déchets à Cotonou

Dalzell H. W., Purdy C. D., (1988) : Aménagement du sol : production et usage du compost en milieu tropical et subtropical. Bulletin pédologique de la FAO. N° 56 1958, 21 p.

Darriet F., Corbel V. (2007) : Influence des engrais de type NPK sur l'oviposition d'Aedes Aegypti. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Article publié

Dave D., (2003) : La morelle de Quito (solanum quitoense). Institut de technologie agroalimentaire de Saint Hyacinthe depuis 1999. Article publié, 21 p.

DCAM-BETHESDA, (1995) : Le recyclage des déchets plastiques : l'expérience du PRAPE à Cotonou, 20 p.

DCAM-BETHESDA, (2008) : Etude pour l'évaluation des actions grandes problématiques liées à l'hygiène et l'assainissement dans la ville de Parakou ; rapport d'étude, Cotonou, Bénin, 56 p.

De Silguy C., (1996) : Histoire des hommes et de leurs ordures : du moyen âge à nos jours. Le chercheur midi éditeur, pp. 85-106.

De Souza S. (1988) : Noms des Plantes dans les langues nationales Béninoises ; Tome 3, 423 P.

Dessau et Soprin, (2001) : Gestion des déchets à Cotonou au Bénin. Analyse économique et organisationnel ; rapport préliminaire, Cotonou, 125 p.

Direction des Services Techniques, (2007) : Synthèse sur la gestion des ordures ménagères. DST/ Mairie de Cotonou, 17 p.

Djahunta M., Ahantchede A., (2003) : Valorisation des déchets solides des abattoirs de Cotonou ; Bénin, 87 p.

Folléa V., Brunet F., Benrabia N., Bourzai M. P., Faucompré P., (2001) : Revue comparative des modes de gestion des déchets urbains dans neuf (9) villes Africaines, 38 p.

Gachter R. Meyer S. J., Mares A., (1996) ; Méthodes d'analyse en phosphore total, façon importante à la charge en phosphore sur les eaux superficielles, pages similaires.

Gallant P., (2000) : Horticulture et grande morelle dans les Jardins de Métis, collection de primevères. France 156 p.

Gbedo V., (2002) : Etude des pratiques endogènes de Valorisation des déchets solides ménagers à Cotonou : approche pour une gestion durable des déchets ; mémoire de DEA, EDP, FLASH, UAC 122 p.

Gbedo V., (2010) : Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou : Approche pour une maîtrise des aspects techniques et socio-économiques ; thèse pour l'obtention du grade de Docteur ès lettre de l'Université d'Abomey-Calavi, 237 p.

Gbinlo R. E., (2010) : Organisation et financement de la gestion des déchets solides ménagers dans les villes de l'Afrique Sub-saharienne : Cas de la ville de Cotonou au Bénin. Thèse soutenue pour l'obtention du grade de Docteur à l'Université d' Orléans ; Ecole Doctorale Science de l'Homme et de la Société ; Laboratoire d'économie d'Orléans, 227 p.

GIGG, (1983) : Ville de Cotonou ; plans directeurs et d'études d'ingénierie pour l'alimentation en eau potable, l'assainissement et l'évaluation des déchets solides. Plan directeur : Tome 1, partie A et B ; Cotonou ; SBEE / MIME, 117 p.

Giguere R, (2003) : Botaniques horticulture dans les jardins du Québec. Editions Multi Mondes, 184 p.

Gillet R., (1986) : Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en développement. Copenhague : OMS-PNUD, 211 p.

Gnanih V., (1989) : Des ordures au compost, une œuvre très célèbre de TOHOUE, projet CTOM, Porto-Novo. In info CREPA N°6, 3 p.

GnonzanP. A., (2003) : Valorisation des ordures ménagères : influence du rapport des constituants de compost à base d'ordure sur la production du chou-pommé (Brassica oléracéa L.). Mémoire de fin de formation pour le diplôme d'ingénieur des travaux. (DIT), APE/CPU, 75 p.

Gootas H. B., (1959) : Compostage et assainissement. Genève, Suisse, OMS, 209 p.

Guevara-Riban A., Sahuquillo A., Rubio R. et *al*, (2004): Assessment of mobility in dredged harbor sediments from Barcelona, Spain. Science of the Total environment, 2004 vol. 321 pp 241-255.

Haug R.T., (1980): Compost engineering Principe and practice. Edition ANNARBOR Science Machigan, usa, 655 p.

Hebette A., (1996) : Guide pratique de la gestion des déchets solides urbains en Afrique subsaharienne. Edition LUX - DEVELOPPEMENT, Luxembourg, 151 p.

Hermant G., (1997) : La matière organique, son évolution. Cours de physique du sol FSA/UNB, 62 p.

INSAE, (2004) : Cahier des villages et quartiers de ville. Département du littoral, Direction des Etudes Démographiques, Cotonou, Mai 2004, 22 p.

INSAE, (2013) : Recensement Général de la Population et de l'Habitat quatre ; résultats provisoires, 7 p.

Jeangille P., (1995) : Le compostage pour utilisation en horticulture. FAO Projet, GCP / RAF 1244 / Bell Dakar Sénégal, 26 p.

Juste C., Pommel, B., (1977) : La valorisation agricole des déchets. Article publié, Yaoundé, 9 p.

Kannikpo C., (2013) : Appareillage et mode opératoire du dosage des métaux lourds par spectrophotométrie atomique, Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE/CRA INRAB) ; synthèse de document de travail, version actualisée en 2013, 3 p.

Kauffman R., (2000) : Rapport d'étude de la performance des groupements d'intérêts économiques dans le ramassage des ordures du quartier Sainte Rita ; Cotonou, 125 p.

Kounde C. Z., (1998) : Etude de l'impact du compost à base des ordures ménagères sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à DJOUGOU. Thèse d'ingénieur soutenue en 1998, FSA, Science du sol, 88 p.

Kroll R., (1994) : Les cultures maraîchères, 130 p.

Laperche et *al*, (2004) : Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués. BRGM-52881-FR, 40 ill. 136 p.

Mathieu et *al,* (2003) : Méthode de préparation des échantillons pour analyse, 12 p.

MDGLAAT, (2007) : Mission de la décentralisation, recueil des lois sur la décentralisation au Bénin.1999, 172 p.

MEHU, (1999) : Lois cadres sur l'environnement en République du Bénin N°98-030. Collection ABE Cotonou, 66 p.

MEHU, (2003) : Agenda de l'environnement, direction de l'Environnement, 173 p.

Merlin P. et Choay F. (2000) : Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, 3e édition, revue et augmentée ; Puf, 902 p.

Miquel G., (**2003) :** Recyclage et valorisation des déchets ménagers, rapport 415 (98 – 99). Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et technologique, Paris, 211 p.

Moustier P., (1998) : L'agriculture péri urbaine en Afrique subsaharienne CIRAD-CORAF, 287p.

Mustin M., (1987) : Le compost : gestion de la matière organique. Editions François DUBUSC 35, rue Mathurin Régnier 75015 paris, 960 p.

Namkoong W., (1999): A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. Compost Science of Utilization 7 : 55-62.

N'bessa B., (1997) : Porto-Novo et Cotonou : Origine et évolution d'un doublet urbain ; Thèse de Doctorat, Bordeaux – Talence, 456 p.

Ndumbe N. H., Ngnikam E., whete J., (1995) : Le compostage des ordures ménagères: expérience du Cameroun après la dévaluation du Franc CFA. In Bulletin Africain RABEDE N°5, 13 p.

Nevo E., (1991): Evolutionary theory and processes of active speciation and adaptive radiation in subterranean mole rats, spolax ehrenbergi superspecies, in Israel – articles publiés, 12 p.

Ngnikam E., (1993) : Guide de fabrication de compost, 83 pages.

Nriagu J.O., (1978): The biogeochemistry of Lead in the Environment. Part A. Ecological Cycles. Elsevier/North – Holland New York; in LAPERCHE et *al*

OMS, (1989) : Amélioration des conditions d'hygiènes de l'environnement dans les habitats à faibles revenus, 61 p.

OMS, (2006) : Prévenir la maladie grâce à un environnement sain, une estimation de la charge de morbidité imputable à l'environnement ; rapport de l'OMS, Genève, 105 p.

Onifadé, K. O., (2006) **:** Valorisation des fèces et de l'urine : aspects sanitaires et agronomiques sur les productions de la tomate (lycopersicum esculentum) et de la grande morelle (solanum macrocarpum). Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux (DIT) DGE / EPAC / UAC, 52 p.

Ousseynou E. D., (1996) : Problématique de la gestion des déchets solides en Afrique de l'ouest et Centrale. Série séminaires PDM VIII, Publication GREA. AO, 28 p.

Ouro-djeriI., (2006) : Problématique de la gestion durable des déchets solides ménagers dans le cinquième arrondissement de Cotonou : approches éducationnelle et communicationnelle, mémoire de DESS ; CIFRED / UAC, 76 p.

OXFAM QUEBEC, PGDSM (2004) : "Municipalité de Cotonou. Guide pratique de gestion des déchets solides ménagers à Cotonou » Rapport final, 56 p.

OXFAM QUEBEC, PGDSM (2008) : Guide de gestion des déchets biomédicaux dans la ville de Cotonou ; Publication Cotonou, Bénin, 47 p.

PADAP, (2003) : Guide pratique sur le maraîchage au Bénin, MAEP ; 22 p.

PDM, (1998) : Pour une gestion efficiente des déchets dans les villes africaines : les mutations à conduire ; 114 p.

Pagnanellia F., Espositob A. and *al.* (2003): Metal speciation and pH effect Pb, Cu, Zn and CD biosorption on to Sphaerotilus natans: Langmuir type-empirical model. *Water research*, 37: 627-633

Petit Larousse, (2013) : Dictionnaire de langue française, 1930 p.

PGDSM, (2007) : Document de synthèse d'information, sur la gestion des déchets solides ménagers à Cotonou, 37 p.

PNUD, (2004) : Rapport sur le Développement Humain Durable de l'Afrique. 82 p.

RABEDE, (1995) : Compostage, Valorisation des déchets, Amendements organiques et le Sommet solaire mondial : où en est le processus ? Edité par Enda énergie, BP 3370, Dakar Sénégal, 43 p.

RGPH, (2002) : Données sur le Recensement Général de la Population et de l'Habitat, INSAE, 32 p.

RGPH, (2013) : Données provisoires sur le Recensement Général de la Population et de l'Habitat, INSAE, 7 p.

Rauret G., Rubio R., Lopez-Sanchez J. F., and al, (1988): Determination and speciation of copper and lead in sediments of Mediterranean river (Rivertenes, catalonia, Spain); *water research* 22, 449-455.

Seck M. A., (1999) : Compostage valorisation des déchets, amendement organique ; RAC, Dakar, 43 p.

SOCLO H. Henri, (1995) : Recherche de compost type et toxicité résiduelle. Communication à la conférence constitutive du réseau Africain du compost Dakar (bulletin africain, RABEDE) PP 27 – 28.

Soclo H. H., Aguewe, M., Adjahossou, B. C. et *al*, (1999) : Recherche de Compost type et toxicité résiduelle au Bénin. Techniques, sciences et méthodes, 10 p.

Soudi B., (2001) : Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost : cas des petites et moyennes communes au Maroc, édition Actes, 104 p.

Tchakpa C., (2010) : Caractérisation et valorisation par compostage aérobie des ordures ménagères du quartier Fidjrossè à Cotonou. Mémoire de DEA, EDP/UAC, 61 p.

Tessier A., Campbell P.G.C. et Bisson M., (1979): Sequential extraction procedure for the speciation of the particulate trace metal. Anal. Chem. Vol.51, pp 844-851

Tokanou R., et Quenum R., (2007) : Etude sur le sous-secteur du maraîchage au sud-Bénin, Rapport final, 80 p.

Tonon F., (**1987) :** contribution à l'étude de l'environnement en République Populaire du Bénin Espace urbain et gestion des déchets solides dans la ville de Cotonou. Thèse de doctorat de 3^{e} cycle ; Université Cheik Anta Diop ; ISE. Dakar, 311 p.

Topanou A., (2012) : Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi et essais de valorisation par compostage ; thèse, 220 p.

Veldkamp T., (1992) : Fertilité du sol. Première Edition française, 618 p.

Vermande P., (1995) : Les aspects scientifiques technologiques et environnementaux liés au Compostage des déchets en Afrique. Actes, Dakar, 12 p.

Vernier, (2001) : Importance de déchets valorisés dans les immeubles équipés du système de containers différenciés. Paris (France), pages similaires.

Vigninou T., (2000) : La gestion des déchets ménagers à Porto Novo et la problématique des mutations de comportements socio-économiques et administratifs ; DEA Gestion de l'environnement, UNB, 73 p.

Waas E. Diop, O., (1996) : Valorisation des déchets organiques dans les quartiers populaires des villes africaines. Publié par SKAT, 1ère édition, 143 p.

Walkley A. Black, A., (2010) : Détermination du carbone organique total dans les sols agricoles : méthode Walkley-Black modifiée MA.1010-WB-WB10, 3 p.

WEBOGRAPHIE

Bonny S., **(1994)** : les possibilités d'un modèle de développement durable en agriculture le cas de la France ; communication donnée au symposium international, publiée en anglais dans les actes du colloque (pp. 427-438).
http://www.scholargoogle.fr /23/11/14

Dictionnaire de l'Académie Française, (1687) : Dictionnaire de langue française. http://www.scholargoogle.fr /22/09/14

Fisher, (2004) : Test de Fisher corrigé sept 2004 PDF **https://www.google.fr**

Guivarch A., (2001): Valeur d'épuration à court terme du phosphore des boues de station d'épuration urbaine; articles publiés**.** http://www.scholargoogle.fr /22/09/14

Juste C. Soldâ P., (1988) : Influence de l'addition de différentes matières fertilisante sur la biodisponibilité du calcium, du manganèse, du nickel et du zinc contenus dans un sol sableux ; articles publiés en 4 versions ; agronomie**,** http://www.scholargoogle.fr /22/09/14

Le compostage va à l'école. Conseil Canadien du Compostage. www.compost.org/12/01/2011

Méthode d'évaluation de la maturité des composts. Ecological Agriculture Projects. www.eap.mcgill.ca/16/12/2010

OCDE (2006): Confirmatory test with continuous ecotoxity test http://www.oecd.org/dataoecd/29/11/2011 PDF

Pujol J. L., Drone Dominique (2002) : Agriculture, monde rural et environnement : qualité oblige,articles publiés. http://www.scholargoogle.fr /23/11/14

Yamada O., Pauthenet R., (1971) : Caractère de magnétisation itinérant des alliages fer-nickel et fer-nickel-manganèse sous champ magnétique fort ; articles publiés, 4 versions dans le journal jphyscol. http://www.scholargoogle.fr /22/09/14

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du site de maraîchage de Houéyiho à Cotonou...49
Figure 2 : Localisation du périmètre maraîcher de Houéyiho 55
Figure 3 : Modèle d'analyse de valorisation des déchets comme alternative à l'utilisation des engrais chimiques dans le maraîchage 63
Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental.....68
Figure 5 : Caractéristiques des ordures ménagères de Cotonou 74
Figure 6: Résultats obtenus auprès des maraîchers et/ou composteurs de Houéyiho 80
Figure 7 : points de regroupement et dépotoirs des déchets des marchés Dantokpa et Saint Michel.....83
Figure 8 : l'évolution des températures dans les andains.....88
Figure 9 : Résultats de l'extraction séquentielle du manganèse.....93
Figure 10 : Résultats de l'extraction séquentielle du fer 93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristique de l'échantillon enquêté.....59
Tableau II : Caractéristiques de l'échantillon des deux marchés.....60
Tableau III : Echantillon des maraîchers enquêtés.....61
Tableau IV : Schéma d'extraction séquentielle du fer et du manganèse pour 5,0 g d'échantillon.....67
Tableau V : Evolution estimée de la production des DSM à Cotonou de 1992 à 2020 75
Tableau VI : Présentation des éléments Caractéristiques des déchets produits à Dantokpa et à Saint Michel par zones de vente 77
Tableau VII: Résultats de la caractérisation des ordures ménagères des deux marchés.....84
Tableau VIII : Résultats des analyses physico-chimiques du compost produit.....91
Tableau IX : Résultats de la comparaison deux à deux du poids feuille de la grande morelle 97

Tableau X: Résultats des rendements en poids frais des feuilles de la grande morelle 98
Tableau XI: Résultats, moyennes et erreurs types.....98
Tableau XII: Résultats de la comparaison deux à deux de la matière sèche des feuilles de la grande morelle.....99

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Repiquage des plantes de la grande morelle sur le site de Houéyiho.....69
Photo 2 : Arrosage et entretien des plantes 70
Photo 3 : Prise des mesures au niveau des plants.....71
Photo 4: Tri des déchets réalisés sur le site de Houéyiho 85
Photo 5 : déchets en compostage 1 sur le site de Houéyiho.....86
Photo 6: déchets en compostage 2 sur le site de Houéyiho.....87
Photo 7: déchets en compostage 3 sur le site de Houéyiho.....87
Photo 8: Compost mûr réalisé sur le site maraîcher de Houéyiho.....90
Photo 9 : effet du compost sur le rendement de grande morelle 96

ANNEXES

ANNEXE 1 : Publication des articles

N°	Titres	Auteur	Revues
1	Characterization and Valuation of the Domestic Solid Waste of Fidjrosse District in Cotonou (Republic of Benin) by Aerobic Composting	Cyrille Tchakpa, Patrick A. Edorh, Patient Guedenon and Michel Boko	Nature Environment and Pollution Technology *An International Quarterly Scientific Journal* Vol.12 No3 . pp. 383-390 (2013)
2	Collection and characterization of Domestic Solid Waste in Cotonou	Cyrille Tchakpa, Patrick A. Edorh, Patient Guedenon, Michel Boko	*Journal International Environmental Application &Science,* Vol. 9(1) :37-43 (2014)
3	Physico-chemical characteristic of compost (Cotonou,Benin, West Africa)	TCHAKPA Cyrille EDORH A. Patrick TOMETIN Lyde DAOUDA Mama, BOKO Michel	J. Appl. Sci. Environ. Manage. *March 2014* Vol. 18 (2) 309-314

Article soumis

N°	Titre	Auteur	Revue
1	Evaluation de la qualité agronomique du compost à base d'ordures ménagères avec la culture de la grande morelle sur le site maraîcher de houéyiho à Cotonou	Cyrille Tchakpa, Marcel Donou Patrick A. Edorh Michel Boko	

ANNEXE 2 : Tableau montrant les résultats obtenus auprès des maraîchers et/ou composteurs de Houéyiho

Questions	Nombre de personnes réponses/type de réponse	Pourcentage
Etes-vous maraîchers et/ou agriculteurs composteurs ?	Maraîchers : 20, agriculteurs composteurs : 10	66,67% 33,33%
A quel moment de l'année pratiquez-vous maraîchage et le compostage	Toute l'année : 30	100%
Quelle technique de compostage utilisez-vous ?	Compostage aérobie: 30	100%
	Compostage anaérobie: 00	00%
Où trouvez-vous la matière première	Dans les marchés : 20 Dans les hôtels et dans les ménages : 10	66,67% 33,33%
Triez-vous les déchets avant compostage ?	Oui à la source et sur le site : 30 Il s 'agit d'un tri par catégorie	100%
Volume moyen de déchets organiques compostés par cycle	≤ 21m^3: 24 Comprise entre 21 et 25m^3: 5 > 25m^3: 1	80% 16,17% 3,33%
Volume moyen de compost mûr obtenu par cycle	≤ 2000kg: 24 Comprise entre 2000 et 2500kg: 5 > 2500kg: 1	80% 16,7% 3,33%
Durée du cycle de compostage	≤ 3 mois: 30 Entre 3mois et 6mois: 00 > 6mois: 00	100% 00% 00%
Quel est le devenir de votre compost ?	Utilisation dans le maraîchage: 15 Vente : 15	50% 50%
Quels fertilisants utilisez-vous dans vos activités professionnelles?	Fertilisants synthétiques seuls: 00 Fertilisants synthétiques + fiente: 13 Compost seul: 6 Compost + Fertilisants synthétiques : 11	00% 43,33% 20% 36,67%

ANNEXE 3 : Préparation du sol du site

Le sol du site a une couleur brune et une texture limono sablonneuse, perméable à l'eau et pauvre en matière organique, donc très peu fertile.



Photo 1 : préparation des planches du site
Prise de vue : TCHAKPA, juillet 2013



Photo 2 : préparation des planches du site
Prise de vue : ACLASSATO, juillet 2013

ANNEXE 4 : Epandage du compost et repiquage de la pépinière



Photo 3 : Epandage du compost
Prise de vue : ACLASSATO, juillet 2013



Photo 5 : Epandage du compost
Prise de vue : ACLASSATO, juillet 2013

ANNEXE 5 : Arrosage et entretien de la culture



Photo 4 : Arrosage

Prise de vue : ACLASSATO, juillet 2013



Photo 6: Entretien de la culture

Prise de vue : ACLASSATO, juillet 2013

ANNEXE 6 : Evolution et maturation de la grande morelle



Photo 7 : Evolution de la grande morelle
Prise de vue : TCHAKPA, Août 2013



Photo 9: Maturation de la grande morelle
Prise de vue : ACLASSATO, Août 2013

ANNEXE 7 : Maturation de la grande morelle



Photo 8: Maturation de la grande morelle
Prise de vue : ACLASSATO, Août 2013



Photo 10 : Maturation de la grande morelle
Prise de vue : ACLASSATO, Août 2013

ANNEXE 8 : Prise des mesures de la grande morelle



Photo 11 : Prise des mesures de la grande morelle
Prise de vue : ACLASSATO, Septembre 2013



Photo 13 : Prise des mesures de la grande morelle
Prise de vue : ACLASSATO, Septembre 2013

ANNEXE 9 : Prise des mesures de la grande morelle



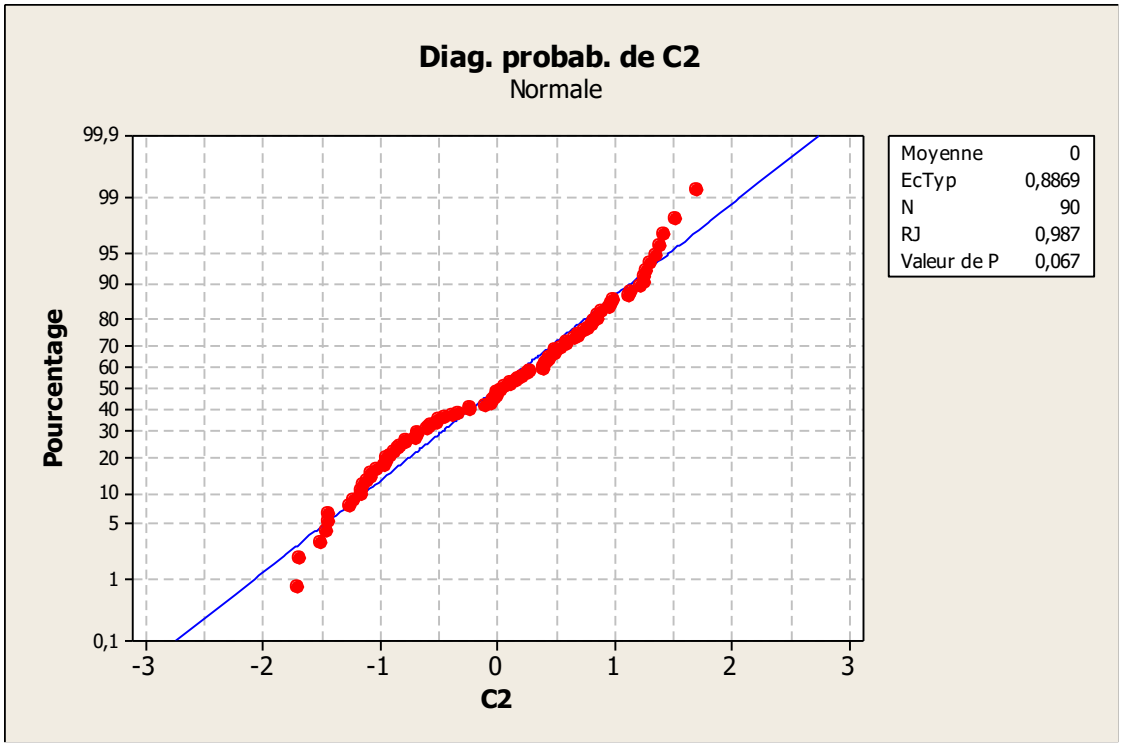
Photo 12 : Prise des mesures de la grande morelle

Prise de vue : ACLASSATO, Septembre 2013

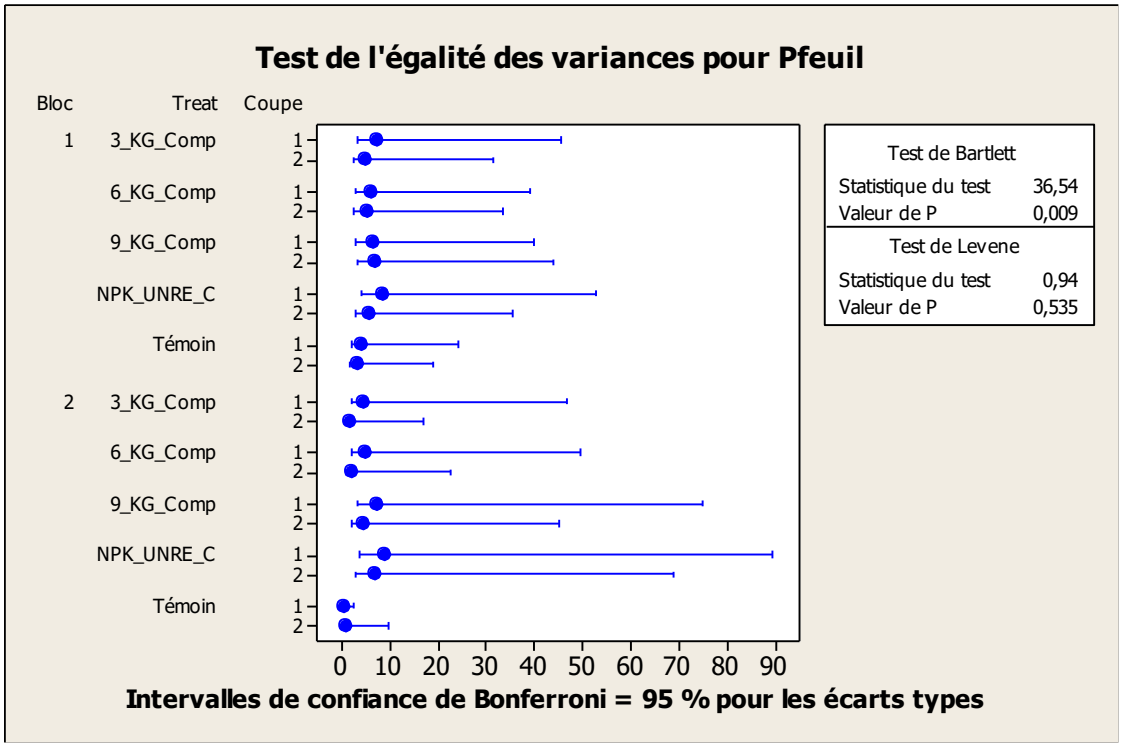
ANNEXE 10 : Résultats statistiques des traitements de la grande morelle

Poids feuille

Normalité



P=0.067>0.05 les données suivent une distribution normale



Test de l'égalité des variances : Poids feuille en fonction de Bloc; Treat; Coupe

Intervalles de confiance de Bonferroni = 95 % pour les écarts types

Bloc	Treat	Coupe	N	Inférieur	EcTyp	Supérieur
1	3_KG_Comp	1	5	3,41835	7,24569	45,4398
1	3_KG_Comp	2	5	2,36830	5,01996	31,4816
1	6_KG_Comp	1	5	2,93490	6,22093	39,0133
1	6_KG_Comp	2	5	2,52742	5,35724	33,5968
1	9_KG_Comp	1	5	3,00978	6,37966	40,0087
1	9_KG_Comp	2	5	3,29570	6,98570	43,8094
1	NPK_UNREE_C	1	5	3,98366	8,44393	52,9544
1	NPK_UNREE_C	2	5	2,68126	5,68331	35,6417
1	Témoin	1	5	1,82261	3,86329	24,2278
1	Témoin	2	5	1,43097	3,03315	19,0218
2	3_KG_Comp	1	4	1,97632	4,53459	46,7567
2	3_KG_Comp	2	4	0,71171	1,63299	16,8380
2	6_KG_Comp	1	4	2, 10527	4, 83046	49,8074
2	6_KG_Comp	2	4	0,94779	2,17466	22,4232
2	9_KG_Comp	1	4	3, 17478	7,28440	75,1103
2	9_KG_Comp	2	4	1,91634	4,39697	45,3377
2	NPK_UNREE_C	1	4	3, 78280	8,67948	89,4951
2	NPK_UNREE_C	2	4	2,92027	6,70044	69,0890
2	Témoin	1	4	0,10896	0,25000	2,5778
2	Témoin	2	4	0,41728	0,95743	9,8721

Test de Bartlett (loi normale)
Résultat du test = 36,54 ; valeur p = 0,009

Test de Levene (toute loi de distribution continue)
Résultat du test = 0,94 ; valeur p = 0,535

Egalité des variances selon levene

Anova

Modèle linéaire général : Pfeuille en fonction de Bloc; Treat; Coupe

Facteur Type Niveaux Valeurs
Bloc fixe 2 1; 2
Treat fixe 5 3_KG_Comp; 6_KG_Comp; 9_KG_Comp; NPK_UNRE_C; Témoin
Coupe aléatoire 2 1; 2

Analyse de la variance pour Pfeuil, avec utilisation de la somme des carrés ajustée pour les tests

SomCar

Source	DL	SomCarséq	ajust CM ajust	F	P
Bloc	1	25,80	25,80	0,18	0,742
Treat	4	1740,63	1912,02	478,00	12,08	0,017
Coupe	1	4,90	0,78	0,78	0,01	0,953 x
Bloc*Treat	4	423,04	423,04	105,76	2,76	0,174
Bloc*Coupe	1	140,28	140,28	140,28	3,66	0,128
Treat*Coupe	4	166,13	158,22	39,56	1,03	0,488
Bloc*Treat*Coupe	4	153,22	153,22	38,31	1,23	0,307
Erreur	70	2183,99	2183,99	31,20		
Total	89	4837,99				

x n'est pas un test F exact.

S = 5,58568 R carré = 54,86 % R carré (ajust) = 42,60 %

L’analyse de la variance effectuée sur le poids frais des feuilles de Grande morelle a montré qu’il y a une différence significative entre les traitements au seuil de 5%

ANOVA à un facteur contrôlé : Poids feuille en fonction de Treat

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Treat	4	1740,6	435,2	11,94	0,000
Erreur	85	3097,4	36,4		
Total	89	4838,0			

S = 6,037 R carré = 35,98 % R carré (ajust) = 32,97 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	N	Moyenne	Ectype	----+---------+---------+---------+-----
3_KG_Comp	18	8,222	4,962	(----*-----)
6_KG_Comp	18	10,972	4,641	(-----*-----)
9_KG_Comp	18	18,056	7,770	(-----*-----)
NPK_UNREE_C	18	14,500	8,055	(-----*-----)
Témoin	18	5,694	3,282	(----*-----)

----+---------+---------+---------+-----
5,0 10,0 15,0 20,0

Ecart type regroupé = 6,037

Informations de groupement avec la méthode de Tukey

Treat N Moyenne Groupement
9_KG_Comp 18 18,056 A
NPK_UNREE_C 18 14,500 A B
6_KG_Comp 18 10,972 B C
3_KG_Comp 18 8,222 C
Témoin 18 5,694 C

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes.

Intervalles de confiance simultanés de Tukey = 95 %
Toutes les comparaisons deux à deux sur les niveaux de Treat

Niveau de confiance individuel = 99,34 %

Treat = 3_KG_Comp soustrait de :

Treat Inférieur Centré Supérieur
6_KG_Comp -2,856 2,750 8,356
9_KG_Comp 4,227 9,833 15,439
NPK_UNREE_C 0,672 6,278 11,884
Témoin -8,134 -2,528 3,078

Treat --------+---------+---------+---------+-
6_KG_Comp (-----*----)
9_KG_Comp (-----*----)
NPK_UNREE_C (----*-----)
Témoin (----*-----)
--------+---------+---------+---------+-
-10 0 10 20

Treat = 6_KG_Comp soustrait de :

Treat Inférieur Centré Supérieur
9_KG_Comp 1,477 7,083 12,689
NPK_UNREE_C -2,078 3,528 9,134
Témoin -10,884 -5,278 0,328

Treat --------+---------+---------+---------+-
9_KG_Comp (-----*-----)
NPK_UNREE_C (-----*----)
Témoin (-----*----)
--------+---------+---------+---------+-
-10 0 10 20

Treat = 9_KG_Comp soustrait de :

Treat Inférieur Centré Supérieur
NPK_UNREE_C -9,161 -3,556 2,050
Témoin -17,967 -12,361 -6,755

Treat --------+---------+---------+---------+-
NPK_UNREE_C (----*-----)
Témoin (-----*----)
--------+---------+---------+---------+-
-10 0 10 20

Treat = NPK_UNREE_C soustrait de :

Treat Inférieur Centré Supérieur --------+---------+---------+---------+-
Témoin -14,411 -8,806 -3,200 (----*-----)
--------+---------+---------+---------+-
-10 0 10 20

Test de Kruskal-Wallis sur CVF

			Rang	
Bloc	N	Médiane	moyen	Z
1	50	102,5	41,9	-1,46
2	40	151,0	50,0	1,46
Global	90		45,5	

B H = 2,12 DL = 1 P = 0,145
H = 2,13 DL = 1 P = 0,145 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : CVF en fonction de Treat

Test de Kruskal-Wallis sur CVF

			Rang	
Treat	N	Médiane	moyen	Z
3_KG_Comp	18	118,50	37,3	-1,50
6_KG_Comp	18	108,00	42,4	-0,56
9_KG_Comp	18	194,50	53,7	1,49
NPK_UNREE_C	18	166,00	53,3	1,42
Témoin	18	78,00	40,8	-0,85
Global	90		45,5	

B H = 6,00 DL = 4 P = 0,199
H = 6,00 DL = 4 P = 0,199 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : CVF en fonction de Coupe

Test de Kruskal-Wallis sur CVF

			Rang	
Coupe	N	Médiane	moyen	Z
1	45	139,0	46,7	0,42
2	45	121, 0	44, 3	-0, 42
Global	90		45, 5	

B H = 0, 18 DL = 1 P = 0,672
H = 0,18 DL = 1 P = 0,672 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : Nbfeuil en fonction de Bloc

Test de Kruskal-Wallis sur Nbfeuil

			Rang	
Bloc	N	Médiane	moyen	Z
1	50	52,99	41,9	-1,46
2	40	78, 07	50, 0	1, 46
Global	90		45, 5	

B H = 2,12 DL = 1 P = 0,145
H = 2,13 DL = 1 P = 0,145 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : Nbfeuil en fonction de Treat

Test de Kruskal-Wallis sur Nbfeuil

			Rang	
Treat	N	Médiane	moyen	Z
3_KG_Comp	18	61,26	37,3	-1,50
6_KG_Comp	18	55,84	42,4	-0,56
9_KG_Comp	18	100,56	53,7	1,49
NPK_UNRE_C	18	85,82	53,3	1,42
Témoin	18	40,33	40,8	-0,85
Global	90		45,5	

B H = 6,00 DL = 4 P = 0,199
H = 6,00 DL = 4 P = 0,199 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : Nbfeuil en fonction de Coupe

Test de Kruskal-Wallis sur Nbfeuil

			Rang	
Coupe	N	Médiane	moyen	Z
1	45	71,86	46,7	0,42
2	45	62,56	44,3	-0,42
Global	90		45,5	

B H = 0,18 DL = 1 P = 0,672
H = 0,18 DL = 1 P = 0,672 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : CT en fonction de Bloc

Test de Kruskal-Wallis sur CT

			Rang	
Bloc	N	Médiane	moyen	Z
1	50	5,617	41,9	-1,46
2	40	8,275	50,0	1,46
Global	90		45,5	

B H = 2,12 DL = 1 P = 0,145
H = 2,13 DL = 1 P = 0,145 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : CT en fonction de Treat

Test de Kruskal-Wallis sur CT

			Rang	
Treat	N	Médiane	moyen	Z
3_KG_Comp	18	6,494	37,3	-1,50
6_KG_Comp	18	5,918	42,4	-0,56
9_KG_Comp	18	10,659	53,7	1,49
NPK_UNREE_C	18	9,097	53,3	1,42
Témoin	18	4,274	40,8	-0,85
Global	90		45,5	

B H = 6,00 DL = 4 P = 0,199
H = 6,00 DL = 4 P = 0,199 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Test de Kruskal-Wallis : CT en fonction de Coupe

Test de Kruskal-Wallis sur CT

Coupe	N	Médiane	Rang moyen	Z
1	45	7,617	46,7	0,42
2	45	6,631	44,3	-0,42
Global	90		45,5	

B H = 0,18 DL = 1 P = 0,672
H = 0,18 DL = 1 P = 0,672 (ajusté pour les nombres de même grandeur)

Comparaison deux à deux de Turkey : traitement en matière sèche

Moyenne	moyenne
3kg	15,78±0,1a
6kg	14,39±0,13a
9kg	13,24±0,45b
9kg+NPK+Urée	15,74±0,35a
NPK	14,55±0,23a

ANNEXE 11 : Questionnaire d'enquête

Ici il s'agit d'identifier toutes les pratiques de compostage de matières organiques pour faire une analyse diagnostique du fonctionnement des structures de valorisation par compostage

***Questionnaire adressé aux structures de valorisation par compostage**

Date de l'enquête :

Nom de la structure: Nom et prénom de l'enquêté :

Age :

Sexe : M ☐ F ☐

Commune :

Arrondissement :

Village ou quartier de ville :

Date de création :

Séjour/durée :

1-Décrivez- nous la procédure de fabrication du compost?

2-comment obtenez-vous la matière première ?

3-Vos besoins en matière première sont satisfaits ?

4- Connaissez-vous d'autres structures de valorisation par compostage à Cotonou?

5- Quels sont les différents domaines d'utilisation du compost ?

6- Le compost produit est-il rentable ?

7- A combien estimez-vous le rendement de votre activité par cycle ?

8- Quel nombre d'ouvriers utilisez-vous dans l'exercice de votre activité ?

9- Quels sont les impacts de votre activité sur l'environnement ?

10-Quels entretiens apportez-vous à vos ouvriers qui exercent en plein temps cette activité ?

11-Quelles sont les difficultés que vous rencontrez dans l'exercice de votre métier?

12-Que pensez- vous que l'on peut faire pour renforcer vos activités ?

13- Quels sont les améliorations que vous préconisez et qui sont susceptibles de renforcer l'efficacité de votre production ?

ANNEXE 12 : Questionnaire d'enquête

Ici il s'agit d'identifier les acteurs pour savoir le coût du système de valorisation

***Questionnaire adressé aux structures (Mairie et DCAM BETHESDA)**

Date de l'enquête :

Nom de la structure: Nom et prénom de l'enquêté :

Age :

Sexe : M ☐ F ☐

Commune :

Arrondissement :

Village ou quartier de ville :

Date de création :

Séjour/durée :

1-Combien de marchés y- a-t- il dans la ville de Cotonou ?

2- Quelle est la quantité de déchets produits par ces marchés ?

3-Quels sont les acteurs du système de valorisation ?

4- Quel est le coût du système de valorisation ?

5-Quelles sont les dotations budgétaires des dix dernières années ?

6-Quels sont les montants des budgets de la ville les dix dernières années ?

7-Quelle est votre opinion de cette mode de valorisation par compostage des déchets

Biodégradables à Cotonou ?

ANNEXE 13 : Questionnaire d'enquête

Ici il s'agit d'identifier les acteurs pour savoir le coût du système de valorisation

***Questionnaire adressé aux personnes ressources (cadres de MEHU et de MDGLAAD)**

Date de l'enquête :

Nom de la structure: Nom et prénom de l'enquêté :

Age :

Sexe : M ☐ F ☐

Commune :

Arrondissement :

Village ou quartier de ville :

Date de création :

Séjour/durée :

1-Selon vous quelles sont les principales sources de production des déchets biodégradables

à Cotonou ?

2- Avez- vous une idée de la quantité des déchets putrescibles produite à Cotonou ?

Si non comment selon vous pourrait-on faire cette estimation ?

3- Selon vous quels sont les impacts de la prolifération des déchets putrescibles à Cotonou ?

4- Comment pourrait-on mieux les gérer?

5-Est-ce que selon vous le compostage est le meilleur mode de gestion des déchets

putrescibles ou biodégradables ?

Pourquoi ?

6-Quel mécanisme pourrait-on mettre en place pour le financement durable du compostage

des déchets putrescibles ou biodégradables à Cotonou ?

7-Connaissez-vous des structures de compostage des déchets putrescibles biodégradables à

Cotonou ?

8-Selon vous existe –il des textes de loi qui régissent la valorisation des déchets au Bénin ?

Si oui, lesquels ?

9-Quels sont vos propositions pour une meilleure organisation de la valorisation des déchets putrescibles ou biodégradables à Cotonou ?

ANNEXE 14 : GUIDE D'ENTRETIEN AVEC LES DIFFERENTES PERSONNES (MENAGES ET ASSOCIATIONS DU QUARTIER)

Date de l'enquête :……

Nom et prénom de l'enquêté :……

Niveau d'instruction :……..

Résidence :……

Séjour :…….....

Age :…….....

Sexe : M ☐ F ☐

Quartier :……

Chef du ménage

Nombre de ménage personnes à charges vivant dans les chambres de l'enquêté

1 - Avez-vous une poubelle pour vos ordures ?

Oui ☐ Non ☐

Si oui en quelle matière ?

En plastique ☐ en métal ☐ en carton ☐ en panier ☐ autre ☐

2 - Quel est le volume de la poubelle ?

3 - Quelle quantité de déchets ménagers produisez-vous par jour et par semaine ?

Où jetez vous vos ordures ménagères ?

- simple ramassage et dépôt sur un tas d'ordures ☐
- balayage jusqu'à un tas d'ordures situé dans la parcelle ☐

4 - chaque ménage dans la parcelle dispose-t-il de sa propre poubelle oui ☐ Non ☐

5 - Vos ordures sont –elles enlevés par la voirie ? Oui ☐ non ☐

6 - Si oui quelle en est la fréquence ?

Si non, êtes-vous abonnés à une ONG de pré collecte !des ordures ?

Oui ☐ Non ☐

Si non, pourquoi ?.....

Si oui donnez le Nom de l'ONG.

Quelle en est la fréquence ?

7- Combien payez-vous par mois la collecte des ordures,

8 Payez-vous régulièrement les frais d'abonnement ?

9 - comment payez-vous les frais d'abonnement ?

- par cotisation ☐

Par le chef du ménage ☐

10 - Existe-il un site de transfert dans le quartier ?

Oui ☐ Non ☐

11 - Votre niveau de vie permet-il de générer des ordures riches en matière organique ?

Oui ☐ Non ☐

Si oui alors

12 – que représentent pour vous les déchets organiques ?

13- Comment les gérez-vous ?

.....
.....
.....

14- Pensez-vous qu'il est possible de gérer autrement ces déchets ?

Si oui que proposez-vous ?

.....
.....
.....
.....

15- Selon vous quelles sont les conséquences de la prolifération de ces déchets sur l'environnement ?.....
.....
……
……
……..

16- est-ce que vous faites vous –mêmes une récupération des déchets organiques ?

Si oui à quelles fins ?

.....
.....
.....
.....

17- Que pensez-vous du tri à la source des déchets organiques ?

……
……
……
……
……

18- Connaissez-vous une structure de valorisation des déchets organiques en compostage ? Si oui donnez-nous le nom et adresse du site ; décrivez-nous le procédé et donnez-nous vos connaissances ?.....
.....
.....
.....
……..

ANNEXE 15 : GUIDE D'ENTRETIEN AVEC LES RECUPERATEURS DES DECHETS DES MARCHES ET QUARTIERS DE VILLE

Ici il s'agit d'évaluer les modes de récupération des ordures ménagères

Date de l'enquête :

Nom et prénom de l'enquêté :

Age :

Sexe : M ☐ F ☐

Commune :

Arrondissement :

Village ou quartier de ville :

Date de création :

Séjour/durée :

1- Quelle mode adoptez-vous dans le cadre d'évacuation des ordures ménagères ?

dans des bacs ☐ directement dans des sites de transfert ☐ dans des dépôts sauvages ☐ incinération ☐ enfouissement ☐ autres ☐

2-Quelles sont les structures chargées d'évacuer les déchets dans le quartier ou marchés ?

Structures privées ☐ structures publiques ☐ association ☐

Donnez les noms des structures ou associations que vous connaissez ?

……
……
……
……
……
……..

3-Récupérez-vous des déchets organiques ou putrescibles? Si oui dites nous le prix d'achat et de vente ?

…….....
.....
.....
.....
.....

4-Quelles sont vos sources de récupérations ?

……
……
……
……
……
……

5-Quels sont vos points de vente des déchets récupérés ?

.....
.....
.....
.....
.....

6-Quelles sont les difficultés que vous rencontrez dans l'exercice de vos activités ?

……
……
……
……
……..

7-Que pensez- vous que l'on peut faire pour renforcer vos activités ?

ANNEXE 16 : GUIDE D'ENTRETIEN AVEC LES AGRICULTEURS COMPOSTEURS URBAINS

Ici il s'agit de visiter le site de maraîchage de Houéyiho pour faire des constats visuels et pour engager des entretiens avec les agriculteurs composteurs urbains.

Date de l'enquête :

Nom et prénom de l'enquêté :

Age :

Sexe : M ☐ F ☐

Commune :

Arrondissement :

Village ou quartier de ville :

Date de création :

Séjour/durée :

1- Où récupérez-vous les ordures ou matières organiques ?
2- quels moyens utilisez-vous pour collecter les ordures ?

demi-fûts ☐ pousse-pousse ☐ charrettes à traction animale ☐ camions bennes ☐ tracteurs ☐ autres autres ☐

3- Selon vous quelle est la fréquence de la pré-collecte ?.....
4- Quels sont les coûts de la pré-collecte ?.....
5- Quelles sont les sources de la matière organique ?

Ordures ménagères ☐ déjection animale ☐ déchets agricoles ☐ autres ☐

7- où faites-vous le tri et le pesage ?

A la source ☐ au site de transfert ☐ décharge sauvage autres ☐

8- quels sont les matériels utilisez-vous pour faire le tri ?

……
……
……
……
……
……
……

9- Citez les fractions organiques que vous obtenez après le triage des ordures papier ☐ et carton ☐ tesson de bouteille ☐ déjection animale ☐ cendre ☐

- donner la quantité de chaque constituant ou fraction organique

10 quel est le but du tri ?

Alimentation du bétail ☐ compostage ☐ autres ☐

11- par rapport au compostage, quelle est la quantité de matière organique brute utilisée ?

- Selon vous est-il nécessaire de faire le broyage ?

Oui ☐ Non ☐

- Si oui par quel moyen

12 – Donnez les dimensions de type de compostière suivant :

Types de compostière ☐ et ☐	dimensions	
Tas	_____	_____
Andain	_____	_____
Silos	_____	_____
Fosses	_____	_____
Enclos	_____	_____

Autres _____ _____

13 – Quels sont les moyens d'arrosage que vous utilisez ?

Arrosoir ☐ tuyau sous pression ☐ autres

14 – quelle est la quantité d'eau que vous utilisez par jour ?.....

15 – Quelles est la source d'eau que vous utilisez ?

Ponts ☐ barrage ☐ eau de réseau ☐ eau d'égout ☐ eaux usées ménagères ☐

16 – Comment faites-vous l'aération ?

Statique ☐ retournement ☐

- S'il s'agirait du retournement, pour combien de fois faites-le vous ?

une fois par semaine ☐ Deux fois par mois ☐ fois fois par mois une fois ☐ par trimestre ☐ aucune fois par trimestre ☐ aucune fois ☐

17- Quelle est la durée d'un cycle de compostage ?

Un mois ☐ deux mois ☐ trois mois ☐ plus ☐

18- la quantité du compost produite permet-elle d'évaluer le rendement ?

Oui ☐ non ☐

- si oui donnez-nous le rendement agronomique du compost

……
……
……
……
……
……

19- Le compost produit est-il testé avec les plantes ?

Oui ☐ Non ☐

-Si oui donnez-nous le rendement agronomique du compost

20- Comment réalisez-vous le conditionnement du compost produit

En sac ☐ brouette ☐ charrette ☐ autres

21- Selon vous qui sont les utilisateurs ou preneurs ?

Maraîchers ☐ horticulteurs ☐ agriculteurs urbains ☐ privés ☐ autres ☐

22 – Quel est le prix de vente du compost ?

Le sac de (…….) à ……..

Charrette de (.....m3) à ……..

Brouette de (……m3) à ……..

Autres (……m3) à…….

23-Quels fertilisants utilisez-vous dans vos activités professionnelles ?

-Fertilisants synthétiques seuls……fertilisants synthétiques+fientes…….

-compost seul……. Fertilisants synthétiques+compost…….

24-la rentabilité des plantes produites avec le compost est-elle meilleure ? oui…..non….

Oui…….non…….

25-Quelle comparaison faites-vous entre l'utilisation agronomique du compost par rapport à celle de l'engrais chimique ?.....
…….
..……
……
……
……

ANNEXE 17 : GUIDE D'ENTRETIEN AVEC LES MARAICHERS

Ici il s'agit d'identifier l'utilisation du compost sur les sites de maraîchage sillonnés et apprécier la conception des utilisateurs

Date de l'enquête :

Nom et prénom de l'enquêté :

Age :

Sexe : M ☐ F ☐

Commune :

Arrondissement :

Village ou quartier de ville :

Date de création :

Séjour/durée :

1-Quels sont les différents types de légumes que vous cultivez ? Citez-les

……
……
……
……
……
……...

2-A quel moment de l'année pratiquez-vous votre activité ?

Toute l'année ☐ Suivant les saisons pluvieuses ☐ Suivant les saisons sèches avec de l'eau d'irrigation ☐

3-Citez les différents intrants agricoles de synthèse que vous utilisez dans l'exercice de vos activités ?

……
……

……
.....

4-Connaissez-vous la valorisation agricole des déchets biodégradables en compost ?

Oui ☐ Non ☐

5-Utilisez-vous le compost ?

Si oui dites les avantages

……
.....
.....
.....
.....
.....

Si non dites les inconvénients

……
……
……
……
……
……
……

6-Quelle comparaison faites-vous entre l'utilisation agronomique du compost par rapportà celle de l'engrais chimique ? De fiente de volaille ? Des boues de vache ? Des boues de vidange ? De NPK et d'urée ?

……
……
……
……
……
……
……

7-Quelles sont les conséquences de l'exercice de ces fertilisants chimiques sur la qualité du sol et sur les plantes cultivées à Cotonou ?

……
……
……
……
……
……
……

8-Quels sont les effets néfastes de l'utilisation des fientes de volaille les plantes cultivés ?

……
……
……
……
……
……
……

9-Que pensez- vous que l'on peut faire pour renforcer vos activités professionnelles ?

TABLES DES MATIERES

SOMMAIRE 2
DEDICACE 3
AVANT-PROPOS 4
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES....7
RESUME 9
ABSTRACT....10
INTRODUCTION GENERALE....11

CHAPITRE I : CADRE DE L'ETUDE....15

I. CADRE D'ETUDE 16
1.1 Cadre théorique de l'étude....16
1.1.1 Problématique....16
1.1.2 Hypothèses et objectifs de la recherche 18
1.1.2.1 Hypothèses de la recherche....18
1.1.2.2 Objectifs de l'étude....19
1.1.3 Définition de concepts 19
1.1.4 Revue de Littérature 25
1.1.4.1 Forces et faiblesses du système de gestion des déchets solides à 26
Cotonou 26
1.1.4.2 Les différents modes de traitement des déchets urbains 29
1.1.4.3 Expériences de valorisation des déchets urbains 31
1.1.4.4 Importance de la valorisation pour une gestion durable et efficace
des déchets solides urbains....36
1.1.4.5 Les grandes zones de la production maraîchère au Bénin 37
1.1.4.6 Importance des composts dans le maraîchage....38
1.1.4.6 Importance socio-économique du maraîchage à Cotonou....38
1.1.4.7 Généralités sur la grande morelle 39
1.1.4.8 Conséquences des engrais chimiques sur l'agriculture 41
1.2 Cadre juridique et institutionnel de la gestion des déchets....44
1.2.1 Cadre juridique 44
1.2.1.1 La constitution du 11 décembre 1990 44
1.2.1.2 Textes législatifs....45
1.2.1.3 Textes règlementaires....45

1.2.2 Cadre institutionnel 46
1.3 Cadre géographique de l'étude 48
1.3.1 Données physiques, humaines et économiques de la ville de Cotonou 48
1.3.2 Présentation, description et caractéristique du Périmètre maraîcher de Houéyiho 53

CHAPITRE II : METHODOLOGIE 57

2. METHODOLOGIE 58
2.1 Recherche documentaire 58
2.2 Population d'étude 58
2.3 Collecte des données 59
2.3.1 Taille des échantillons et techniques d'échantillonnage 59
2.3.1.1 Les ménages 59
2.3.1.2 Les autres groupes ciblés 60
2.3.2 Choix des techniques et outils de collecte de données 61
2.4 Caractérisation des déchets 61
2.5 Valorisation par compostage 62
2.6 Analyses physico-chimiques au laboratoire. 64
2.7 Essais agronomiques 67
2.7.1 Caractéristiques du sol du site d'expérimentation 67
2.7.2 Dispositif expérimental 67
2.8 Traitements, et analyses des données 71

CHAPITRE III : RESULTATS DES TRAVAUX 73

3. RESULTATS DES TRAVAUX 74
3.1 Caractérisation des ordures ménagères de Cotonou 74
3.1.1 Dans les ménages 74
3.1.2 Caractéristiques des déchets produits dans les marchés : Dantokpa et Saint Michel 76
3.1.3 Résultats d'enquête des maraîchers et producteurs de compost de Houéyiho 79
3.2 Valorisation par compostage des déchets 81
3.2.1 Pré collecte et collecte des déchets dans les deux marchés Dantokpa et Saint Michel 81
3.2.2 Tri 84

3.2.3 Confection des andains 86
3.2.4 Suivi de l'évolution de la température dans les andains 88
3.3 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU COMPOST PRODUIT 91
3.4 RESULTATS AGRONOMIQUES DU COMPOST FABRIQUE 95
3.4.1 Analyse poids feuille.....96
CHAPITRE IV : DISCUSSION ET SUGGESTIONS 101
4 DISCUSSION ET SUGGESTIONS.....102
4.1 Discussion.....102
4.1.1 Comparaison des résultats 102
4.1.2 Contrainte liée à la collecte et au compostage des déchets solides ménagers.....106
4.1.3 Aspects environnementaux et difficultés liées à l'utilisation du compost et d'engrais chimiques.....107
4.1.4 Aspects économiques et financiers 108
4.2 Suggestions 109
CONCLUSION GENERALE 113
BIBLIOGRAPHIE.....115
ANNEXES.....128