
LISTE DES SIGLES

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

ANG : Associations non gouvernementales

AFNOR : Association française de normalisation

AUP : Agriculture urbaine et périurbaine

CUY : Communauté urbaine de Yaoundé

DS: Déchets solides

GES: Gaz à effet de serre

GIC: Groupement d'initiative commune

HYSACAM: Hygiène et salubrité du Cameroun

IRAD: Institut pour la recherche agricole et le développement

MB : Matière brute

MOT: Matière organique totale

MS : Matière sèche

ONG: Organisation non gouvernementale

PED: Pays en développement

ETM: Eléments de traces métalliques

PME: Petites et moyenne entreprises

TEOM : Taxe d'enlèvement des ordures ménagères

GLOSSAIRE

Agriculture urbaine et périurbaine : Activité articulant d'une part la culture de plantes et l'élevage d'animaux destinés à la consommation alimentaire et à d'autres fins, dans les villes (agriculture intra-urbaine) et en périphérie des villes (agriculture périurbaine) et d'autre part le traitement et la commercialisation de ces produits. Les interactions entre la ville et l'agriculture, en termes de flux de ressources et de produits, sont au cœur de l'identité de l'agriculture urbaine et périurbaine.

Amendements organiques : Matières fertilisantes composées principalement de combinaison carbonées d'origine végétal, ou animale et végétale en mélange, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques (*définition de la norme U 44-051, avril 2006*). Contrairement aux engrais organiques qui ont un pouvoir fertilisant élevé, les amendements organiques ont plutôt un pouvoir humifiant élevé avec des teneurs en N, P₂O₅ et K₂O inférieures à 3% sur matière brute.

Associations Non Gouvernementales : Ensemble constitué par les petites associations locales et les organisations non gouvernementales (ONG). Ce sont des organisations d'intérêt public ne relevant ni de l'Etat ni d'une institution internationale. Au Cameroun elles sont régies par l'article 2 de la loi n° 90/053 du 19 décembre 1990 sur les « libertés d'associations » qui définit l'association comme « *la convention par laquelle des personnes mettent en commun leurs connaissances ou leurs activités dans un but autre que de partager les bénéfices* ».

Bas-fonds : Zones basses du paysage généralement marécageuses en saison de pluies et abritant les catégories pauvres de la population qui y vivent surtout de l'agriculture pratiquée près de leurs maisons d'habitation.

Biogaz : Gaz résultant du processus de dégradation biologique des matières organiques en l'absence d'oxygène. Il est produit dans les installations de stockage des déchets ou encore dans les méthaniseurs. Afin d'éviter ses effets nocifs (contribution à l'effet de serre, dégagement de nuisances olfactives), il est souvent brûlé au moyen d'une torchère. Il peut également être valorisé sous forme d'énergie de substitution à l'énergie fossile.

Centre de précollecte : Défini comme un centre de regroupement des déchets solides, c'est un maillon important de la filière de valorisation des déchets. En Afrique, les déchets précollectés dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des déchets y sont déversés quotidiennement. Ces enceintes clôturées de 1000 m² en moyenne facilitent les opérations de tri, de récupération et de compostage.

Contrat : Selon l'article 1101 du code civil français, le contrat est une convention par laquelle une ou plusieurs personnes s'obligent, envers une ou plusieurs autres, à donner, à faire ou à ne pas faire quelque chose. Le contrat est ainsi source d'obligations entre les personnes, sujets de droit

Déchets solides : Ensemble de résidus solides d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation ; matériau ou produit destinés à l'abandon et qui sont sujettes à des pollutions. Dans cette thèse, nous considérons comme déchets solides, l'ensemble de résidus, produits ou matériaux provenant des restes alimentaires, de matière végétale et de fruits à l'échelle de la ville.

Déchets organiques : Ensemble des résidus ou sous-produits organiques biodégradables issus de l'activité agricole, de l'industrie agroalimentaire ou des collectivités urbaines et qui posent des problèmes de gestion à leurs détenteurs. Une fois traités, ces déchets organiques sont utilisés en agriculture. En fonction de leur richesse en éléments organiques et minéraux, ils peuvent être considérés comme des amendements organiques ou des engrais organiques.

Développement durable : Selon la définition proposée en 1987 par la *Commission mondiale sur l'environnement et le développement* dans le « *Rapport Brundtland* », le développement durable est un développement qui satisfait les besoins de la génération présente en préservant pour les générations futures la possibilité de satisfaire les leurs. Le développement durable s'organise autour du triptyque économique, environnement et social.

Engrais organiques : Matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments directement utiles à la nutrition. Selon la législation française, tout produit dont une des teneurs en N, P₂O₅ ou K₂O dépasse 3% sur matière brute est considéré comme engrais.

Environnement : L'environnement est tout ce qui nous entoure. C'est l'ensemble des éléments naturels et artificiels au sein duquel se déroule la vie humaine. Avec les enjeux écologiques actuels, le terme « environnement » tend actuellement à prendre une dimension de plus en plus mondiale.

Fertilisant : Substance utilisée en agriculture, en horticulture et lors des activités de jardinage pour fertiliser un milieu de culture, comme le sol. On en distingue deux catégories : les engrais et les amendements.

Intensification écologique : Facteurs socio-économiques, environnementaux et agronomiques qui peuvent favoriser l'accroissement de la production agricole par unité de superficie grâce à l'utilisation des ressources naturelles et l'écologie. Le CIRAD considère l'intensification écologique comme une alternative à une exploitation fondée sur l'apport d'intrants et la destruction des espaces naturels.

Lixiviats : Solution liquide chargé bactériologiquement et chimiquement par la dégradation biologique des déchets contenus dans une décharge sous l'action conjuguée des eaux (de pluies) et de la fermentation naturelle. Non traités, ces « jus de poubelles » peuvent provoquer la pollution de la nappe phréatique.

Matière organique : Matière carbonée d'origine animale ou végétale. En agriculture, on peut distinguer différents types de matières organiques utiles dont celle issue du règne végétale comme les résidus de récoltes, les fumiers et les composts. Elle peut ainsi être facilement recyclée en compost ou en biogaz.

Matière organique du sol : Mélange de constituants majoritairement végétaux en voie de décomposition (humus), d'origine naturelle ou apportés par l'homme, et d'organismes vivants. Composante importante de la fertilité, elle contribue à préserver les sols de l'érosion en favorisant le développement des végétaux et en stabilisant les matériaux des couches de surface. Elle est une source d'énergie et de nutriments pour les organismes vivant dans le sol. L'activité biologique et la stabilité des écosystèmes sont donc étroitement liées à la présence de matière organique. La matière organique des sols est, avec la biomasse végétale, l'un des principaux compartiments de la biosphère stockant le carbone.

Matière sèche (pourcentage de matière sèche) : Produit déshydraté. Le pourcentage de matière sèche est le ratio entre le poids de la matière sèche et la masse de la matière non-sèche (hydratée). Ainsi le pourcentage de matière sèche (%MS) dans un végétal est souvent très bas (env. 5-10%), mais dans certains matériaux, il frôle 100% (sables, etc.).

Ménage agricole : Ensembles de personnes physiques (famille...) vivant sous le toit d'un agriculteur et dépendant économiquement les uns des autres.

Périurbain : Espace situé autour des villes, soumis à leur influence directe et susceptible d'être significativement touché par les processus enclenchés par cette proximité. En France, cette zone est constituée d'aggrégats de cantons contigus choisis autour de villes d'une certaine taille, de manière à cerner au mieux le développement périphérique de l'habitat. Le rayon choisi varie de 15 à 30 kilomètres en fonction de l'importance de l'agglomération centrale. Au Cameroun, la zone périurbaine varie se situe dans un rayon de 15 à 20 kilomètres du centre d'une ville ; il est le lieu par excellence de la production horticole.

Pollution : Introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres, qui entraînent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier (*Directive Européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000*). La pollution, ou contamination, atteint un niveau seuil où elle produit des dommages, des déséquilibres ou des effets nocifs et interfère avec le bien-être des organismes vivants.

Précollecte : Ensemble des opérations d'évacuation des déchets depuis leur lieu de production jusqu'au lieu de prise en charge par le service de collecte. En Afrique, elle consiste à collecter les déchets dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage à l'aide d'outils rudimentaires et à les acheminer dans des centres de précollecte.

Produits Résiduaire Organiques : Terme technique utilisé pour désigner les déchets organiques.

Récupération : Opération qui consiste à séparer ou à trier les déchets en vue d'une valorisation des biens matières les constituant.

Recyclage : Opération visant à introduire des déchets dans un cycle de production en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge. Il existe le recyclage matière et le recyclage organique (également appelé compostage).

Redevance incitative : Selon l'ADEME, la redevance incitative est un mode de financement du service public d'élimination des déchets visant à favoriser la réduction des déchets, la diminution des quantités de déchets confiées aux collectivités et l'utilisation optimale des filières de valorisation des déchets ménagers (augmentation des quantités de déchets dirigées vers le recyclage et le compostage). Elle vise également à maîtriser la hausse des coûts du service public déchets et en améliorer la transparence.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Taux de collecte des déchets solides dans quelques grandes villes africaines	5
Tableau 2 : Production des déchets solides dans quelques villes du Cameroun	8
Tableau 3 : Composition des déchets en % pourcentage de matière sèche dans quelques villes du Cameroun	9
Tableau 4 : Comparaison internationale de la composition des déchets solides au Nord	23
Tableau 5 : Comparaison internationale de la composition des déchets solides au Sud	24
Tableau 6 : Comparaison internationale de la production des déchets au Nord	29
Tableau 7 : Comparaison internationale de la production des déchets au Sud	30
Tableau 8 : Comparaison des politiques nationales de traitement des déchets au Nord	31
Tableau 9 : Les filières de traitement des déchets	34
Tableau 10 : Composition moyenne du biogaz par type de substrat	39
Tableau 11 : Récapitulatif de la distribution des rôles entre acteurs en présence à Yaoundé	80
Tableau 12 : Distance moyenne au bac à ordures le plus proche et nombres total et moyen de seaux de 10 litres de déchets solides produits par semaine selon l'arrondissement	95
Tableau 13 : Répartition des ménages par mode d'évacuation des déchets solides selon l'arrondissement	96
Tableau 14 : Répartition des ménages par mode d'évacuation des déchets solides selon le type de quartier	97

Tableau 15 : Proportion de ménages dont le chef connaît le processus de traitement des déchets solides -----	98
Tableau 16 : Quantité d'eaux sales produites par semaine par type de quartier -----	98
Tableau 17 : Répartition des ménages selon le lieu d'évacuation des eaux sales par type de quartier -----	98
Tableau 18 : Mode d'évacuation des déchets solides dans les principaux quartiers de Bafoussam -----	99
Tableau 19 : Production spécifique des déchets par type d'habitat -----	100
Tableau 20 : Estimation de la production mensuelle des déchets solides (A) (en kg/hbt) -----	101
Tableau 21 : Estimation annuelle des quantités produites de déchets solides à Yaoundé (en tonnes) -----	101
Tableau 22: Taux de collecte mensuels des déchets solides à Yaoundé entre 2002 et 2004 -----	104
Tableau 23 : Estimation du taux de croissance moyen des quantités collectées de déchets entre 1990 et 2008 à Yaoundé -----	106
Tableau 24 : Estimation du taux de croissance moyen des quantités produites de déchets entre 1990 et 2008 à Yaoundé -----	106
Tableau 25 : Récapitulatif des indicateurs de performance retenus -----	117
Tableau 26 : Indice composite de performance d'un service public de gestion des déchets solides -----	120
Tableau 27 : Indice composite de performance du service public des déchets solides à Yaoundé -----	130
Tableau 28 : Distance domicile – routes accessible aux camions de ramassage -----	135

Tableau 29 : Décomposition du coût de fonctionnement de l'activité de précollecte -----	137
Tableau 30 : coût de production du compost à Yaoundé -----	140
Tableau 31 : Budget système 1 (absence de précollecte, de compostage et de traitement des lixiviats et biogaz) -----	144
Tableau 32 : Budget système 2 (absence de précollecte et du compostage ; traitement des lixiviats et biogaz) -----	145
Tableau 33 : Budget système 3 (mise en place de la précollecte et du traitement des lixiviats et biogaz ; absence de compostage) -----	146
Tableau 34 : Budget système 4 (précollecte, compostage et traitement des lixiviats et biogaz) -----	148
Tableau 35 : Récapitulatif des budgets liés aux différents systèmes de gestion des déchets -----	149
Tableau 36 : les catégories de déchets organiques -----	167
Tableau 37 : Nombre d'échantillon de déchets organiques prélevé par site à Yaoundé ---	210
Tableau 38 : Nombre d'échantillon de déchets organiques prélevé par site à Bafoussam	210
Tableau 39 : Composition moyenne des déchets organiques produits au Cameroun -----	216
Tableau 40 : Comparaison internationale de la proportion d'ETM contenue dans les composts urbains -----	217
Tableau 41 : Prix de substitution des unités fertilisantes N (azote), P ₂ O ₅ (phosphore) et K ₂ O (potassium) au Cameroun -----	225
Tableau 42 : Valeur marchande du compost vendu au Cameroun -----	227
Tableau 43 : Valeur marchande du fumier de poulet de chair vendu au Cameroun -----	229
Tableau 44 : Valeur marchande des fientes de poules pondeuses vendues au Cameroun	230

Tableau 45 : Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les engrais minéraux et les amendements organiques à Yaoundé-----	231
Tableau 46 : Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les engrais minéraux et les amendements organiques à Bafoussam -----	232
Tableau 47 : Récapitulatif des principales caractéristiques des zones enquêtées-----	239
Tableau 48 : Statistiques descriptives des variables explicatives utilisées-----	249
Tableau 49 : Statistiques de la variable dépendante Y_1 du modèle Logit binomial -----	250
Tableau 50 : Statistiques de la variable dépendante Y_2 du modèle Logit ordonné-----	251
Tableau 51 : Résultats de l'estimation du modèle Logit binomial portant sur l'utilisation du compost au Cameroun -----	252
Tableau 52 : Résultats de l'estimation du modèle Logit ordonnée portant sur les niveaux d'utilisation des fertilisants au Cameroun -----	255
Tableau 53 : Rapports des cotes des variables explicatives selon les niveaux d'utilisation des fertilisants -----	257

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma simplifié du problème de recherche	i
Figure 2 : Evolution de la population mondiale entre 1950 et 2050 (en milliards)	2
Figure 3 : Evolution de la population urbaine et rurale dans les pays en développement entre 1960 et 2030 (en milliards)	3
Figure 4 : Méthodes de traitement des déchets pratiquées dans les cinq plus grands pays au monde	32
Figure 5 : Schéma comparatif des systèmes de gestion des déchets solides au Nord et au Sud	42
Figure 6 : L'optimum de pollution	66
Figure 7 : Evolution du taux de collecte des déchets solides entre 1990 et 2008 à Yaoundé	103
Figure 8 : Evolution du taux de collecte des déchets en 2002	104
Figure 9 : Evolution du taux de collecte des déchets en 2003	104
Figure 10 : Evolution du taux de collecte des déchets en 2004	105
Figure 11 : Le système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé	133
Figure 12 : Principe de couverture de la collecte et complémentarité avec la précollecte	134
Figure 13 : Plan de masse d'un centre de précollecte	140
Figure 14 : Budget spécifique à chaque maillon d'un système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé	143

Figure 15 : Le lien entre les rejets urbains et l'agriculture urbaine et périurbaine dans les villes du Sud	175
Figure 16 : Le processus de compostage	176
Figure 17 : Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage	181
Figure 18 : Choix optimal d'un agriculteur et courbe de demande du bien x_1	194
Figure 19 : Cycle des déchets solides chez les agriculteurs – éleveurs dans les bas-fonds du Cameroun	208
Figure 20 : Cycle des déchets solides chez les agriculteurs – éleveurs dans les bas-fonds du Cameroun	208
Figure 21: Codifications et symboles utilisés dans les graphiques de la figure 22	213
Figure 22 : Les teneurs en cendres totales, azote total, phosphore, potassium et calcium des déchets organiques de Yaoundé et Bafoussam en pourcentage de matière sèche (MS)	215
Figure 23 : Part estimée de la matière organique (CBM)	220
Figure 24 : Le Cameroun et les deux zones que couvre cette étude (en vert)	234

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : LIMITES ORGANISATIONNELLES DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN.....	14
CHAPITRE I : FONDEMENTS THEORIQUES DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES	17
I.1. GENERALITES SUR LES DECHETS SOLIDES	17
I.2. LES FONDEMENTS THEORIQUES D'UN SERVICE PUBLIC DE GESTION DES DECHETS.....	53
CHAPITRE II : ANALYSE DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN ...	75
II.1. L'ORGANISATION DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN.....	75
II.2. MISE EN EVIDENCE DU SYSTEME DE GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES A YAOUNDE.....	106
DEUXIEME PARTIE : PERTINENCE DU COMPOSTAGE DANS UN SYSTEME ALTERNATIF DE GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN	155
CHAPITRE III : CONTOURS THEORIQUES DE L'UTILISATION DES DECHETS ORGANIQUES EN AGRICULTURE.....	158
III.1. LES CONCEPTS D'AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE ET DE DECHETS ORGANIQUES	158
III.2. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL DE L'UTILISATION DES DECHETS EN AGRICULTURE	189
CHAPITRE IV : UTILISATION DES DECHETS ORGANIQUES EN AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE AU CAMEROUN.....	202
IV.1. ANALYSE AGRONOMIQUE ET VALEUR ECONOMIQUE DES DECHETS ORGANIQUES PRODUITS AU CAMEROUN	202
IV.2. ANALYSE DES DETERMINANTS DE L'UTILISATION DES AMENDEMENTS ORGANIQUES AU CAMEROUN	232
CONCLUSION GENERALE.....	262

INTRODUCTION GENERALE

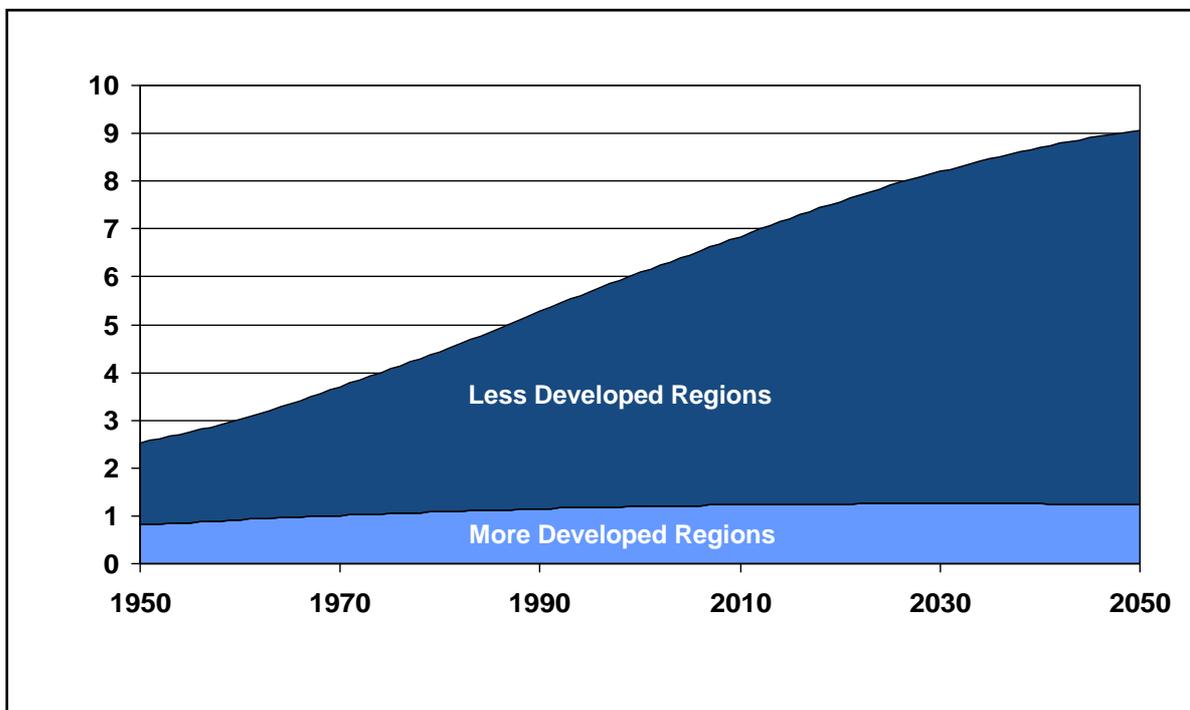
1. Contexte de l'étude

De tous temps et en tous lieux, la production des déchets est inhérente aux activités humaines, qu'elles soient domestiques, agricoles, industrielles ou commerciales. Mais, en Afrique, comme partout ailleurs, ce n'est qu'avec le fait urbain qu'elle devient véritablement une problématique publique (Chalot, 2004).

De nombreuses études s'accordent sur le fait que la production des déchets solides (DS) est positivement corrélée avec l'urbanisation et le développement économique (Agdag, 2008 ; Sharholy et al., 2007 ; Ahmed & Ali, 2006 ; Mosler et al., 2006 ; Bolaane & Ali, 2004 ; UNEP, 2004 ; Drechsel & Kunze, 2001).

Les projections sur l'augmentation de la population mondiale sont alarmantes, surtout dans les pays en développement (PED). Selon les Nations Unies, la population mondiale qui compte aujourd'hui un peu plus de 6,5 milliards d'individus comptera 2 milliards d'individus supplémentaires en 2030 (Figure 2).

Figure 2 : Evolution de la population mondiale entre 1950 et 2050 (en milliards)

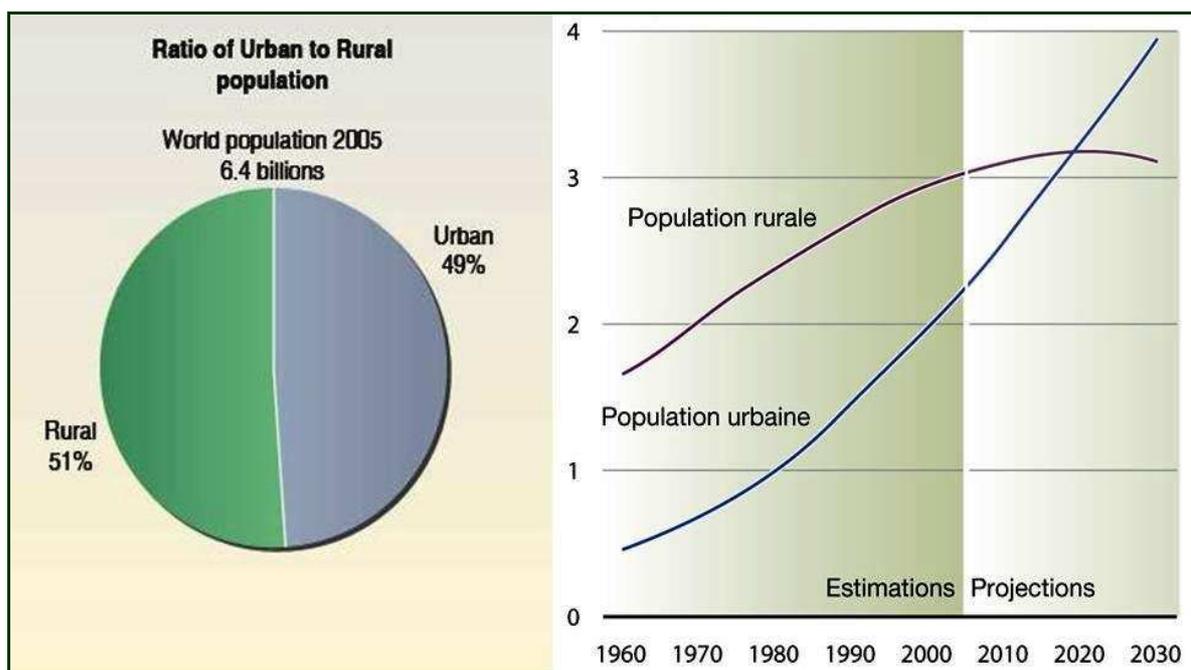


Source: United Nations, *World Population Prospects: The 2007 Revision*

Pour Smith et al., (2004), 95% de ces individus vivront dans les PED où plus de 10 000 personnes de plus naissent toutes les secondes ; cette croissance concerne et concernera surtout les zones urbaines. Selon Mougeot (2000), au XX^{ème} siècle la croissance urbaine avait atteint des niveaux sans précédent dans la plupart des régions du monde : en quatre décennies seulement, la population urbaine des pays industrialisés a doublé, passant de 448 millions d’habitants en 1950 à 875 millions en 1990 ; dans la même période, la population urbaine des PED a quant à elle quintuplé, passant de 280 millions d’habitants à 1,6 milliards.

N’Diénor (2006), souligne que dans 30 ans plus de la moitié de la population totale mondiale (55%) sera urbaine, alors qu’aujourd’hui ce taux est de 30%. Padilla (2004) quant à lui précise que dans les villes du Proche et Moyen-Orient, moins de 1 habitant sur 3 vivait en ville dans les années 1960, mais aujourd’hui l’urbanisation concerne un peu plus de 50% de la population et elle sera de l’ordre de 70% en moyenne en 2025. Selon les nations unies, de toutes les régions du monde, les PED connaissent le taux d’urbanisation le plus important ; et d’ici 2020, plus de la moitié de sa population vivra en ville (Figure 3).

Figure 3 : Evolution de la population urbaine et rurale dans les pays en développement entre 1960 et 2030 (en milliards)



Source: United Nations, *World Population Prospects: The 2007 Revision*

Certaines prévisions estiment qu'en 2020, la grande majorité des africains (2/3) vivront en ville (Drechsel et al., 1999). La population urbaine de l'Afrique subsaharienne dépasse aujourd'hui les 110 millions d'individus.

Si cette partie du continent africain connaît un taux de croissance de 3%, la production agricole n'a cependant progressé que de 2% au cours de ces 30 dernières années alors que sur 52 pays africains, 37 sont des pays presque purement agricoles. Selon Gunter (1996), pour satisfaire la demande toujours plus croissante en nourriture et éviter de nouvelles « émeutes de la faim¹ », la production vivrière devra alors augmenter de 4%.

Estimé à 956 millions entre 1969 et 1971, le nombre de sous-alimentés est resté stable autour de 777 millions entre 1997 et 1999 (FAO, 1996). En 2004, la division statistique de la FAO estimait à 33%, la proportion de la population Subsaharienne sous-alimentée. Afin de réduire de moitié le nombre de sous-alimentés dans le monde en 2015, objectif fixé par le Sommet Mondial de l'Alimentation à Rome en Italie, il faut que la production alimentaire mondiale continue à accroître (FAO, 1996). L'Afrique Centrale n'est pas en marge de cette mutation, car sa population qui est estimée aujourd'hui à un peu plus de 86 millions d'individus va tout simplement doubler d'ici 2030 et selon la division statistique de la FAO, 56% de ceux qui y vivent aujourd'hui sont sous-alimentés. Cette extension continuelle de l'espace occupé due à l'urbanisation met de plus en plus de

¹ Le concept de « émeutes de la faim » est réapparu entre fin 2006 et début 2008 à la suite des violentes manifestations contre la vie chère qui ont secoué plus de 35 pays du Sud comme le Mexique, le Cameroun, la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Niger, le Sénégal, l'Égypte, le Nigéria, la Somalie, le Soudan, le Mozambique, l'Argentine, le Vietnam, le Maroc, Haïti. Il faut souligner que les premières « émeutes de la faim » remontent aux manifestations de février 1917 à Saint-Petersbourg et Moscou et à l'explosion démographique des pays « sous-développés » des années 1970. Ces manifestations sont causées par la flambée des prix des produits agricoles tels que le riz, l'huile, le blé, l'arachide, le maïs. L'indice FAO des prix alimentaires a augmenté en moyenne de 8% en 2006, de 27% en 2007 et pour les trois premiers mois de 2008 de 53% par rapport aux trois premiers mois de 2007. Si ces hausses s'expliquent surtout par la concurrence que font les biocarburants aux produits alimentaires, d'autres raisons renvoient aux dysfonctionnements du système alimentaire mondial.

pression sur la gestion et la durabilité de l'environnement (Harris, 1996); à cette situation s'ajoute l'imbrication croissante des activités urbaines et agricoles.

Ainsi de nombreuses villes produisent des DS dont elles ne peuvent pas en assurer la gestion. Le tableau 1 présente un état des lieux dans quelques grandes villes africaines.

Tableau 1 : Taux de collecte des déchets solides dans quelques grandes villes africaines

Villes	Population	Taux de croissance annuel de la population	Budget consacré à la gestion des DS (10 ⁶ USD)	Taux de collecte des DS*
Abidjan (Cote d'Ivoire)	2 777 000	3,98%	2,6	30-40
Dakar (Sénégal)	1 708 000	3,93%	9	30-40
Dar-es-Salaam (Tanzanie)	2 500 000	4,30%	10	48
Lomé (Togo)	1 000 000	6,50%	8	42,1
Nairobi (Kenya)	2 312 000	4,14%	-	30-45
N'djamena (Tchad)	800 000	5,00%	5	15-20
Nouakchott (Mauritanie)	611 883	3,75%	8	20-30
Yaoundé (Cameroun)	1 720 000	6,80%	5	43

*Source : Sotamenou (2005) pour Yaoundé, Rotich et al., (2006) pour Nairobi, Ta (1998) pour Dakar et Abidjan, EAMAU (2003) pour Lomé, Kassim & Ali (2006) pour Dar es Salaam, Doublier (2003) pour N'djaména, Ould Tuorad & Ould Moulaye (2003) pour Nouakchott

Dans ces villes, la gestion des DS est en échec car confrontée à un manque de moyens financiers, un déficit d'organisation, une inadaptation de matériels de collecte et une absence de plan d'urbanisation (Ebot Manga et al., 2008 ; Rotich et al., 2006 ; Doublier, 2003 ; Ngnikam, 2003 ; Ould Tuorad & Ould Moulaye, 2003 ; EAMAU, 2003 ; Ta, 1998).

Les DS sont composés de l'ensemble des déchets de la collectivité dont la gestion incombe aux municipalités. Ils sont liés à l'activité domestique : ordures ménagères au sens strict, déchets verts, encombrants et déchets de jardin. Seuls les déchets organiques sont susceptibles d'être utiles à l'agriculture après un traitement adéquat des DS. Même si la gestion des déchets liquides (eaux usées notamment) représente également un problème tout aussi important dans les PED (Farinet & Niang, 2004), seuls les DS et les déchets organiques nous intéressent dans cette étude.

Nous considérons donc comme déchets organiques, les composts d'ordures ménagères (restes de cultures et déchets de cuisine) et les déchets animaux (fumiers de poules et lisiers de porc) utilisés par les agriculteurs. Certes il est difficile de parler de déchets organiques au sens réglementaire strict du terme puisqu'une grande partie d'entre eux est recyclée ou recyclable, c'est pourquoi les spécialistes emploient plutôt le terme « produits résiduels organiques » (PRO). Toutefois, il est souvent plus parlant d'employer le terme de « déchets organiques » et c'est ce qui sera fait dans cette thèse.

Selon Waas (1990), dans les PED, les décideurs perçoivent le déchet avec une connotation négative (problèmes sanitaires, nuisance des décharges, source d'émission de gaz à effet de serre,...). Cependant, les déchets font l'objet d'une attention particulière sous la pression des organisations traditionnelles locales, des organisations non gouvernementales et des décideurs politiques préoccupés par la demande alimentaire croissante, le développement socio-économique et la sécurité sanitaire des populations. A ce titre, ces organisations locales développent de plus en plus des systèmes de récupération et de recyclage agricole des DS, même si elles ne se font pas toujours dans les règles de l'art.

Nombreux sont certains professionnels et chercheurs (Agdag, 2008; Van Beukering et al., 1999) qui s'accordent sur le fait que le recyclage des DS permet non seulement de réduire considérablement la masse des déchets à gérer, mais également participe à la préservation et à la conservation des ressources naturelles. Ainsi, l'agriculture urbaine et périurbaine (AUP) à travers sa fonction de recyclage des DS à l'état simple (épluchures de manioc, de banane, fumier de poules, lisiers de porc...) et décomposé (compost) joue le rôle de filtre par rapport à l'environnement et de préservation des ressources naturelles de production (Lekane Kembou et al., 2003).

En zone urbaine et périurbaine, les enjeux d'intensification agricole sont primordiaux pour répondre à la demande alimentaire urbaine, tout en respectant les contraintes sanitaires; l'intensification écologique est à ce titre une option pour l'avenir. L'intensification est vue ici sous un angle plus large. Il s'agit en clair de considérer les

facteurs socio-économiques, environnementaux et agronomiques qui peuvent favoriser l'accroissement de la production agricole urbaine et périurbaine par unité de superficie grâce à l'utilisation des déchets organiques par les exploitants agricoles urbains et périurbains. Le Cameroun à travers sa Recherche et ses organisations non gouvernementale (ONG) est dans cette perspective.

Dans les villes, la pratique de l'agriculture permet aux exploitants d'alimenter les marchés et de tirer un revenu important sur des surfaces qui diminuent (Parrot et al., 2006 ; Smith et al., 2004). Or, face à l'accroissement continu de la population, pour lutter contre la faim, les agriculteurs devront renforcer la richesse des sols en éléments nutritifs (Gockowski & Ndoumbe, 2004). Pour l'instant, le système de gestion de la fertilité dans les différents agro écosystèmes urbains et périurbains favorise un fort taux d'utilisation d'engrais minéraux² et de déchets organiques obtenues à partir des déchets recyclés (Kouemo, 2002).

² Au Cameroun, l'on estime à 09 milliards de FCFA (près de 20 millions de dollars US) le montant total des importations d'engrais minéraux (MINAGRI, 2003). La hausse de plus en plus importante du prix du baril de pétrole est de nature à augmenter la facture des engrais minéraux.

2. Problématique

Considéré comme un pays d'Afrique centrale à faible revenu, le Cameroun connaît une forte croissance démographique. Avec un taux de croissance estimé à 2,19 %, sa population est passée de 5,4 millions d'habitants en 1960 à 18 millions d'habitants en 2005 où déjà 54,3% de la population vivait en zone urbaine (UN, 2007). Autrefois qualifié de pays à autosuffisance alimentaire, les migrations urbaines et les fortes contraintes foncières ont entraîné un accroissement des besoins alimentaires. A cela, il faut ajouter une production de plus en plus accrue des déchets. Le tableau 2 présente l'état des lieux de la production des déchets solides dans quelques villes au Cameroun.

Tableau 2 : Production des déchets solides dans quelques villes du Cameroun

Villes	Production journalière en kg/habitant	Production journalière totale en tonnes (en 2008)
Douala (Région du Littoral)	0,88	2200
Yaoundé (Région du Centre)	0,85	1700
Bafoussam (Région de l'Ouest)	0,57	210
Garoua (Région du Nord)	0,37	190
Moyenne nationale	0,60	12 000

Source : Ngnikam & Tanawa (2006)

Le service public de gestion des DS au Cameroun est confié par délégation, à une entreprise privée : la société HYSACAM (Hygiène et Salubrité du Cameroun). Mais comme dans bien de villes africaines, à Yaoundé beaucoup de quartiers ne bénéficient toujours pas d'un service de ramassage des DS qui ne se limite d'ailleurs qu'à la collecte, au transport et à la mise en décharge (Parrot et al., 2009a). En effet, une fois collectés, les DS sont transportés vers le centre de stockage où ils sont tout simplement enfouis dans des casiers (grandes fosses), sans véritablement se soucier des effets externes liés à cet enfouissement.

Hormis les problèmes d'ordre technique (inadaptation du matériel de collecte et des méthodes de traitement), institutionnel (conflit d'intérêt entre les différents acteurs impliqués dans la gestion des déchets), physique (foisonnement des habitats

spontanés) et financier (étroitesse du budget « déchets »), la gestion des déchets solides à Yaoundé souffre de l'absence des opérations de précollecte et de compostage.

Deux raisons majeures militent pourtant en faveur de la mise en place de ces deux opérations :

- la précollecte, parce que la structure de l'habitat dans une ville comme Yaoundé fait que plus de la moitié de ses habitants vivent dans des bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des déchets (INS, 2002) ;
- le compostage, puisque plus de 75% des déchets produits à Yaoundé sont constitués de matière organique (Tableau 3).

Tableau 3 : Composition des déchets en % pourcentage de matière sèche dans quelques villes du Cameroun

Composantes	Yaoundé	Douala	Bafoussam	Garoua	Moyenne
Papier/carton	3,5 %	3,7 %	1,3%	1,7%	2,2 %
Verre/céramique	4,1 %	1,6 %	0,8%	0,1%	1,8 %
Textile/cuirs	1,6 %	2,4 %	0,9%	1,5%	1,5 %
Plastiques	4,6 %	3,4 %	2,3%	6,1%	2,8 %
Métaux	4,6 %	2,3 %	0,6%	1,0%	1,6 %
Bois et copeaux	-	1,5%	0,5%	1,9%	0,9 %
Gravats	5,9 %	5,1%	1,7%	2,5%	2,4 %
Éléments fins < 20 mm	27,6 %	1,3 %	25,6%	41,9%	19,2 %
Matière organique	47,9 %	78,7 %	66,2	42,8%	67,3 %
Total	100	100	100	100	100
Matière organique totale ³	76 %	78,7 %	79%	51,2%	77,4 %

Source : Ngnikam & Tanawa (2006)

³ Cette fraction ne prend en compte les matières organiques biodégradables contenues dans les éléments fins.

En effet, le caractère difficilement accessible des bas-fonds fait que les taux de collecte des DS y restent faibles ; or au Cameroun comme partout en Afrique, l'agriculture se pratique surtout dans ces bas-fonds qui sont également un refuge pour les ménages pauvres qui vivent essentiellement de leur production agricole (Masocha, 2006).

Du fait des pressions foncières dues à l'urbanisation et de la demande de plus en plus forte en produits alimentaires, l'agriculture dans ces bas-fonds exige de plus en plus d'intrants. Cependant, les intrants comme les engrais chimiques deviennent onéreux au fil des ans et de plus, présentent des risques pour la santé et l'environnement⁴. Dans ce contexte, le recours aux intrants organiques, obtenus à partir du recyclage des DS dans les bas-fonds, pourrait constituer une alternative crédible pour d'une part assurer la durabilité des exploitations horticoles périurbaines et d'autre part réduire la pollution due aux DS et aux engrais minéraux⁵ au Cameroun.

Ce constat suscite en nous quelques interrogations : Quelles sont les limites de l'organisation du service public de gestion des déchets solides au Cameroun ? Quel rôle peut jouer le compostage dans un système alternatif de gestion publique des déchets solides au Cameroun ? Telles sont les préoccupations majeures qui ont fondé notre motivation à réaliser ce travail de recherche.

⁴ Bien qu'ayant un pouvoir fertilisant indéniable, à moyen et long terme, il est établi que les engrais minéraux ont des effets nocifs aussi bien pour la faune, la flore, l'environnement que pour l'homme. En effet, leur utilisation abusive contamine les plantes, acidifie les sols et pollue les nappes d'eau souterraines. Les phénomènes de dénitrification et de volatilisation de l'ammoniac contenu dans ces engrais minéraux génèrent des gaz à effets de serre (GES) de 23 à 300 fois plus actifs que le dioxyde carbone (CO₂). En effet, le secteur agricole produit, directement ou indirectement, de 17 à 32% de l'ensemble des émissions mondiales de GES causées par les humains. Produire un kilogramme d'engrais minéral nécessite de brûler 1,5 litre de fioul et plus du tiers des émissions de l'agriculture provient de sols qui reçoivent trop d'engrais.

⁵ Depuis une vingtaine d'année, le Cameroun importe en moyenne 100 000 tonnes d'engrais minéraux de type N,P,K (20-10-10) tous les ans (MINAGRI, 2003). En plus de l'agriculture urbaine et périurbaine qui consomme près de 20% de ces importations, les grandes exploitations agricoles des compagnies agroindustrielles, qui occupent 5 à 7% des terres cultivées au Cameroun, en consomment également ; et sont d'ailleurs les plus gros consommateurs de ces engrais.

3. Objectifs de recherche

3.1. Objectifs généraux

Cette étude vise globalement deux objectifs généraux :

- ⇒ analyser les limites organisationnelles de la gestion publique des déchets solides au Cameroun
- ⇒ appréhender la pertinence du compostage dans un système alternatif de gestion publique des déchets solides au Cameroun

3.2. Objectifs spécifiques

Plus spécifiquement, il s'agit de :

- ⇒ évaluer la performance du système de gestion des déchets solides à Yaoundé
- ⇒ proposer un système de gestion alternatif des déchets solides à Yaoundé
- ⇒ déterminer les caractéristiques agro-économiques des déchets organiques utilisés en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun
- ⇒ identifier les facteurs d'utilisation des déchets organiques en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun

4. Hypothèses de recherche

Les hypothèses de recherche à tester correspondent respectivement aux quatre objectifs spécifiques de ce travail de recherche :

- ⇒ la gestion publique des déchets solides au Cameroun est sous – performante mais perfectible ;
- ⇒ une gestion alternative des déchets solides au Cameroun passe par la prise en compte des opérations de compostage après précollecte, ainsi que le traitement des lixiviats et biogaz ;
- ⇒ les déchets organiques produits au Cameroun sont potentiellement riches et peuvent être rentables sous des conditions identifiables ;
- ⇒ il existe une prédisposition à l'utilisation des déchets organiques au Cameroun, favorisée par des variables socio-économiques et techniques dont la distance domicile – parcelle.

5. Architecture de la thèse

Cette thèse s'organise autour de deux parties constituées chacune de deux chapitres, l'un théorique et l'autre empirique :

Première partie :	Deuxième partie :
Limites organisationnelles de la gestion publique des déchets solides au Cameroun	Pertinence du compostage dans un système alternatif de gestion publique des déchets solides au Cameroun
Chapitre I : Fondements théoriques de la gestion publique des déchets solides	Chapitre III : Contours théoriques de l'utilisation des déchets organiques en agriculture urbaine et périurbaine
I.1. Généralités sur les déchets solides	III.1. Les concepts d'agriculture urbaine et périurbaine et de déchets organiques
I.2. Les fondements théoriques d'un service public de gestion des déchets	III.2. Cadre théorique et conceptuel de l'utilisation des déchets en agriculture
Chapitre II : Analyse de la gestion publique des déchets solides au Cameroun	Chapitre IV : Utilisation des déchets organiques en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun
II.1. L'organisation de la gestion publique des déchets solides au Cameroun	IV.1. Analyse agronomique et valeur économique des déchets organiques produits au Cameroun
II.2. Mise en évidence du système de gestion de gestion publique des déchets solides à Yaoundé	IV.2. Analyse des déterminants de l'utilisation des amendements organiques au Cameroun

PREMIERE PARTIE :
LIMITES ORGANISATIONNELLES DE LA GESTION PUBLIQUE DES
DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN

« Ce qu'il y a de plus important à étudier dans la société ce sont les tas d'ordures »

Marcel MAUSS in SOUSTELLE Jacques – Les 4 soleils – PLON 1967

Introduction de la première partie :

Pendant très longtemps, les Keynésiens et les Néoclassiques ont eu des avis mitigés sur l'intervention ou non de l'Etat dans les activités économiques. Selon la macroéconomie Keynésienne, l'économie de marché est sujette à des défaillances de coordination et les ajustements ne sont pas automatiques. Le modèle Néoclassique de base, quant à lui ignore tous les coûts directs et indirects liés à l'organisation et au fonctionnement des marchés et estime que, même seuls, les marchés peuvent être automatiquement efficaces. Seulement, l'existence des biens collectifs a conduit l'école néoclassique à reconnaître que les mécanismes de l'échange volontaire sont insuffisants pour répondre à la demande de services collectifs ; l'Etat doit donc suppléer à cette défaillance du marché. L'Etat fournit de nombreux biens et services publics environnementaux et souvent avec l'aide des entreprises privées, il exécute certaines de ses fonctions régaliennes. Le service de gestion des déchets présentant les caractéristiques économiques d'un service public environnemental, la question qui se pose alors est de savoir s'il est plus judicieux de confier ce service public de gestion des déchets à une entreprise privée. Pour cela, la théorie économique prévoit un ensemble d'outils permettant de réduire les distorsions pouvant naître de ce type de relation. L'intérêt de cette partie est d'analyser les limites de l'organisation de la gestion publique des déchets solides au Cameroun. Deux chapitres nous guideront à cet effet. Alors que le chapitre I présentera les fondements théoriques du service public de gestion des déchets solides⁶, le chapitre II analysera la gestion publique des déchets solides au Cameroun.

⁶ Le service public de gestion des déchets au Cameroun est un exemple type de partenariat public-privé (3P), d'où l'exploration des approches théoriques directement liées aux 3P telles que la théorie de l'inefficience-x, la théorie des choix publics, la théorie du New Public Management et la théorie des marchés contestables. Les théories des coûts de transaction et de l'agence relèvent les difficultés de coordination au sein des organisations publiques pour promouvoir les 3P. Parce qu'un déchet est par définition source de nuisance et donc de production d'externalités, le choix de la nouvelle Economie Publique qui fait la part belle à la réglementation et aux solutions privées susceptibles d'internaliser les externalités se justifie.

CHAPITRE I :

FONDEMENTS THEORIQUES DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES

Très souvent, le service public de gestion des déchets solides (DS) est confié par délégation, aux entreprises du secteur privé. Alors que la théorie nous enseigne que la délégation d'un service public par un mandant à un mandataire est souvent sujette à des problèmes d'asymétries informationnelles, il y'a lieu de s'interroger sur la performance d'un tel arrangement institutionnel. Dans le cas spécifique des DS, la recherche d'un arrangement institutionnel satisfaisant doit faire intervenir trois ordres de contraintes qui vont du contexte économique, institutionnel et politique propre à la gestion des DS aux contraintes informationnelles, transactionnelles et administratives propres à toute relation d'agence en passant par les caractéristiques techniques et économiques des déchets. L'État a notamment l'obligation de veiller à la mise en place d'un cadre institutionnel, juridique et réglementaire qui conduise à l'atteinte des objectifs de la société en matière de gestion des DS. Dans ce chapitre, avant d'aborder les théories sur lesquelles s'appuient cette partie de la thèse, il nous semble important de mieux connaître les déchets.

I.1. Généralités sur les déchets solides

Selon Chalot (2004), la production des DS a toujours été inhérente aux activités humaines. Mais en Afrique comme partout ailleurs, elle est devenue véritablement une problématique publique. Il s'agit dans cette section de caractériser les DS et de faire l'état des lieux de la production des DS dans le monde.

I.1.1. Les déchets solides et leurs caractéristiques

Connaître la nature des DS revient à identifier les différents types de déchets que l'on rencontre généralement dans les centres urbains et présenter leurs caractéristiques ; mais avant d'y arriver, définissons le terme « déchet ».

a) Les définitions du terme « déchet »

Le terme déchet vient du verbe « déchoir » qui traduit la diminution de la valeur d'un bien, d'une matière ou d'un objet jusqu'au point où il devient inutilisable en un lieu et en moment donné (Pichat, 1995). Selon le dictionnaire LAROUSSE, un déchet est un débris ou tous les restes sans valeur de quelque chose ou encore tout ce qui tombe d'une matière qu'on travaille (exemple : un déchet radioactif). C'est donc toute matière ou objet indésirable abandonné sur la voie publique, même les cadavres d'animaux, bref un ensemble de résidus hétérogènes. L'ADEME (1994) reprend la définition française de l'Article 1 de la loi du 15 juillet 1975⁷.

⁷ L'article 1^{er} de la Loi n° 75-633 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux définit le déchet comme : *Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériaux, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon .La Loi donne donc deux définitions d'un déchet :*

- une définition physique : le déchet est un résidu. Cette définition est objective et liée à la détermination en amont d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation.

- une définition juridique : le déchet est un bien meuble abandonné. Il résulte ainsi de la définition juridique que le déchet est non seulement un résidu mais également tout bien meuble que son détenteur destine à l'abandon.

La jurisprudence – complexe - relative à la définition du déchet peut être résumée ainsi : l'abandon caractérise le déchet, tandis que l'intention fait le produit. Ainsi, c'est en fonction de l'usage que veut en faire son producteur ou son détenteur qu'une matière sera qualifiée de déchet ou de produit. Le droit communautaire quant à lui retient une conception plus précise de la notion de déchet que le droit interne. Il s'agit en effet de (Directive n° 75-445 du 15 Juillet 1975, modifiée par la directive n; 91-156 du 18 Mars 1991) : Toute substance ou tout objet, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défait. Ainsi, le droit communautaire ajoute la notion d'obligation à la notion interne. En conséquence, les

Sociologiquement, le déchet est le témoin d'une culture et de ses valeurs. Il est le reflet du niveau social des populations et de l'espace dans lequel elles évoluent : zones rurales/urbaines, habitats collectifs/individuels. Selon Fromageau (1993)⁸, le déchet est un fait social et même culturel ; puisque de grands artistes comme *César Baldaccini* travaillaient à partir des déchets. Cointreau-Levine (1982) quant à lui considère les DS comme des matières organiques et non organiques n'ayant plus de valeur de la part des ménages qui les produits.

Pour Maystre & Viret (1995) les déchets peuvent être perçus sous l'angle économique, juridique et environnemental. Sur le plan environnemental, les déchets englobent les DS, liquides (eaux usées, huiles, boues) et gazeux (gaz et fumées). Qu'en est-il des deux premières définitions qui mettent en exergue la valeur économique du déchet et l'enjeu juridique qui entoure sa gestion future ?



a,) Définition économique

Selon Fromageau (1993), depuis l'Antiquité certains types de déchets ont une valeur économique ; par exemple, il est impensable de jeter le fumier puisque depuis le 19^{ème} siècle il est systématiquement récupéré. Les déchets ne doivent pas seulement être considérés inutiles mais plutôt comme une ressource potentielle (Marchettini et al., 2007). Selon De la Laurencie (2002), n'est déchet que ce qui n'est plus récupérable ou valorisable.

Pour Bertolini (1990), le déchet est un produit dont la valeur d'usage et la valeur d'échange sont nulles pour son détenteur ou propriétaire. Ce déficit en valeur économique tient du fait que le déchet n'est pas un produit rare. Pour s'en débarrasser, le détenteur devrait payer quelqu'un ou le faire lui-même.

matériaux recyclables ou les produits usagers pour lesquels la Loi prévoit une obligation de valorisation restent bien des déchets.

⁸ In Fontanel & Bensahel (1993).

Cette définition de la nullité de valeur reste cependant relative. En effet, ce que les uns considèrent comme déchets, peuvent servir de matières premières aux autres pour la fabrication d'autres produits voire même des biens ; car *les résidus des uns font le bonheur des autres*. En effet, un objet considéré comme tel en un lieu et à une période donnée peut ne pas l'être sous d'autres cieux. De vieilles automobiles et vêtements usés du Nord sont généralement exportés vers les pays du Sud⁹. Les épluchures de légumes, fruits et d'agrumes envoyées dans les décharges au Nord constituent une nourriture de qualité pour la volaille et le bétail au Sud. Au Sénégal par exemple, les éleveurs nourrissent leurs animaux avec un aliment constitué de petits morceaux de carton en cellulose mélangés à du son ou aux tourteaux d'arachide.

a₂) Définition juridique

On distingue une conception subjective et une conception objective de la définition juridique du déchet.

Selon la conception subjective, un bien devient un déchet lorsque son propriétaire a la volonté de s'en débarrasser. Il demeure sien tant qu'il n'a pas quitté la propriété de cette personne ou l'espace qu'elle loue. Ce bien devient une propriété de la municipalité lorsqu'il est déposé sur la voie publique ou dans une poubelle¹⁰, car par cet acte son propriétaire peut avoir clairement signifié sa volonté d'en abandonner tout droit de propriété.

⁹ Le Sud correspond dans cette thèse à l'ensemble des pays en développement alors que le Nord correspond à l'ensemble des pays développés.

¹⁰ Le mot poubelle vient de Eugène-René Poubelle (1831 – 1907). Il fut juriste, administrateur et diplomate français. En 1884, alors Préfet du département de la Seine en France, il obligea les Parisiens à déposer leurs détritiques dans un récipient qui immortalisera ainsi son nom. La collecte traditionnelle était née. Depuis, l'expansion démographique, l'augmentation des produits de consommation, la diminution de la durée de vie des biens et des produits, ainsi que la concentration des populations et le type d'habitat ont aggravé la situation en causant un changement radical dans la qualité et la quantité des déchets (Dotreppe-Grisard, 1986).

Selon la conception objective, un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de la valeur économique du bien : les biens recyclables qui sont des matières premières secondaires entrent dans cette définition objective. Ainsi, le détenteur d'un bien est soumis à la réglementation et il ne peut se décharger de ses responsabilités envers la gestion de ce déchet sous prétexte de sa valeur économique. Les déchets sont des sources de nuisances dès lors qu'ils n'ont pas été inertés. Les effets sont directs (paysage, brûlage, percolation) ou indirects (risque du transport, déchet lors du traitement). C'est pourquoi plusieurs insistent sur la composition du déchet comme critère d'identification.

b) La nature des déchets solides

Bien connaître la composition des DS est capital pour déterminer les modes de récupération, de collecte et de traitement qui seront les mieux adaptés.

b,) La typologie des déchets solides

Incinérés, transformés en carburants, en gaz, les déchets constituent à la fois une contrainte et une ressource de plus en plus prises en compte dans les politiques de développement durable. La différence principale entre les déchets du Nord et du Sud réside dans sa composition. En effet, selon Aloueimine (2006), Mohee (2002), Wei et al., (2000), Waas et al., (1996), la composition des déchets varie d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre et même d'un quartier à l'autre.

On classe habituellement les déchets en plusieurs catégories selon leur nature¹¹ :

- les DS qui sont composés d'ordures ménagères et qui nous intéressent dans cette thèse. Ils sont en principe incinérés, recyclés ou mis en décharge ;
- les déchets liquides urbains (DLU) sont composés d'un mélange d'eaux claires (eaux de pluie), d'eaux grises (douche et lavabo) et d'eaux vannes (WC). Ces eaux

¹¹ Source : www.nagra.ch

usées sont en principe traitées dans des stations d'épuration (STEP) qui séparent les boues d'épuration de l'eau ;

- les matières usagées provenant de collectes comprennent les déchets valorisables issus des collectes sélectives (comme le verre, vieux papier, compost, textile, PET¹², tôle d'acier, alu). Ces déchets sont en principe recyclés, soit pour refaire le même produit (verre, alu), soit pour faire un produit de moindre qualité (downcycling, comme PET utilisé pour faire des tuyaux en plastique) ;
- les déchets de chantier comprennent les déchets de construction et de démolition (bois, béton, tuiles, plastiques) ;
- les déchets spéciaux contiennent des substances dangereuses pour la santé humaine ou pour l'environnement (solvants, peintures, piles, tubes fluorescents, produits chimiques, appareils électriques). Ces déchets sont collectés séparément et traités dans des usines spécialement équipées ;
- les déchets radioactifs sont issus de la production d'énergie nucléaire et de la médecine (radiographie).

Selon Gillet (1985), on distingue dans les DS :

- les particules « fines » de diamètre inférieur à 20 mm ;
- les déchets végétaux ;
- les papiers et cartons ;
- les chiffons et autres déchets textiles ;
- les matières plastiques ;
- les os et les métaux ;
- les débris combustibles et incombustibles non classés ;
- les verres, porcelaine et faïence.

¹² PET = Polyéthylène Téréphtalate = Variété de plastique (pétrole raffiné)

Tableau 4 : Comparaison internationale de la composition des déchets solides au Nord

Pays	Fermentescibles et végétaux	Verres	Papiers et Cartons	Plastiques	Métaux	Sources
Allemagne	14,0	12,0	34,0	22,0	5,0	OECD, 2008
Australie	47,0	7,0	23,0	4,0	5,0	OECD, 2008
Autriche	25,0	8,0	22,0	11,0	5,0	OECD, 2008
Belgique	39,0	7,0	17,0	5,0	3,0	OECD, 2008
Canada	24,0	6,0	47,0	3,0	13,0	OECD, 2008
Corée	28,0	5,0	24,0	8,0	3,0	OECD, 2008
Danemark	29,0	5,0	27,0	0,8	6,0	OECD, 2008
Finlande	33,0	5,0	40,0	10,0	5,0	OECD, 2008
Espagne	49,0	8,0	21,0	12,0	4,0	OECD, 2008
Etats-Unis	25,0	5,0	34,0	12,0	8,0	OECD, 2008
France	32,0	10,0	20,0	9,0	3,0	OECD, 2008
Grèce	47,0	5,0	20,0	9,0	5,0	OECD, 2008
Hongrie	29,0	2,0	15,0	17,0	2,0	OECD, 2008
Islande	26,0	4,0	26,0	17,0	3,0	OECD, 2008
Irlande	25,0	5,0	31,0	11,0	4,0	OECD, 2008
Italie	29,0	13,0	28,0	5,0	2,0	OECD, 2008
Japon	34,0	5,0	33,0	13,0	3,0	OECD, 2008
Luxembourg	45,0	12,0	22,0	0,8	4,0	OECD, 2008
Norvège	30,0	4,0	33,0	9,0	4,0	OECD, 2008
Pays-Bas	35,0	4,0	26,0	19,0	4,0	OECD, 2008
Portugal	34,0	7,0	21,0	11,0	4,0	OECD, 2008
République Tchèque	24,0	8,0	18,0	13,0	3,0	Hnatukova & al, 2008
Russie	31,0	4,0	38,0	5,0	4,0	Kalyuzhny, 2003
Suède	30,0	8,0	44,0	7,0	2,0	OECD, 2008
Suisse	29,0	4,0	20,0	15,0	3,0	OECD, 2008
Royaume Uni	40,0	7,0	18,0	8,0	8,0	OECD, 2008

Tableau 5 : Comparaison internationale de la composition des déchets solides au Sud

Pays	Fermentescibles et végétaux	Verres	Papiers et Cartons	Plastiques	Métaux	Sources
Bénin	52,9	0,7	2,7	4,3	1,2	Tech-Dev, 2003
Bangladesh	70,0	0,3	4,0	5,0	0,1	Ahmed & Ali, 2006
Burkina Faso	39,0	3,0	9,0	10,0	4,0	Follea & al, 2001
Cameroun	61,7	2,1	3,7	2,1	3,8	Ngnikam, 2000
Chine	49,0	2	16	16	2	http://www.china-pops.net
Côte d'Ivoire	50,9	0,6	5,8	6,8	1,0	Sané, 2002
Cuba	34,0	22,0	5,0	11,0	10,0	Mosler & al, 2006
Egypte	60,0	3,0	13,0	2,0	3,0	Ezz, 2003
Ghana	85,0	2,0	5,0	3,0	3,0	Asomani-B. & al, 1999
Guinée	69,0	0,3	4,1	22,8	1,4	Matejka & al, 2001
Ile Maurice	68,0	1,0	12,0	13,0	1,0	Mohee, 2002
Inde	38,6	1,0	5,6	6,0	0,2	Damodaran & al, 2003
Liban	62,4	5,2	11,3	11,0	2,9	El-Fadel & al, 2002
Malaisie	30,1	1,5	30,8	12,0	3,2	Tawee & al, 2003
Maroc	68,0	0,7	19,0	2,5	5,6	Hafid & al, 2002
Mexique	55,0	4,0	15,0	4,0	6,0	Gonzalez D.C., 1998
Mauritanie	4,8	3,8	3,6	20,0	4,2	Aloueimine & al, 2005
Niger	37,0	0,0	2,0	2,0	1,0	Tini, 2003
Nigeria	56,0	2,0	13,0	6,0	-	Asomani-B. & al, 1999
Pakistan	50,0	1,3	16,3	7,7	0,2	Shamsi & Ahmed, 1996
Pérou	34,7	7,1	6,0	7,2	2,8	Diaz, 1997
Philippines	53,7	3,5	12,9	1,6	5,38	www.environcorp.com
Sénégal	56,3	1,7	9,5	6,2	1,9	Kapepula, 2006
Taiwan	22,7	7,5	28,4	19,7	4,1	Chang & al, 1993
Tchad	25,0	1,0	3,0	6,0	2,0	Doublier, 2003
Tunisie	68,0	2,0	11,0	7,0	4,0	Hafid & al, 2002
Zimbabwe	26,0	6,0	34,0	15,0	5,0	Masocha, 2006

Les tableaux 4 et 5 qui présentent la composition des DS dans quelques pays, montrent que la fraction fermentescible des déchets est surtout dominante dans les pays du Sud (50% contre 32% en moyenne au Nord). Alors que Cuba est le pays qui produit le plus de déchets « verre » au monde (22% en moyenne), le Canada est numéro 1 mondial dans la production de déchets « papier » (47% en moyenne). Les déchets produits au Sud sont potentiellement moins polluants que ceux produits au Nord.

Certaines études montrent l'importance des conditions et du mode de vie de la population et de l'influence des saisons sur la nature des déchets (Beture Environnement, 2001). Selon Arinola & Arinola (1995), les habitudes alimentaires sont fonction du niveau de vie, du type d'habitation et des époques de l'année ; la production de fruits et légumes étant plus importante en été, la part de matières fermentescibles s'en trouve augmentée.

Comme le montre le tableau 5, la proportion de matière organique contenue dans les déchets au Sud est supérieure à 60%, confirmant ainsi les habitudes alimentaires des habitants du Sud qui vivent surtout de fruits et légumes. En Afrique de l'Ouest mais également dans certains pays d'Asie du Sud, les « fines » constituent une part importante des DS. Dans la ville de Ouagadougou au Burkina Faso par exemple, 75% (en poids) des déchets sont des fines (Tezanou et al., 2001), alors qu'au Bénin, les fines représentent 36% (Soclo et al., 1999) et en Inde 42% (Damodaran et al., 2003). Elles sont le plus souvent constituées de sables, de poussières et de petits cailloux pouvant provenir de la vétusté des routes des chemins ou des pistes (Roux et al., 1988).

Au Cameroun, la fraction fermentescible est plus importante dans les DS ; mais encore plus dans les quartiers pauvres. Ceci s'explique par la forte consommation de tubercules et de légumes feuilles dans ces zones. Comme dans la plupart des pays du Sud, les déchets à caractères dangereux produits par les ménages sont très marginaux (moins de 1% en moyenne).

b₂) Les caractéristiques des déchets solides

La connaissance des caractéristiques des DS permet de mieux appréhender les risques de pollution et les méthodes de traitement. Généralement il s'agit de : la densité en poubelle, le taux d'humidité, le pouvoir calorifique inférieur, le rapport des teneurs en Carbone et Azote.

➤ Les densités en poubelle

La densité apparente des déchets en poubelle est mesurée en remplissant les déchets frais dans un seau de 50 litres. La pesée est effectuée sans tassement des déchets. Une moyenne de 8 à 10 mesures est effectuée par strate. Selon Cointreau-Levine et al., (1984), alors que d'une part le développement économique entraîne la production des déchets plus luxueux tels que les papiers, les cartons et les plastiques ; dans les villes du Sud d'autre part les déchets ont plutôt une forte densité et sont très riches en eau. Selon Wicker (2000), la densité des DS est comprise entre 0,2 et 0,4 en fonction des pays (0,35 au Maroc ; 0,30 en Tunisie et en Colombie ; 0,24 en Malaisie ; 0,13 au Pakistan). Du fait de la proportion importante de matières fermentescibles et d'humidité dans les déchets, constituants plus lourds, la densité est en moyenne plus élevée au Sud qu'au Nord (en France, elle est voisine 0,2). Selon Ngnikam (2000), à Yaoundé, en saison sèche la densité en poubelle est de $0,24 \pm 0,10$; en saison de pluies, elle est de $0,36 \pm 0,13$. A Yaoundé, la variation inter strate n'est pas significative.

➤ Le taux d'humidité

Les déchets renferment beaucoup d'eau dont la teneur varie en fonction des saisons et le milieu environnemental. Cette eau a une grande influence sur la rapidité de la décomposition des matières qu'elles renferment et sur le pouvoir calorifique utile des déchets. Au Sud, l'humidité varie entre 40% et 75% dans les déchets bruts, du fait de la proportion importante de matières organiques (fruits et légumes) dans les déchets. En Europe et notamment en France, l'humidité approche 35% due à la faible proportion de matières fermentescibles et au pourcentage non négligeable de plastiques (ADEME, 1999). La teneur en eau est de 9% en Mauritanie (Aloueimine et al., 2005), 60-75% au

Liban (El-Fadel et al., 2002), 40-60% au Burkina Faso (Follea et al., 2001), 60-80% en Chine (Wei et al., 2000), 70-78% en Corée (Shin et al., 1997), 70-95% au Ghana (Asomani-Boateng et al., 1996), 60-70% au Maroc (Begnaud et al., 1990) et 50-65% au Cameroun (Ngnikam, 2000).

➤ **Le pouvoir calorifique**

Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/kg). Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) suppose que la vapeur d'eau formée pendant la combustion est revenue à l'état liquide. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) quant à lui, s'obtient si l'eau est formée à l'état vapeur. C'est donc la vapeur du PCI qui permet de proposer ou de refuser l'incinération des déchets¹³. Selon Ngnikam (2002), les déchets peuvent être incinérés lorsqu'ils ont un PCI supérieur à 1200 kcal/kg. En France, il est de 1870 Kcal/kg. Au Sud, le PCI est compris entre 800 et 2000 Kcal/kg. Selon Wicker (2000), il est de l'ordre de 1000 Kcal/kg au Maroc, en Tunisie, en Côte d'Ivoire et en Colombie ; et selon Dayal et al., (1993), il est de 1000 Kcal/kg en Inde. Les DS ayant une faible humidité et un taux relativement important de plastiques, peuvent avoir un PCI de l'ordre de 2180 ou 2774 Kcal/kg comme c'est le cas respectivement en Malaisie (Kathirvale et al., 2003) et en Mauritanie (Aloueimine et al., 2005).

➤ **Le rapport Carbone / Azote**

Le rapport C/N est généralement choisi comme critère de qualité des produits obtenus après compostage des déchets. Il est d'une grande importance pour le traitement biologique des déchets, car l'évolution des déchets en fermentation peut être suivie par la détermination régulière de ce rapport. Le rapport C/N dans les déchets frais se situe généralement entre 25 et 40 et dans le compost mûr entre 12 et 20. Selon l'ADEME (1999), le rapport C/N en France est de l'ordre de 45,75. Il est de 24,40 en Tunisie (Hassen et al., 2001), 36,59 en Malaisie (Kathirvale et al., 2003).

¹³ L'équivalent énergétique d'une tonne d'ordures ménagères correspond à environ 150 litres de fuel.

I.1.2. Les déchets solides : leur production et leur gestion

En considérant la moyenne mondiale de production des DS à 0,6 kg par jour et par personne¹⁴, l'on estime à plus de 1,6 milliards de tonnes, les quantités de DS produites en 2009 à l'échelle mondiale. Cette production mondiale devrait tripler dans les prochaines années avec l'augmentation toujours croissante de la population mondiale. Face à cette forte production des DS, des stratégies de gestion efficace devront être développées afin de mieux maîtriser les flux.

a) Etat des lieux de la production des déchets dans le monde

Le niveau de vie de la population, les possibilités d'approvisionnement, et même le climat influencent la qualité des déchets produits dans une ville. Les pays au climat tempéré ou froid produisent plus de DS que les pays chauds. A l'avenir toutefois, cette production diminuera de volume dans les pays tempérés ou froids, vu l'emploi toujours croissant de mazout, de gaz et d'électricité pour le chauffage et la cuisson (Popel, 1955). La production des déchets dépend également grandement de la richesse du pays, mais avec des exceptions notables tant dans les pays du Nord que dans les pays du Sud.

a,) La production des déchets dans le monde

Selon Ziadat & Mott (2005), le modernisme et l'accroissement de la population mondiale contribuent à augmenter significativement les quantités et les variétés de DS produits. Très souvent, il existe une disparité dans la production des DS qui varie dans un pays d'une ville à une autre selon qu'on se trouve en zone urbaine ou en zone rurale.

Le tableau 6 présente, par importance de production, la production des DS dans les principales villes des pays du Nord.

¹⁴ http://michelet-lannemezan.entmip.fr/lectureFichiergw.do?ID_FICHER=1022

Tableau 6 : Comparaison internationale de la production des déchets au Nord

Pays	Production (kg/habitant/jour)	Pays	Production (kg/habitant/jour)
Etats-Unis	2,07	Suède	1,02
Canada	2,00	France	1,00
Finlande	1,71	Royaume Uni	0,95
Autriche	1,70	Belgique	0,94
Chine	1,36	Allemagne	0,91
Pays Bas	1,36	Turquie	0,90
Norvège	1,29	Espagne	0,88
Suisse	1,20	Grèce	0,81
Japon	1,11	Portugal	0,70
Australie	1,04	Russie	0,43

Source : Sotamenou (2005)

La France se situe dans une position moyenne parmi les pays développés. D'une production de DS estimée à 0,5 kg/hbt/jr en 1960, elle produit le double aujourd'hui. Cependant, un Français produit deux fois moins de déchets qu'un Américain mais deux fois plus qu'un Russe.

Selon Chang et al., (1993) et Dayal et al., (1993), la production des déchets est positivement corrélée avec le revenu, la richesse, l'âge et le climat aux Etats Unis. Cependant il est important de noter qu'au Nord, à l'exception des Etats-Unis et du Canada, les pays nordiques tels que la Norvège, la Finlande, les Pays-Bas ou encore l'Autriche sont les plus gros producteurs de déchets. Avec la crise économique et financière de 2009, les volumes de déchets produits dans les pays riches ont diminués. En Allemagne par exemple, la production de déchets est passée de 381 millions de tonnes en 2002 à 339 millions en 2005. La tendance est la même en France, du fait des changements dans les modes de consommation et les emballages ménagers, constate l'étude réalisée par Chalmin & Guillochet (2009). Les déchets ménagers ont même reculé, de 26 millions de tonnes en 2004 dans l'Hexagone à 22 millions en 2005. Tout cela reste bien évidemment marginal à l'échelle planétaire où la production mondiale de déchets progresse.

Bien que moins producteurs de déchets que les pays du Nord, les changements sociaux et économiques qu'ont subis la plupart des pays du Sud depuis les années 1960 ont entraîné une hausse de la production des déchets par personne. Le Tableau 7 présente la production journalière moyenne de déchets en kilogramme par habitant dans les principales villes du Sud.

Tableau 7 : Comparaison internationale de la production des déchets au Sud

Pays	Production (kg/habitant/jour)	Pays	Production (kg/habitant/jour)
Mexique	0,98	Brésil	0,51
Malaisie	0,75	Inde	0,50
Maroc	0,75	Niger	0,50
Burkina Faso	0,61	Pakistan	0,50
Cameroun	0,60	Philippines	0,50
Nigeria	0,60	Ghana	0,40
Sénégal	0,60	Vietnam	0,40
Tchad	0,60	Mauritanie	0,35
Egypte	0,58	Tanzanie	0,36
Bolivie	0,56	Indonésie	0,30

Source : Sotamenou (2005)

A quelques exceptions notables, la production des déchets au Sud ne dépasse guère 1 kg/hbt/jour. Ce faible taux de production des déchets est justifié par le faible niveau de vie qui caractérise ces pays. Cependant du fait de la mondialisation, les variétés et le volume des déchets au Sud ont augmentées vu que le style de vie a changé (Achankeng, 2003). La mondialisation n'a donc pas seulement eu des effets « positifs » sur le style de vie des habitants du Sud, mais force est de constater qu'elle a hélas favorisé l'importation des modes de collecte des déchets qui ne correspondent pas toujours aux spécificités géographiques, culturelles, économiques ou même à l'évolution technologique des pays du Sud. De par la nature très composite et variée des déchets produits aussi bien au Nord qu'au Sud, il s'avère inefficace d'appliquer les méthodes standards de collecte ou de traitement des déchets du Nord au Sud. La preuve en est que les taux de collecte restent encore très bas au Sud (moins de 50% en moyenne) et très élevés au Nord (plus de 90% en moyenne).

a₂) Les différentes filières de traitement des déchets

Selon Murray (1995), l'élimination des déchets constitue un défi que l'humanité relève depuis des millénaires. D'ailleurs, dès l'an 500 avant Jésus-Christ, la cité-État d'Athènes avait décrété que les déchets devaient être transportés au-delà des murs de la ville pour y être éliminés. Toutefois, le problème que pose cette élimination n'est devenu grave qu'au cours des dernières décennies, et il se pose surtout dans les pays du Sud.

Le tableau 8 présente une comparaison des politiques internationales de traitement des DS.

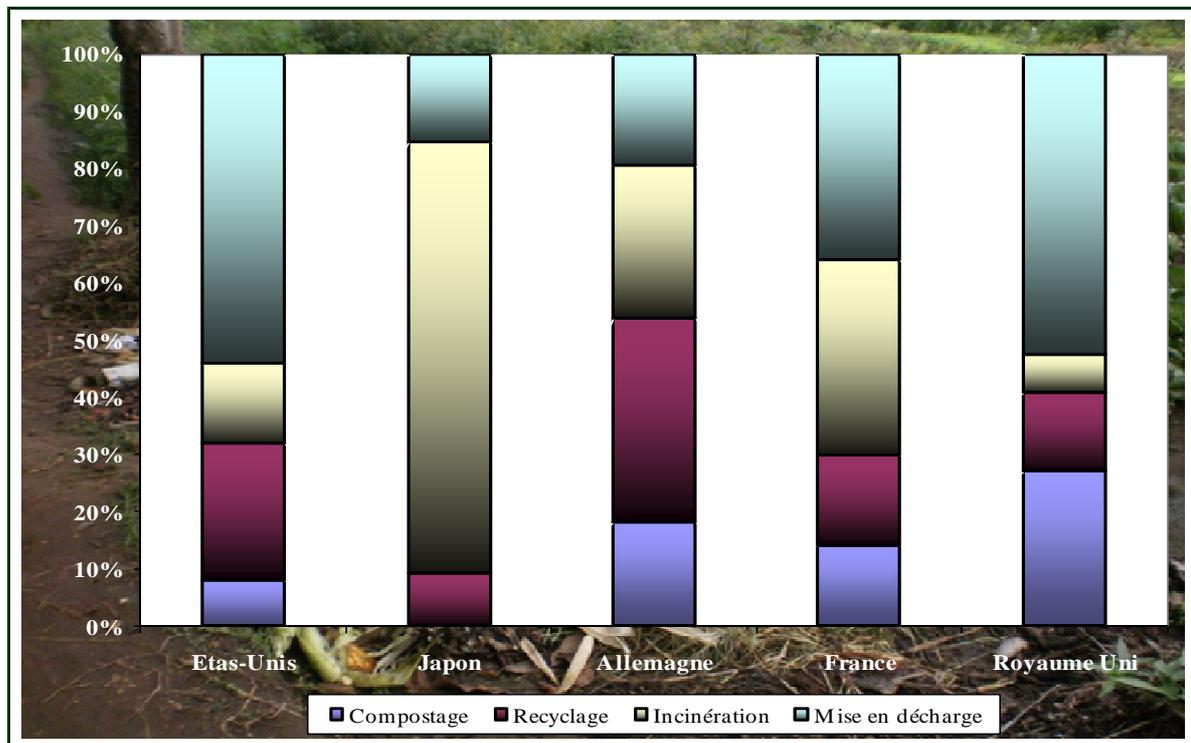
Tableau 8 : Comparaison des politiques nationales de traitement des déchets au Nord

Pays	% de déchets Recyclés	% de Compost	% de déchets Incinérés	% de déchets mis en décharge
Allemagne	33	17	25	18
Autriche	16	17	12	55
Belgique	31	23	34	12
Canada	27	12	04	57
Danemark	26	15	54	05
Espagne	10	35	0	55
Etats-Unis	24	08	14	54
France	16	14	34	36
Italie	07	02	06	85
Japon	09	0	74	15
Norvège	12	01	18	69
Pays-Bas	23	20	26	31
République Tchèque	01	03	14	82
Royaume-Uni	17	09	08	64
Suède	18	05	40	37
Suisse	39	0	47	14

Source : OECD (2008) et www.ademe.fr

Des cinq pays les plus industrialisés au monde, le Japon est le pays qui pratique le plus l'incinération (74%), suivis de la France (34%) et de l'Allemagne (25%). Malgré une moyenne de 32% de matières organiques contenues dans les DS produits au Nord, très peu de pays y ont développé le compostage ; il est d'ailleurs quasi inexistant au Japon, en Suisse et en Norvège. Bien que le Royaume Uni, le Japon et la France produisent le plus de déchets organiques (40%, 34% et 32% respectivement), l'Allemagne et la France sont ceux qui pratiquent le plus de compostage (17 et 14% respectivement) ; le Royaume Uni étant le pays qui enfouit le plus de DS (64%) suivi des Etats Unis (54%). Il est important de relever qu'au Nord, l'incinération et surtout la mise en décharge semblent être le moyen de traitement des déchets le plus utilisé (Figure 4).

Figure 4 : Méthodes de traitement des déchets pratiquées dans les cinq plus grands pays au monde



Source : L'auteur

Contrairement aux pays du Sud qui enfouissent tout simplement leurs déchets, au Nord des dispositifs sont mis en place pour capter le biogaz et les lixiviats issus de l'enfouissement. Pour certains auteurs comme Moldes & Cendon (2007), Min et al., (2004), l'incinération par contre est le moyen de gestion des déchets le plus efficace.

Mais en Afrique, le pourcentage élevé en matière organique riche en eau dans les DS rendrait l'incinération inefficace. Cette méthode de traitement des déchets serait en effet plus consommatrice que productrice d'énergie (Agdag, 2008 ; Achankeng, 2003). D'ailleurs, les échecs de cette pratique au Nigeria et en Tanzanie montrent que l'incinération n'est pas soutenable en Afrique (UNEP-IETC, 1996). Néanmoins au Cameroun, les déchets d'hôpitaux sont incinérés à petite échelle. Mais il reste que, bien que ne respectant pas très souvent les conditions sanitaires, les déchets collectés au Sud sont en grande partie mis en décharge sans aucun autre moyen de traitement (Mosler et al., 2006).

Dans son cours portant sur la gestion durable des déchets en Juin 2009 à « l'Université de tous les Savoirs », le Professeur Alain Navarro de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon en France (INSA) disait qu'il existe globalement trois stratégies de traitement des déchets : soit l'on interdit la production d'un produit jugé dangereux pour l'environnement comme ce fut le cas pour l'amiante en France, soit l'on optimise et innove dans les procédés de traitement des déchets, soit l'on développe les filières de valorisation ou d'élimination des déchets.

Mais il faut souligner qu'en ce qui concerne les DS non dangereux, vu qu'il est difficile d'en interdire la production, généralement les Etats mettent en place des mécanismes qui permettent de réduire la production des déchets à la source. Il s'agit notamment des outils tels que la redevance incitative et une taxe payée en amont par les producteurs sur la qualité des déchets de leurs produits. Nous présenterons quelques exemples concrets de la mise en place de ce mécanisme de taxation en I.1.2.b₁.

Le tableau 9 présente plus en détail les filières courantes de traitement des DS que sont :

- les filières de valorisation qui permettent d'exploiter le potentiel « matière » ou « énergétique » des déchets
- et les filières d'élimination ou de dépollution.

Tableau 9 : Les filières de traitement des déchets

Objectifs	Filière de traitement	N°
Valorisation énergétique	Combustion avec valorisation de la chaleur produite	1
	Élaboration de combustibles dérivés par des procédés mécaniques tels que le broyage, le tri, le séchage, ...	2
	Élaboration de combustibles dérivés par des procédés thermiques tels que la pyrolyse, la gazéification, ...	3
	Élaboration de combustibles dérivés par des procédés biologiques tels que la méthanisation et la fermentation alcoolique	4
Valorisation des matières premières	Matières premières organiques naturelles et de synthèse	5
	Matières premières minérales métalliques et non Métalliques	6
	Liants hydrauliques et matériaux de structure	7
Valorisation des matériaux	Verre et céramique	8
	Matières plastiques et caoutchouc	9
	Fibres cellulosiques de récupération	10
	Autres matériaux	11
Valorisation en agriculture	Élaboration d'amendements organiques	12
	Élaboration d'amendements minéraux	13
	Alimentation animale	14
Valorisation en technique de l'environnement	Épuration des effluents liquides et gazeux	15
	Conditionnement de déchets toxiques par d'autres déchets	16
Traitement de dépollution	Incinération et autres procédés thermiques	17
	Dépollution biologique	18
	Traitement physico-chimique et chimique : neutralisation, solidification, oxydation, etc.	19
	Stockage sur un site d'enfouissement technique	20

Source : Navarro (1992) repris par Ngnikam & Tanawa (2006)

La valorisation (n° 1 – 16 du tableau 9) ne saurait être considérée comme une stratégie optimale, mais plutôt comme faisant partie intégrante du traitement global. En ce qui concerne les DS, la valorisation ne concerne que la fraction « utile » du gisement, la fraction non valorisable reste donc à traiter. Ceci explique le fait que le traitement optimal des déchets par la valorisation complétée par le traitement, d'où la notion de gestion intégrée des DS. L'on peut donc exploiter soit le potentiel « énergétique » des déchets soit le potentiel « matière » des déchets. Alors que le potentiel « énergétique » s'apprécie à partir du caractère combustible des déchets (pouvoir calorifique en I.1.1.b₂) ou de son caractère fermentescible, le potentiel « matière » s'exploite aussi bien en agriculture que dans un souci de protection de l'environnement.

La dépollution (n° 17 – 20 du tableau 9) qui est la filière alternative de traitement des déchets désigne l'élimination des pollutions et des contaminations des milieux ambiants tels les sols, les nappes phréatiques, les sédiments ou les eaux de surface. L'objectif visé est de protéger la santé et de l'environnement. Les filières de dépollution ou d'élimination doivent permettre de rendre éco-compatible des composés chimiques issus des déchets avec le milieu naturel.

Selon que l'on soit au Nord ou au Sud, les filières de traitement varient. Très souvent selon la nature des déchets, quatre types de procédés et possibilités de traitement sont appliqués. L'on peut en effet décider de :

- enfouir les déchets : c'est le cas très souvent dans certains pays. Ce procédé à l'avantage de se débarrasser rapidement de tous les déchets en même temps, mais l'inconvénient d'engendrer d'autres coûts puisqu'il est source d'externalités négatives comme la production du biogaz et les lixiviats ;
- incinérer : l'avantage de l'incinération est de pouvoir récupérer de l'énergie, mais avec l'inconvénient de générer beaucoup de nuisances et d'être inefficace en tout point de vue lorsque le taux d'humidité des déchets est supérieur à 40% ;

- produire du méthane : la méthanisation permet de produire de l'électricité, le chauffage et la réfrigération, mais elle implique un tri poussé des déchets non triés pour la valorisation agronomique et coûte assez chère ;
- produire le compost : le compostage permet de mettre à la disposition des agriculteurs des amendements organiques qui améliorent les propriétés de leurs sols, mais ce procédé exige une maîtrise du procédé de tri et dégradation de la matière afin d'éviter les risques de contamination.

Du fait des taux très élevés d'humidité au Sud (40-75%), l'incinération ne saurait être un moyen de traitement privilégié des déchets. Les méthodes de traitement pertinentes restent donc la mise en décharge, la méthanisation et le compostage.

➤ La mise en décharge

La mise en décharge des déchets consiste à enfouir des déchets dans des casiers. Au Sud, les décharges sont très souvent informelles mais dans quelques grandes agglomérations (villes de plus de 50000 habitants), il existe des décharges dite « contrôlées », puisque généralement aménagées par les municipalités. Comme tout site de dépôt et de cumul de déchets, les décharges ont une durée de vie au-delà de laquelle, toute exploitation nuit à l'environnement. Le fonctionnement d'une décharge peut être assimilé à un réacteur bio-physico-chimique qui sous l'effet de l'eau, principal vecteur d'évolution de la décharge, donne lieu à des réactions et à des évolutions complexes qui aboutissent à la transformation chimique, physique et biologique des déchets. Bien qu'ayant l'avantage de se débarrasser des déchets à moindre coût « financiers », la mise en décharge induit des coûts « socio-environnementaux » très élevés. Elle doit donc être utilisée en dernier recours après tri et dans les cas où la méthanisation ou le compostage ne sont pas possibles.

Dans une décharge, les déchets comprimés ou compactés sont dans les premiers temps en condition d'aérobie (oxygénés) et les protéines, les hydrates de carbone et les graisses se transforment en acides aminés, en sucres et en acide gras par hydrolyse. Avec la formation d'acides débute la phase anaérobie (sans oxygène) et la

décomposition en acides gras à chaînes de carbone courtes par des bactéries libère du CO_2 et du H_2 . Ensuite, sous l'action de bactéries méthanogènes (responsables de la fermentation) se forment des mélanges gazeux inflammables, explosifs et nocifs, composés à environ 55% de méthane, 45% de CO_2 et en faibles quantités de H_2S , CO , N_2 et NH_4 .

Pour éviter la pollution de l'air, ces gaz à effet de serre pour la plupart doivent être évacués par des conduites de dégazement et peuvent, s'ils sont conduits vers une installation d'épuration de gaz de fumée, être utilisés comme *combustibles gazeux*. La formation de gaz dans les décharges fermées gêne les mesures de remise en culture des terrains (gaz toxiques pour les racines des plantes). Les lixiviats qui proviennent de la percolation de l'eau à travers les déchets mises en décharge s'infiltrent dans le sol et polluent les nappes d'eau souterraines puisque chargés de polluants organiques, minéraux et métalliques. Dans les décharges modernes, des dispositifs de traitement des lixiviats appelés « stations d'épuration » sont construits afin de détruire le pouvoir actif des lixiviats et les rejeter ensuite sans dommage potentiel dans la nature.

➤ La méthanisation

La méthanisation est le processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène. Cependant elle n'impacte pas sur le volume total d'azote, de potassium et de phosphore, et sur les métaux lourds. La matière organique dégradée se retrouve principalement (à plus de 90%) sous la forme de biogaz, le reste est utilisé pour la croissance et la maintenance des micro-organismes. Le biogaz étant un mélange de méthane¹⁵ (CH_4) combustible et de gaz carbonique (CO_2) inerte. La méthanisation joue un rôle important dans le cycle du carbone et pourrait contribuer aux modifications climatiques. La méthanisation avec valorisation du biogaz produit (production d'énergie thermique et/ou électrique par combustion du méthane) a toute sa place parmi l'ensemble des diverses solutions de production d'énergie

¹⁵ Le méthane est un gaz à effet de serre dont le potentiel de réchauffement est 21 fois supérieur à celui du gaz carbonique.

renouvelable en permettant d'atteindre deux objectifs complémentaires : produire de l'énergie tout en réduisant la charge polluante des déchets et des effluents organiques et également, produire un digestat stabilisé utilisable comme fertilisant ou amendement organique.

Dans une décharge par exemple, le pourcentage de récupération du biogaz, qui dépend des conditions physicochimiques de la décharge, peut varier de 50 à 70 % par rapport à la production théorique. La récupération de biogaz ayant un double dividende : réduction de la production de méthane et valorisation sous forme de combustible pour la production de chaleur ou d'électricité¹⁶. Le biogaz peut être caractérisé selon sa composition et sa valeur énergétique. Le biogaz final est plus riche en méthane (65 à 70 %) lorsque le produit est riche en azote (lisiers de porc, fientes de volailles), il ne contient par contre que 55 à 60 % de méthane lorsqu'il est issu de la fermentation du fumier de vache pailleux plus pauvre en azote. De même, en fonction de la qualité du substrat (le type de déchets ici), le biogaz peut contenir plus ou moins d'hydrogène sulfuré (H_2S). Les fientes de volailles en contiennent le plus (1%) suivi des lisiers de porc (0,7%) et des fumiers de bovin (0,3%).

Selon Brula et al., (1995), en dehors des principaux gaz que contiennent les déchets (Tableau 10), le biogaz contient de la poussière et beaucoup d'autres gaz dont le sulfure d'hydrogène (H_2S) responsable de la forte odeur des déchets.

¹⁶ $1m^3$ de méthane = 8570 kcal = 1,15 litre d'essence = 1,7 litre d'alcool à brûler = 1,3 kg de charbon = 0,94 m^3 de gaz naturel = 9,7 Kwh d'électricité = 1 litre de mazout.

Tableau 10 : Composition moyenne du biogaz par type de substrat

Gaz	Déchets végétaux (ordures ménagères)	Déchets animaux (déjections animales)
Méthane (CH ₄)	50 – 60 %	50 – 90 %
Gaz carbonique (CO ₂)	40 – 60%	10 – 40%
Monoxyde de carbone (CO)	-	0 – 0,1%
Dihydrogène (H ₂)	< 0,5 %	1 – 3 %
Diazote (N ₂)	-	0,5 – 2%
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	200 à 2 500 ppmv	0,1 – 0,5%

Source : Ngnikam & Tanawa (2006) ; ppmv=Partie par million en volume

La valeur énergétique du biogaz est liée à celle du méthane qu'il contient. Il s'agit en fait de la quantité de chaleur que peut dégager une combustion complète de masse ou de volume de biogaz : c'est le pouvoir calorifique, comme mentionné en I.1.1.b₂ de cette thèse. Puisque Heduit (1993) estime le PCI du méthane à 9,94 Kwh/Nm³, le PCI d'un biogaz qui contient 60% de méthane est de 6,65 Kwh/Nm³. Soulignons cependant que bien qu'existant dans de nombreux pays du Nord et expérimentée il y'a déjà deux décennies dans plusieurs pays du Sud comme le Cameroun, Mali ou encore le Burkina Faso, aucune unité industrielle de traitement des déchets par méthanisation n'a jusqu'ici fonctionnée en Afrique. En Chine et en Inde par contre la situation est totalement différente puisque selon Talpon (2008), actuellement la Chine compterait près de 22 millions de méthaniseurs individuels qui produisent quelque 8,5 milliards m³ de biogaz soit l'équivalent de 9,3 millions de Tep¹⁷.

Cependant jusqu'ici seules les expériences de méthanisation portant sur les résidus de récoltes et d'élevage ont été réalisées au Sud ; l'objectif étant de satisfaire aux besoins d'éclairage et de cuisson d'aliments des populations rurales dans les zones arides. Les raisons de l'échec de ces projets de méthanisation vont de la crise économique des années 1980, à l'absence de suivi technique et de maintenance des équipements, en

¹⁷ 1 Tep (tonne équivalent pétrole) = 42 GJ = 40 MBtu = 11 628 kWh = 1 000 m³ de gaz = 7,33 barils de pétrole

passant par la réticence des populations concernées qui n'étaient pas suffisamment organisés et informés sur la nouvelle technologie¹⁸.

➤ **Le compostage**

Le compostage est le moyen de traitement des DS le plus ancien et le plus utilisé au Sud. Le pourcentage élevé de la matière organique dans les déchets (plus de 50%) et la place majeure qu'occupe l'agriculture dans les économies du Sud en sont la principale motivation.

Le compostage peut se faire à petit échelle (compostage artisanale) avec des outils rudimentaires (pelles, brouettes, râdeaux, ...) mais avec une forte intensité de main d'œuvre. L'avantage du compostage artisanale est qu'il peut se faire à l'échelle du ménage ou d'un quartier et mis directement à la disposition des agriculteurs locaux à moindre coûts. Mais la limite de ce type de procédé est qu'il ne permet pas le traitement d'importantes quantités de déchets (maximum 20 tonnes par jour selon Gilet, (1985)). Le compostage peut aussi se faire à l'échelle semi-industrielle ou industrielle avec l'avantage de concerner toute la production des déchets à l'échelle de la ville, mais l'inconvénient de coûter chère (équipements) et d'utiliser moins de main d'œuvre. De plus le compostage industriel se fait généralement près des décharges, or les décharges sont très souvent éloignées des centres urbains, ce qui rend alourdit les couts de transport et donc de production du compost qui sera ensuite acheminé vers les exploitations agricoles urbaines et périurbaines. Le mode opératoire et les caractéristiques du compost produit seront évoqués au chapitre III de cette thèse.

Voyons à présent comment toutes ces méthodes de traitement des déchets s'insèrent dans les systèmes nationaux de gestion déchets à l'échelle mondiale.

¹⁸ Selon Ngnikam & Tanawa (2006), la désinformation au sujet du Biogaz est l'une des raisons majeures de l'échec des opérations de méthanisation en Afrique. Malgré l'importance du Biogaz dans les activités agropastorales, certains villageois estimaient que la lumière du Biogaz dégage un gaz nocif pour la santé de leurs enfants. Ce comportement n'est pas très surprenant ; d'ailleurs nous verrons notamment au Chapitre III de cette thèse que le processus d'adoption des nouvelles technologies par les agriculteurs n'est pas toujours évident.

b) Les systèmes mondiaux de gestion des déchets

Chaque pays ou chaque région devrait adapter son système de gestion des déchets au contexte local en fonction de sa richesse (disponibilité des équipements). Mais ce sont les habitudes individuelles et les mentalités des collectivités qui font le succès ou non des opérations.

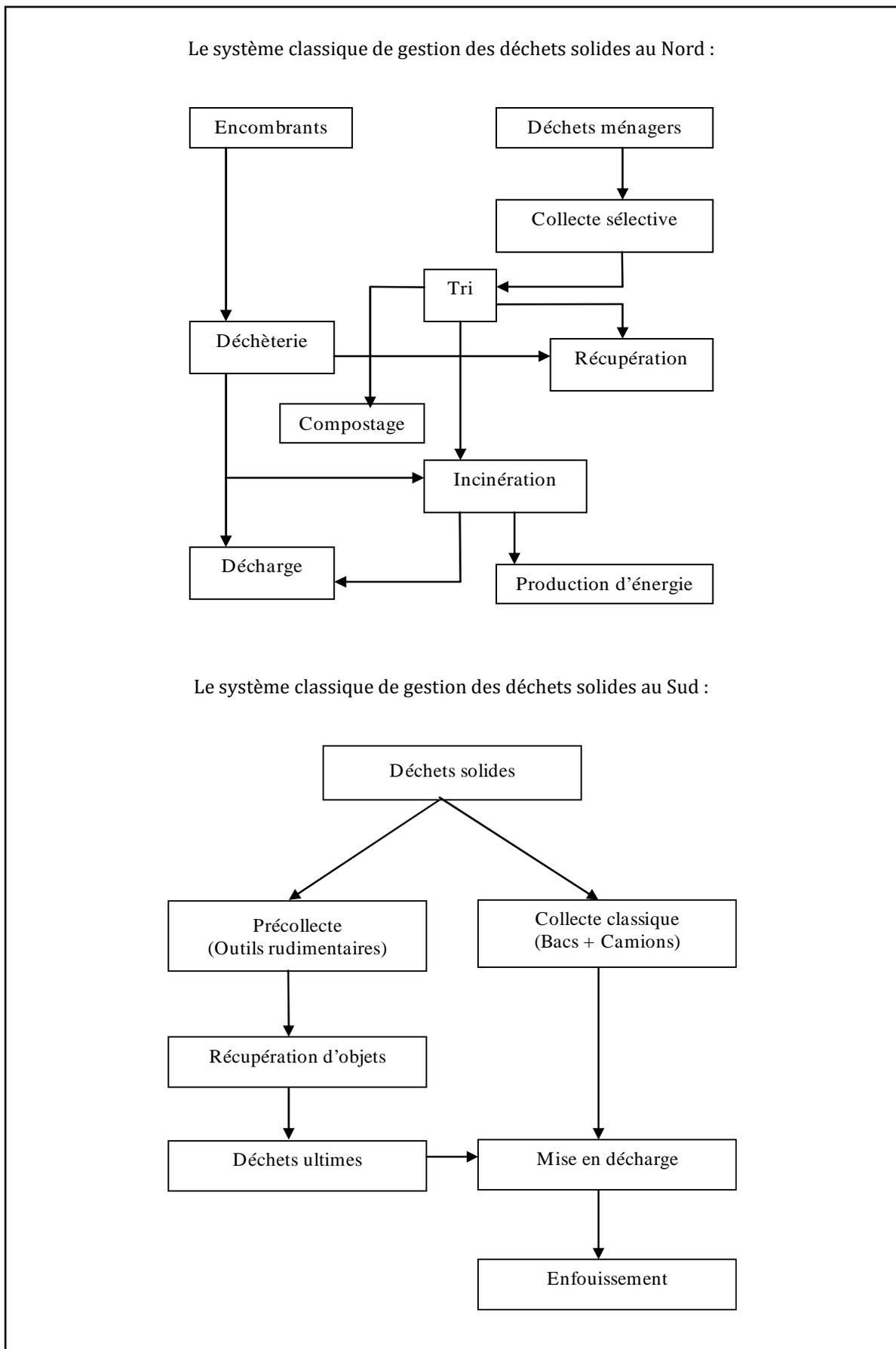
b₁) L'organisation des systèmes nationaux de gestion des déchets solides

Contrairement aux pays du Nord où les systèmes de gestion des déchets vont de la collecte sélective à l'incinération en passant par le recyclage et la valorisation énergétique (biogaz), la plupart des systèmes nationaux de gestion des déchets au Sud se limitent aux opérations informelles de précollecte, de collecte, de transport et de mise en décharge. Bien entendu, comme nous l'avons souligné précédemment, en principe la mise en décharge des déchets doit se faire lorsqu'il n'y a plus aucune autre alternative de traitement des déchets puisque selon Korhonen et al., (2004) de nos jours les déchets sont considérés comme ayant des ressources potentielles.

Dans les pays du Sud, la mise en décharge des déchets et l'incinération à ciel ouvert, sont les techniques les plus pratiquées ce qui est source de pollution et de perte économique (UNEP, 1994 ; Bartone et al., 1991). Les opérations de recyclage, de compostage et de valorisation énergétique au Sud sont quasi inexistantes alors que le système de gestion des déchets le plus performant (bien qu'onéreux) d'un point de vue environnemental est celui qui implique la récupération de l'énergie (production du biogaz) (Bovea et al., 2007). Selon Mbuligwe (2004), un grand projet de valorisation des DS en biogaz est en cours en Tanzanie. Alors que dans les pays du Nord la récupération et le recyclage des déchets font partie du système de gestion des déchets classique, au Sud ces activités sont plutôt l'apanage du secteur informel (Huysman & Baud, 1994 ; Furedy, 1994 ; Cointreau-Levine & De Kadt, 1991).

La figure 5 présente un schéma comparatif des systèmes de gestion des déchets solides au Nord et au Sud.

Figure 5 : Schéma comparatif des systèmes de gestion des déchets solides au Nord et au Sud



Pendant longtemps les déchets ont fait l'objet d'une gestion publique par les sociétés d'Etat. Mais depuis quelques années, l'on assiste à une tendance à la « privatisation » complète de la gestion déchets qui est maintenant assurée dans la plupart des pays par des entreprises privées. Malheureusement, selon Asomani-Boateng & Haight (1999), la non implication des acteurs locaux (ménages) dans la gestion des déchets est l'une des raisons importantes de l'échec des systèmes de gestion mis en place. Pour Rotich et al., (2006), Kassim & Ali (2006), Wilson et al., (2006), Read & Wilson (2003), Palczynski (2002) et Baud et al., (2001), l'efficacité de la gestion des déchets ne peut donc être assurée que si tous les acteurs impliqués dans la filière de gestion des déchets unissent leurs efforts. Van Beukering et al., (1999) et Shafiul & Mansoor (2004) pensent que pour améliorer la gestion des DS il faut encourager et inclure les Associations Non Gouvernementales (ANG) dans la gestion des déchets et favoriser le partenariat secteur privé secteur public dans la gestion des déchets en privatisant certaines tâches.

De plus en plus l'on constate que l'organisation de la gestion des DS est plus efficace lorsqu'elle implique aussi bien l'Etat, les « grosses » entreprises privées, mais aussi les petits opérateurs à l'échelle locale (les ANG) et la population. Bah (2009), conforte cette position dans la mesure où elle montre que l'on assiste de plus en plus en Afrique et notamment en Côte d'Ivoire, à un nouveau mode organisationnel de la gestion des DS qui débouche sur une gouvernance participative intégrant la municipalité, les entreprises de collecte agréées, les structures de précollecte et les ménages. La coexistence de plusieurs acteurs institutionnels dans la gestion des déchets est source d'inefficacité. Les villes africaines qui connaissent les taux de collecte les plus élevés (entre 60 et 70%) sont celles où la gestion des déchets est décentralisée et participative (existence de plusieurs opérateurs de collecte agissant à l'échelle des communes et des quartiers) comme c'est le cas à Accra au Ghana ou encore à Rabat au Maroc. Dans toutes les villes africaines on trouve des opérateurs privés, formels et surtout informels, qui interviennent ou pourraient intervenir à toutes les étapes de la gestion des DS.

Selon leur capacité technique et leur niveau d'équipement, ces opérateurs locaux peuvent être classés en 2 groupes :

- les entreprises assurant l'enlèvement, le transport ou le stockage des déchets ;
- les petites entreprises, associations et ONG assurant uniquement l'enlèvement et la précollecte au moyen du petit matériel tel que les brouettes, fourre-tout, pelles, etc.

Selon UNEP (1991), l'organisation du service de collecte des déchets au Sud ne permet pas toujours une gestion efficace des déchets contrairement au Nord où plus de 90% des ménages bénéficient du service de collecte des déchets (100% dans les zones urbaines). Une étude de l'Agence française du Développement conduite par Follea et al., (2001) montre que l'intervention d'autres opérateurs comme le service des travaux publics ou de l'armée, reste exceptionnelle. La participation du secteur public se situe majoritairement au niveau du transport des déchets et non de la collecte en porte à porte. La gestion directe et publique a été le mode le plus fréquent dans les villes du Sud. Les responsables locaux conservent ainsi le pouvoir de décision sur ces activités.

Depuis une dizaine d'années, les mentalités changent avec la décentralisation et la notion de rentabilité, faisant apparaître d'autres intervenants pour prendre en charge l'assainissement. Depuis lors, beaucoup de systèmes associent les autorités locales et le secteur privé. Le secteur public étant responsable de la gestion des DS, délègue généralement une partie de ses activités à une ou plusieurs entreprises privées en accordant une licence à toute entreprise participant à la gestion des déchets (Cointreau-Levine, 1996). En ce qui concerne les exemples de contrat dans la gestion des déchets au Sud, les contrats entre le secteur public et les grandes entreprises, sont différents de ceux avec les petites entreprises. Les petites entreprises s'occupent uniquement de l'enlèvement et de la centralisation des déchets alors que les grandes entreprises assurent en plus le transport et le traitement. L'entrepreneur privé construit les ouvrages et les exploite à ses frais.

A Manila aux Philippines par exemple, la municipalité a accepté un contrat avec un groupe étranger qui se préoccupe plus de la réalisation de bénéfices que du bon déroulement de la collecte (Baud et al., 2001). A Chennai en Inde, la collecte et le nettoyage des rues, délégués à un grand groupe international français, doivent leurs succès à la précision et aux termes du contrat passé avec la municipalité (Zurbrugg et al., 2003). Les entreprises, de taille modeste, sont souvent des sociétés locales, dont le contrat avec la municipalité assure l'existence d'un marché potentiel suffisant à long terme. Les investissements sont réalisés par la municipalité conservant l'autorité et le pouvoir de décision, seule l'exploitation est confiée à l'entreprise. Ce système favorise le développement des petites entreprises locales. Par exemple, la ville de Lima au Pérou est divisée en 43 districts, où des entreprises privées, de tailles variables, sont en contrat avec les services de propreté des districts (Baud et al., 2001).

Dans certaines villes du Sud l'on assiste à une gestion communautaire des déchets. Les différentes associations de quartiers et leurs représentants forment avec les ANG la partie communautaire de la gestion des DS. Les partenariats entre le secteur privé ou public et le secteur communautaire sont de plus en plus fréquents en raison de l'augmentation des déchets. La comparaison des prestations fournies par les différents opérateurs privés, publics, et communautaires est difficile à établir de manière fiable. Les modes de collecte, de traitement et les moyens disponibles sont rarement identiques pour un même type d'opérateur. Les ANG organisent des programmes de formation et de sensibilisation de la population ainsi que des actions de collecte ponctuelle.

Apprécions à présent les systèmes de gestion des déchets solides dans quelques capitales africaines (Follea et al., 2001) :

➤ **Accra au Ghana :**

A Accra au Ghana, la gestion des déchets est assurée par un consortium, la City Country Waste Ltd (CCWL) associant des intérêts privés locaux et extérieurs avec l'appui des petites et moyennes entreprises (PME) sous-traitantes de la CCWL. Près de 80% des déchets produits sur le territoire de l'«Accra Metropolitan Assembly»

(AMA) sont collectés gratuitement, au moyen de conteneurs publics déposés dans les quartiers : 14% par les conteneurs de AMA et 60% par ceux des 11 PME prestataires de service intervenant sur des zones prédéfinies attribuées par contrat, et rémunérées par AMA au poids livré en décharge. La collecte est effectuée porte à porte, par bennes simples, par conteneurs privatifs et par bennes tasseuses.

➤ **Rabat au Maroc :**

Quant à Rabat au Maroc, chaque commune gère elle-même ses déchets. Près de 70% des déchets ménagers sont collectés dans l'agglomération. 9% sont apportées par l'entreprise concessionnaire de la collecte sur la commune d'Agdal et 52% sont collectées en régie par les 22 autres communes. La dépense collective globale, de l'ordre de 6.7 millions d'euros en 1997 est financée en quasi-totalité par les communes. La gestion de la décharge principale (Akkrach) est concédée à l'entreprise de collecte d'Agdal.

➤ **Ouagadougou au Burkina Faso :**

Environ 36% des déchets produits à Ouagadougou sont enlevés par des opérateurs formels : Service Technique Municipal, PME et associations. Le rôle des associations et des PME dans la collecte est marginal (de 3% à 8%). La majeure partie des enlèvements des déchets sont gratuits (apports des producteurs aux bacs). L'enlèvement payant par ces opérateurs (porte à porte auprès d'abonnés) concerne 16% des déchets produits. Si l'on exclut le brûlage et l'enfouissement sur place par les producteurs (estimés à 6% de la production totale), il apparaît que 58% des déchets sont enlevés de manière informelle soit par les producteurs eux mêmes, soit par les charretiers individuels rémunérés par les producteurs de déchets.

➤ **Dakar au Sénégal :**

L'ensemble des activités, depuis la précollecte jusqu'au stockage, sont privatisées et organisées en une seule filière, entièrement financée par l'Etat. Environ 80% des déchets de l'agglomération sont mis en décharge par une douzaine de PME. La précollecte et le nettoyage sont assurés par une centaine d'association. La maîtrise

d'ouvrage (déléguée) du service de collecte des déchets à Dakar est aujourd'hui assurée par l'Agence pour la Propreté de Dakar (APRODAK), qui dépend du plus haut niveau du Gouvernement. La plus grande partie de la collecte est effectuée porte à porte et le reste par bacs déposés dans les quartiers. Les PME sont payées par l'Etat au poids de déchets livrés en décharge, comme à Accra, selon des tarifs par zone.

➤ **Conakry en Guinée :**

Conakry est une des rares villes dans laquelle le paiement direct par les usagers du service de collecte de porte à porte a été généralisé. Une trentaine de PME collectent les déchets de leurs abonnés dans les zones qui leur sont concédées. Elles enlèvent ainsi plus de la moitié des déchets de la ville (56%). Les 4 entreprises équipées de camions déposent leurs déchets (14%) à la décharge de la Minière, située au centre de l'agglomération. Les autres déposent les 42% restant à l'aide d'environ 300 charrettes à traction humaine, dans des bacs publics évacués par le Service Public de Transfert des Déchets (SPTD). Le SPTD assure également la mise en décharge des apports directs des ménages aux bacs (12% de la production totale), et poursuit parallèlement une activité marginale de collecte de porte à porte rémunérée (3%). L'organisation actuelle assure donc la mise en décharge d'environ 71% des déchets produits à Conakry, dont 59% sont enlevés contre paiement direct à l'entreprise de collecte.

Quant au Nord, l'on y assiste de plus en plus à la mise en place des mécanismes et outils pour réduire la production des déchets à la source.

Selon l'ADEME (2005), dans une optique de réduction des déchets à la source¹⁹, deux instruments sont à envisager :

- la redevance incitative ;

¹⁹ Pour minimiser la production des déchets on peut appliquer la stratégie des 4 "R" : Réduire la consommation et les déchets, par exemple en choisissant des produits en vrac, peu emballés ; Réparer les objets cassés, et acheter des objets démontables et réparables ; Réutiliser les objets aussi longtemps que possible et éviter les produits jetables à utilisation unique ; Recycler lorsque on ne peut plus réparer ou réutiliser un objet et privilégier l'achat de produits recyclables (papier, verre). Source : www.ekopedia.org

- et une taxe amont payée par les producteurs sur le « contenu déchets » de leurs produits.

La taxe amont a le mérite d'être différenciée par matériaux, et donc de pouvoir sanctionner de manière plus juste le dommage environnemental qui sera causé par ce déchet. De plus, elle n'incite pas les consommateurs à l'élimination inappropriée. Son principal défaut est cependant de n'impliquer les consommateurs que par le biais de leurs choix d'achats.

Selon Glachant (2004), des travaux de modélisation récents indiquent que la recherche de l'optimum social dans la gestion des déchets conduit à une combinaison de ces deux instruments (redevance incitative et taxe sur la pollution), le taux optimal de la taxe amont étant décroissant avec la proportion de communes ayant opté pour la redevance incitative, et que la recette de cette taxe amont doit être reversée aux communes sous peine de distorsion de leurs choix tarifaires.

Présentons à présent quelques expériences européennes en matière de redevance incitative :

En Belgique, la redevance incitative est très largement diffusée en Wallonie, sous des formes variées, avec en général une part fixe et une part variable. Fabienne Lebizay, attachée à l'office wallon des déchets en Belgique affirmait :

« En règle générale, nous constatons une nette diminution de la quantité des ordures ménagères brutes collectées dans les communes qui sont soit passées d'un système non payant à un système de sacs payants, soit d'un système de sacs payants à un système de conteneurs ou de bacs. Parallèlement, les collectes sélectives de ces communes augmentent mais dans une moindre proportion! »

Certaines communes prennent des mesures spécifiques d'accompagnement visant à assurer une meilleure transition vers les nouveaux modes de tarification et une incitation supplémentaire par la récompense de « bons » comportements, avec

notamment des taxes sur les dépôts sauvages, des redevances pour le ramassage des encombrants, des règlements octroyant des sacs poubelle gratuits ou des primes pour la fréquentation des parcs à conteneur. Les communes sont incitées à la réduction des quantités de déchets produits par des prélèvements sanctions si ces quantités dépassent un seuil²⁰. Une grande majorité des communes utilise des sacs payants.

En Irlande, depuis janvier 2005 une loi rend obligatoire l'application d'une tarification des déchets ménagers selon le principe « *Pay as you throw* ». Une action pilote a été menée à West Cork, avec des fortes baisses des déchets récoltés et peu d'élimination inappropriée relevée (essentiellement des déchets jetés dans les bacs des voisins); un sondage a bien évidemment identifié 72 % d'avis favorables pour le système « *Pay as you throw* » qui est en fait est un impôt, une taxe.

En Allemagne, la redevance est largement diffusée et est le plus souvent incitative. En général, les communes optent pour une part fixe et une part variable fondée sur un critère représentant la notion de service rendu. Ces critères varient entre les communes et sont en général le volume du conteneur, mais peuvent aussi être la fréquence de collecte, ou des critères moins pertinents comme un tarif par immeuble ou par taille de ménage. Il est à noter que le coût du litre est souvent dégressif. Ce mode de tarification a l'avantage de moins pénaliser les familles nombreuses et va donc dans le sens de la justice sociale, contrairement à la redevance incitative traditionnelle. Par contre, l'aspect incitatif de la redevance est moindre. Les communes sont autorisées à lever des taxes ou des redevances pour couvrir leurs coûts de gestion des déchets. La loi sur la prévention et la valorisation des déchets de 1986 introduit les notions de gestion intégrée, de causalité « pollueur – payeur » et de collaboration entre les divers acteurs.

La France quant à elle ne mène pas vraiment de politique de prévention, elle privilégie la valorisation des déchets. En France, la gestion et l'élimination des déchets ménagers et assimilés sont prises en charge par les communes. Le financement provient des

²⁰ Décret du 25 juillet 1991 modifié par le décret du 16 juillet 1998

impôts locaux payés par les habitants. Le principe du « pollueur payeur » est encore peu appliqué : on peut citer l'exemple des prospectus publicitaires dans les boîtes aux lettres. En ce qui concerne les emballages, les industriels contribuent financièrement à la prise en charge des emballages usagés (le « Point vert ») par le biais d'un organisme qui favorise la collecte et la valorisation des emballages : Éco-Emballages ou Adelphe pour les déchets ménagers, Cyclamed pour les médicaments. Les industriels peuvent aussi prendre en charge directement les emballages usagés, mais cette solution est peu développée. Enfin, ils peuvent aussi proposer leurs déchets via une Bourse des déchets aux autres industriels pour lesquels ces déchets deviennent des matières premières. Lorsque l'industriel est forcé de reprendre les déchets produits, le coût est répercuté dans le prix d'achat. C'est par exemple le cas pour les pneus : le prix d'achat comprend une contribution au traitement du pneu usagé.

La répartition géographique de la redevance incitative est pour le moins inégale en Europe, avec des pays beaucoup plus avancés que d'autres. Les peuples germaniques (Allemagne, Autriche, Suisse alémanique) sont beaucoup plus avancés que les pays latins (la diffusion est moindre en Suisse romande, anecdotique en France, l'Italie est très en retard, aucun cas n'a été relevé en Espagne...).

Le pays qui fait exception dans la carte de l'Europe est incontestablement le Danemark, pays scandinave où la redevance incitative est très peu implantée, malgré des expériences pilotes aux résultats tantôt très encourageants, tantôt catastrophiques. Sans entrer dans une étude approfondie de l'influence des cultures locales sur la diffusion et le succès de la redevance incitative, on peut supposer que des caractéristiques favorables sont la discipline et la sensibilité aux questions environnementales. Mais seulement, la mise en place de tous ces mécanismes incitatifs qui visent à mieux gérer les déchets ne peut que se faire qu'avec l'appui de plusieurs acteurs aussi bien locaux qu'institutionnels.

b₂) Les acteurs de la gestion des déchets solides

Les aspects généraux de la gestion des déchets incombent généralement au ministère en charge de l'environnement ou de l'écologie. Mais en Afrique beaucoup d'autres

acteurs sont impliqués dans la filière de gestion des déchets. Il s'agit : des acteurs institutionnels (Ministères, Communes, Institutions de recherche), des acteurs non gouvernementaux (ONG et associations), des usagers (les populations), des sociétés privées et des bailleurs de fonds internationaux (FMI et Banque Mondiale) dont l'influence est déterminante.

➤ **Les acteurs institutionnels**

Selon le Partenariat pour le Développement Municipal (PDM, 2003), malgré l'absence d'une stratégie nationale de gestion des déchets, en dehors du ministère en charge de l'environnement ou de l'écologie, plusieurs autres départements ministériels interviennent dans la gestion des déchets en Afrique.

Ce sont en général :

- le ministère en charge de l'Intérieur et de la décentralisation, le tuteur des municipalités ;
- le ministère en charge de l'Agriculture, responsable du contrôle des engrais ;
- les ministères en charge des Mines, de l'eau et de l'énergie, responsables des problèmes de nuisances et rejets industriels, notamment du contrôle de la pollution, des déchets industriels et de l'assainissement ;
- le Ministère en charge de la Santé Publique, impliqué dans les aspects sanitaires des déchets ;
- le ministère en charge du développement urbain ou de l'Habitat, responsables de la planification urbaine, et de la gestion de l'hygiène et salubrité, de l'environnement et de l'esthétique urbain ;
- le ministère des finances, si l'Etat subventionne la gestion des DS.

Les collectivités locales (communes) sont bien évidemment très impliquées également dans la gestion des déchets. En Afrique, leurs responsabilités et leurs compétences en matière de gestion des déchets ont été renforcées en faveur du processus de décentralisation initié dans les années 1990.

➤ **Les acteurs non gouvernementaux**

En Afrique, les avancées démocratiques ont favorisées l'émergence des associations et des ONG locales. Ces ANG participent très souvent dans l'offre des services publics urbains de proximité tels que l'enlèvement des déchets dans certains quartiers « négligés » par l'Etat. Ces ANG, généralement constituées de 20 à 50 jeunes membres, fondent leurs actions sur les liens sociaux qui existent entre les populations, ce qui renforce leurs capacités à mobiliser et à sensibiliser les populations. Bien que dotées de structures organisationnelles précaires, elles peuvent offrir un niveau de service appréciable à l'échelle de quartier. Elles mobilisent la participation directe des populations tout en leur permettant de participer directement aux décisions concernant les projets locaux comme la précollecte et le traitement des déchets. Au Sud, le secteur informel, généralement les ANG, joue un déterminant dans les économies. Beaucoup d'auteurs soulignent le rôle important qu'il joue dans l'expansion de l'économie des pays du Sud (Medina, 2003 ; Garce et al., 2002 ; De Kock, 1987). A travers le secteur informel, des quantités considérables de déchets matériels (fer, plastique, papiers) sont récupérés tous les jours dans les cours d'eau comme à Gaborone (Yhdego, 1991), Calcutta (Furedy, 1984) ou Mexico City (Medina, 2003). Malheureusement le rôle que jouent les acteurs du secteur informel n'est pas considéré par les autorités publiques (Van Eerd, 1995 ; Venkateswaran, 1994 ; Cointreau-Levine & De Kadt, 1991) ; alors que selon Gidman (1995), ces acteurs clé du secteur informel aident très souvent les municipalités dans la gestion des déchets.

➤ **Les populations locales**

La non implication des populations locales, producteurs par ailleurs des déchets, est l'une des causes majeurs de l'échec des politiques de gestion des déchets au Sud. Alors que ceux-ci devraient être la cible des opérations de sensibilisation puisque ces les

femmes et les enfants qui participent majoritairement au transport des déchets de leur domicile vers une décharge ou un bac à ordures (Achankeng, 2003 ; Yang et al., 2001). Au Maroc par exemple, 50% de femmes et 20% d'enfants se chargent du transport des déchets (De la Laurencie, 2002).

➤ **Les sociétés privées**

La mode dans de nombreux pays consiste à confier la gestion des déchets aux sociétés privées qui signent alors un contrat de marché public pour assurer le nettoyage de certaines villes. Ces sociétés sont généralement payées en fonction de leurs prestations, le tonnage étant l'indicateur de paiement. Mais des moyens d'incitation, comme nous le verrons dans la deuxième section de ce chapitre, doivent être mis en place pour éviter des distorsions informationnelles.

➤ **Les bailleurs de fond**

Les bailleurs, notamment la Banque Mondiale (BM) et le Fond Monétaire International (FMI) encouragent les gouvernements africains à accélérer le processus de privatisation et de décentralisation. Bien que la privatisation concerne moins bien le service de gestion des déchets que celui de l'approvisionnement en eau potable par exemple, les services publics de proximité devraient subir des mutations profondes dans les années futures.

1.2. Les fondements théoriques d'un service public de gestion des déchets

Depuis quelques décennies, l'intervention de nouveaux acteurs dans la fourniture des services publics jusque là restés dans le domaine régalien de l'Etat, a favorisé l'émergence d'un nouveau type de relation entre l'Etat et les opérateurs du secteur privé ; c'est ce que l'on a appelé le Partenariat Public – Privé (les 3P)²¹.

²¹ Le partenariat public privé est considéré comme un contrat ou une convention de délégation de service public (DSP) dont les quatre éléments constitutifs sont : la nature de service public de l'activité déléguée, l'existence d'un lien de délégation, le critère de la rémunération qui est fondamental et enfin le caractère

De plus les déchets sont une source de production d'externalités environnementales, à ce titre l'intervention publique se justifie à travers la réglementation. Il s'agit dans cette deuxième section du chapitre I, de présenter les principales approches théoriques dans lesquelles s'insèrent les partenariats public-privé d'une part et d'autre part de montrer comment l'Etat peut parvenir à réduire les nuisances dues aux déchets solides à travers la réglementation.

délégable du service public. La DSP des déchets peut se présenter sous quatre formes : la concession, l'affermage, la régie intéressée et la gérance.

La concession : c'est une convention par laquelle une collectivité publique charge une entreprise privée d'assurer un service public sous le contrôle de la collectivité qui a un droit de regard sur la gestion du service. Il devra financer à ses risques et périls la création du réseau qui n'existe pas encore et en assurer la gestion. L'entreprise perçoit une redevance ou se rémunère par un prix payé par les usagers du service, et bénéficie en général d'un monopole. La durée du contrat doit permettre à l'entreprise de compenser ses investissements. De ce fait, les contrats de concession sont relativement longs, de 12 à 24 ans en général d'où la nécessité d'avoir des compétences pour le suivi des concessions.

L'affermage : c'est un contrat par lequel la collectivité publique confie à une personne morale tierce l'exécution d'un service public, lui fournit les installations nécessaires à cette charge et perçoit en contrepartie une redevance fixe. La différence avec la concession est perceptible à deux égards. La rémunération du concessionnaire sera égale à la différence entre les montants des redevances perçues sur les usagers et celui de la redevance fixe versée à la collectivité publique. Ensuite le concessionnaire reçoit du contractant les installations nécessaires à l'exploitation du service. Donc si un réseau de collecte existe déjà, seul l'affermage est possible. Mais si le réseau est à construire, la collectivité a le choix d'une concession ou de la maîtrise d'ouvrage d'un réseau qu'elle mettra en affermage.

La régie intéressée : c'est un contrat par lequel le contractant s'engage à gérer un service public contre une rémunération fonction d'une formule d'intéressement aux résultats. Le régisseur exploite les ouvrages construits par la personne publique mais il n'en assume pas les risques. La régie intéressée se distingue de l'affermage et de la concession par la manière dont le régisseur est rémunéré. Le statut de la RATP (régime autonome des transports parisiens) est une illustration de la technique de la régie intéressée.

Le contrat de gérance : comme l'affermage, la gérance est un contrat qui ne concerne que l'exploitation du service. Cependant, le gérant peut conserver une bonne partie des risques de l'exploitation, notamment quand le forfait est simplement proportionnel aux factures des abonnés. Le forfait peut être également calculé sur la base du volume produit ou du chiffre d'affaire réalisé.

I.2.1. L'inefficacité de l'Etat dans la fourniture des services publics

Le partenariat public privé (3P) est né de l'échec de l'Etat dans la fourniture des services publics. La plupart des théories relatives aux 3P mettent l'accent sur l'inefficacité de l'Etat dans la production et la gestion des services publics et sur la coordination.

a) Les approches théoriques directement relatives aux 3P

Quelques unes des théories relatives directement aux 3P sont : la théorie de l'efficience-x, la théorie des choix publics, la théorie du New Public Management et la théorie des marchés contestables.

a₁) La théorie de l'inefficience-x et la théorie des choix publics

➤ La théorie de l'efficience-x :

La théorie de l'efficience-x a été développée par Leibenstein (1966) pour prendre en compte le fait que certaines inefficacités organisationnelles ne résultent pas d'un défaut d'allocation des facteurs de production. Selon la théorie de l'efficience-x²², les sources d'inefficience dans les organisations publiques se trouvent justifiées par les comportements inadaptés de l'État et de ses agents, d'une part, et par la structure organisationnelle fortement bureaucratisée de celles-ci, d'autre part. Les réflexions primaires de Leibenstein sur la théorie de l'efficience-x portaient sur l'analyse du sous-développement et n'établissaient pas de liens formels entre l'inefficience-x et les organisations publiques. C'est en 1978 que Leibenstein essaie d'expliquer les facteurs qui seraient à l'origine de l'inefficience dans les organisations publiques et qui, par conséquent, pouvaient implicitement justifier certaines politiques de partenariats publics-privés. L'absence de pression externe constitue le premier facteur d'inefficience dans les organisations publiques. Leibenstein (1978) estime que ces organisations sont souvent en situation de monopole, ce qui n'est pas de nature à les

²² L'efficience-x représente les facteurs non mesurables ou non identifiables, qui sont à l'origine des performances de l'organisation)

inciter à rechercher la compétitivité, l'efficacité et l'efficace comme dans le secteur privé. En fait, les organisations publiques sont « *immortelles* » tant que la politique financière et monétaire de l'Etat est suffisamment expansive pour limiter la probabilité de faillite. Dans un tel contexte, les agents développent une aversion pour le risque, une faible propension à l'innovation, et enfin, une mentalité proche de celle observée dans les bureaux non marchands.

Par ailleurs, la multiplicité des objectifs assignés aux entreprises publiques constitue selon Leibenstein (1978) un facteur explicatif de leur inefficace. En dépit du fait qu'il ne remet pas en cause le bien fondé de ces missions (économique, sociale et politique), il fait remarquer cependant que leur caractère souvent conflictuel tend à exacerber les difficultés d'évaluation des gestionnaires, et entraîne l'arbitraire de la valse des dirigeants par les ministères de tutelle. C'est pourquoi, les théoriciens de l'efficace-x soutiennent que les 3P pourraient contribuer à réduire de manière substantielle les sources d'inefficace-x dans les organisations publiques, permettant ainsi à celles-ci de renouer avec la performance et la compétitivité. Selon les postulats des théoriciens de l'efficace-x, les 3P devraient donc permettre de soustraire les organisations publiques des mauvaises influences politiques et par conséquent, de simplifier et de clarifier leurs fonctions-objectifs.

➤ **La théorie des choix publics :**

La théorie des choix publics qui est née de l'Ecole de Virginie, apparaît comme l'une des théories qui a le plus aidé à faire avancer les idées libertaires et néo-libérales sur le plan économique durant ces décennies. Buchanan & Tollison (1972) sont les précurseurs de cette théorie qui postule que l'inefficace des entreprises publiques est due notamment aux groupes d'intérêts et aux jeux politiques qui caractérisent les administrations publiques. L'école du « Public Choice » s'appuie sur le fait que les personnes qui sont supposées prendre les décisions publiques, notamment les administrateurs des entreprises publiques, les politiciens et les bureaucrates, le font non pas en privilégiant les intérêts de la société dans son ensemble, mais plutôt selon leurs propres intérêts, comme c'est le cas pour tout autre individu dans d'autres contextes de la vie privée (Hodge, 2000). En fait, la théorie du « Public Choice » se veut, dans son essence, une

espèce de critique du « New Welfare Economics » où l'État en réalité, n'entretient que le mythe de l'engagement et du dévouement envers l'intérêt général et la chose publique. Ainsi, le courant du « Public Choice » oppose l'État au marché, le marché étant considéré comme le mécanisme d'allocation efficiente par excellence des ressources. La préoccupation des théoriciens s'oriente donc vers la manière de rendre minimale l'intervention de l'État dans l'économie.

L'objectif avoué des théoriciens de l'École du « Public Choice » est « ... un effort de formulation d'une théorie générale de l'économie publique qui permette de faire dans le domaine des choix collectifs ce qui a été fait depuis longtemps au niveau de la micro-économie des marchés. Il s'agit en fait de compléter la théorie de la production et de l'échange des biens et des services marchands par une théorie équivalente et, autant que possible, compatible avec le fonctionnement des marchés politiques » (Buchanan & Tollison, 1972). En définitive, l'intervention de l'État, par la réglementation ou par la création d'entreprises publiques, n'est guère bien perçue par ce courant pour qui la privatisation des entreprises publiques ne serait qu'un juste retour des choses, un juste retour au marché et à l'efficacité. La théorie des droits de propriété et celle des choix publics constituent deux approches complémentaires permettant d'analyser les écarts de performance entre l'entreprise publique et l'entreprise privée.

a₂) La théorie du New Public Management et la théorie des marchés contestables

➤ La théorie du New Public Management :

Né en Grande-Bretagne au début des années 80 sous le règne de Margaret Thatcher et dans bien d'autres pays de tradition anglo-saxonne, le « Nouveau Management Public » est un mode de gestion qui vise implicitement à introduire dans l'administration publique les valeurs et modes de fonctionnement de la firme privée. Il est né de l'urgence et la nécessité de réduire les dépenses publiques, de compenser l'inefficacité et le déficit managérial caractérisant les entreprises publiques. Par son orientation et ses caractéristiques intrinsèques, le « New Public Management » vise essentiellement la performance, l'efficacité, l'atteinte des objectifs, la transparence et l'imputabilité dans

la gestion des organisations publiques. Ce courant exprime la volonté d'axer la gestion sur les résultats, l'introduction d'éléments de compétition, de performance, de réduction des coûts et de qualités (Bernrath, 1998). Moderniser l'Etat et les services publics, améliorer la gestion des organisations ou encore instaurer des contrats de performance, tels sont les objectifs du « New Public Management ».

Le « New Public Management » apparaît comme l'une des réformes ayant précédé et précipité de façon implicite les 3P. Elle va de l'idée que la modernisation de l'administration publique, l'amélioration de la gestion des organisations publiques jusqu'à la réforme de l'Etat sont des processus qu'il faut engager afin de redorer le blason des services publics et, surtout, de leur permettre de renouer avec l'efficacité. Si le « New Public Management » peut être perçu comme une sorte de réponse à la crise des finances publiques, il prône également une logique d'efficacité et d'efficience des organisations publiques qui passe par la décentralisation des responsabilités et des ressources et propose un cadre normatif orientant les activités de l'ensemble des entreprises publiques vers les résultats plutôt que les procédures. S'il est vrai que le « New Public Management », dans sa nature intrinsèque, préconise la décentralisation, l'habilitation des administrateurs publics à travers l'amélioration de leurs marges de manœuvre ainsi que l'introduction de règles d'imputabilité qui se traduisent par des obligations de résultats pour ceux-ci, il faut préciser que cette nouvelle approche, dans ses principes, a grandement favorisé l'émergence des 3P qui posent l'efficacité comme dogme dans la gestion des affaires publiques.

➤ **La théorie des marchés contestables :**

Formulée pour la première fois par Baumol et al., (1986), la théorie des marchés contestables est née aux Etats-Unis dans un contexte de renforcement du libéralisme économique et du déclin de l'Etat providence. La théorie des marchés contestables postule que la concurrence, lorsqu'elle n'est pas confrontée à des contraintes de barrières à l'entrée et à la sortie, garantit l'efficacité des entreprises présentes sur le marché. Les auteurs définissent le marché contestable comme étant un marché dans lequel toute entreprise nouvelle peut à tout moment, venir s'installer. Selon cette théorie, afin d'arriver à une organisation économique plus optimale du secteur public, il

serait judicieux que l'État favorise une concurrence. En effet, la concurrence ferait en sorte que les entreprises qui sont en place puissent être contestées par des concurrents potentiels disposés à les supplanter (meilleur produit ou service au coût le moins élevé possible, innovation, etc.). En effet, cette théorie postule que lorsque des concurrents potentiels d'une entreprise s'aperçoivent que les coûts de production de ce dernier sont supérieurs au coût minimal du marché, ceux-ci entreront spontanément sur le marché et élimineront l'entreprise en question en produisant de façon plus efficiente.

A l'instar des approches précédentes, la théorie des marchés contestables critique les pratiques du secteur public qu'elle considère moins efficiente que les firmes soumises à la menace des concurrents. Par ailleurs, l'existence d'entreprises intégrées en situation de monopole, surtout lorsqu'elles sont publiques, est fortement remise en question et il ressort que l'Etat devra opérer une externalisation de ses interventions vers des opérateurs privés. Cette opération s'est traduite au cours de ces dernières années par des mouvements de déréglementation, de transferts de gestion, de contrats de concession, de sous-traitance, bref par des 3P.

b) Les théories de la coordination

Les théories des coûts de transaction et de l'agence relèvent les difficultés de coordination au sein des organisations publiques pour promouvoir les 3P.

b₁) La théorie des coûts de transaction

Coase (1937) est l'un des précurseurs de la théorie des coûts de transaction. Il est parti d'un constat fait quelques années plus tôt par Roberston (1922) selon lequel, la vie économique cache des « îlots de pouvoir conscients dans un océan de coopération inconsciente ». En effet, alors que dans l'arène économique, la coopération entre agents économiques se fait de façon inconsciente via le système de prix, la coordination à l'intérieur de la firme est faite de manière plutôt consciente par l'autorité de l'entrepreneur. L'essence de la coordination par la firme se trouve dans la hiérarchie et la suppression du système de prix. Selon Coase (1937), pour chaque transaction, le recours au marché entraîne des coûts liés à la découverte du prix adéquat, à la

négociation et à la conclusion de contrats séparés. Par conséquent, la coordination administrative par la firme s'impose parce qu'elle permet une économie de coût (qualifié plus tard de coût de transaction par Williamson). L'argumentation centrale de Coase (1937) trouve son origine dans la question posée par l'auteur : quelle est la nature de la firme et pourquoi existe-elle ? Selon lui, les firmes existent parce qu'elles permettent de réduire les coûts de transaction, via un système de coordination fondée sur la hiérarchie.

En ce qui concerne les entreprises publiques et les 3P, l'analyse économique des coûts de transaction est évoqué pour justifier un fait : les entreprises publiques sont inefficientes parce qu'elles ne sont pas capables de minimiser leurs coûts de transaction, c'est-à-dire leurs coûts d'information, de négociation et d'exécution du contrat. Contrairement aux entreprises publiques, les entreprises privées disposent de structures adaptées, où un nombre limités d'agents prennent les décisions stratégiques importantes qui engagent l'avenir de l'organisation ; ce qui les aide à minimiser leurs coûts de transaction. L'une des argumentations de la théorie des coûts de transaction est qu'au sein des organisations publiques, la rigidité des structures, le processus de prise de décision et les cercles vicieux bureaucratiques imposent une délégation des pouvoirs, ce qui engendre, en raison de l'imperfection de l'information et des comportements opportunistes des agents, des structures onéreuses et des mesures coûteuses de surveillance. Selon Yaya (2005), la théorie économique des coûts de transaction soulève, sans fondamentalement les traiter à fond, des questions majeures relatives au mode de fonctionnement du secteur public. Ce champ, combiné à d'autres théories, constitue entre autres l'un des corpus théoriques des partenariats public privé (3P).

b₂) La théorie de l'agence

La délégation du service public (DSP) de gestion des déchets instaure une relation entre le mandant et le mandataire. Ce type de relation « mandant – mandataire » est souvent sujet à des problèmes tels que l'antisélection, l'aléa moral, l'incomplétude des contrats et leur renégociation. Ces problèmes proviennent du fait que l'une des parties

a un avantage informationnel sur l'autre, ce qui est à la base de comportements opportunistes. Tirole (1999) propose comme solutions à ses comportements opportunistes, de rendre les contrats moins incomplets, c'est-à-dire de veiller à écrire des contrats détaillés sans être rigides, en incluant des clauses d'indexation sur l'inflation ou sur le coût de fourniture et, d'établir des procédures claires de révision des contrats et de recours à l'arbitrage. Les problèmes d'agence sont présents aussi bien dans la gestion déléguée que dans le secteur public.

➤ **Les principaux problèmes d'agence dans le secteur public**

Selon Nizet & Pichault (2007), en appliquant la théorie de l'agence de Jensen & Meckling (1976) au modèle de gestion publique, on se rend compte que les difficultés des entreprises africaines résident essentiellement dans les rapports que les pouvoirs publics (principal) entretiennent avec leurs dirigeants (agent). Trois problèmes majeurs se dégagent de leur relation :

Le premier problème est lié au fait que les hommes politiques, détenteurs du droit de propriété des entreprises publiques, sont très souvent animés par des considérations politiques très contradictoires, qui mêlent les intérêts sociaux, économiques et électoraux ; ce qui rend difficile la gestion des entreprises publiques et l'évaluation de leur performance. Par ailleurs le clientélisme, le lobbying interne ou externe, et la soumission de l'entreprise publique aux politiques, peut à finalités égales, imposer aux dirigeants des coûts de transaction plus élevés que dans les entreprises privées. Le second problème est celui de l'opportunisme qui tient au fait que l'entreprise publique fait généralement face à une contrainte budgétaire « souple ». Un déficit n'entraîne pas nécessairement une faillite de l'entreprise. Les gestionnaires, sachant cela, sont incités à relâcher le contrôle sur les coûts. Ils peuvent ainsi poursuivre des objectifs qui leur sont propres ou relâcher l'effort requis pour contrôler les coûts et accroître l'efficacité des opérations peut alors être compromise. Ce problème est amplifié par la multiplicité des objectifs et la difficulté de mesurer l'atteinte des objectifs dans beaucoup d'entreprises publiques. Enfin, le troisième problème qui peut naître dans la relation Etat – entreprise publique vient du fait que les gestionnaires de

l'entreprise publique sacrifie d'autant plus facilement des « profits » ou des « dividendes sociaux » que pourrait dégager l'entreprise publique que ceux-ci risquent d'être expropriés par les autorités gouvernementales.

➤ **Les principaux problèmes d'agence dans la gestion déléguée**

La relation de délégation entre une collectivité locale et une entreprise privée, pour la fourniture d'un service public, évolue en asymétrie d'information. En effet, selon Jensen & Meckling (1976) et bien avant eux, Akerlof (1970), la délégation peut être considérée comme une relation d'agence. Pour Pratt & Zeckhauser (1992), à chaque fois qu'un individu est tributaire des actions d'un autre, une relation d'agence émerge. Bien que Defeuilley (1996) estime que la délégation de service public possède des ressources nécessaires pour introduire plus d'efficacité, confier la gestion des déchets à une entreprise privée n'est pas sans poser des problèmes d'agence.

Le premier problème est celui de la conception d'un cadre réglementaire qui permettra d'inciter et de contrôler l'entreprise privée afin qu'elle poursuive un objectif social distinct de la maximisation de son profit, tout en créant une pression suffisante afin que celle-ci n'opère pas avec une contrainte budgétaire souple, comme c'est le cas de l'entreprise publique. D'autre part, la gestion déléguée expose l'agent à deux séries de contraintes formulées par deux principaux : les actionnaires de l'entreprise qui demandent la maximisation du rendement sur leur investissement; et l'organisme de réglementation ou le gouvernement qui formule certains objectifs sociaux et impose certaines contraintes. Ce second problème n'est pas sans conséquences sérieuses pour la gestion des entreprises réglementées. Essentiellement, les managers de ces entreprises doivent faire un arbitrage entre ces deux ensembles de contraintes. Un troisième problème pour le gouvernement qui confie à une entreprise privée la responsabilité de la gestion des déchets est celui de se retrouver « pris en otage » par l'entreprise. Bien que le nombre d'entreprises potentielles pour l'obtention d'un contrat soit élevé, une fois le contrat accordé à une entreprise donnée, celle-ci développera une connaissance du réseau et des coûts réels d'opération qui sera inégalée par les autres entreprises, comme par le gouvernement.

Nous pouvons donc dire que les problèmes qui se dégagent dans la relation Etat – entreprise publique sont susceptibles de jouer un rôle tout aussi important dans le secteur de la gestion des déchets, surtout en Afrique. Seul un examen minutieux d'un certain nombre d'alternatives permettra d'évaluer les avantages et désavantages respectifs de la gestion publique et de la gestion déléguée.

1.2.2. Externalités et théorie économique

La présence d'externalité²³ est considérée dans la théorie néoclassique comme une défaillance du marché, car le prix de marché ne reflète plus l'ensemble des coûts/bénéfices engendrés, et que l'équilibre auquel le marché conduit n'est plus un optimum de Pareto, du fait de la différence entre coûts ou bénéfices des participants au marché et de la société en général. Les externalités amèneront ainsi à une surproduction si l'action (consommation/production) génère des externalités négatives, les coûts sociaux étant plus grands que les coûts des participants et à une sous-production si l'action génère des externalités positives, les bénéfices sociaux étant plus grands que les bénéfices des participants. La défaillance du marché peut justifier l'intervention de l'État pour compenser les perdants (en cas d'externalités négatives) ou faire participer les gagnants (en cas d'externalités positives), voire pour prendre en charge la production du bien en cas de fortes externalités positives (exemple de l'éducation) ou négatives (exemple des stations d'épuration dans les

²³ Dans la littérature économique, le concept d'externalité a donné lieu à de nombreuses discussions et définitions (Meade, 1952 ; Bator, 1958 ; Mishan, 1971 ; Papandreou, 1994). Selon Pigou (1932), une externalité correspond à une situation où : « une personne A, alors qu'elle est en train de rendre un certain service, contre paiement, à une autre personne B affecte incidemment, en bien ou en mal, d'autres personnes (non productrices de services similaires), et cela de telle manière qu'un paiement ne puisse être imposé à ceux qui en bénéficient, ni une compensation prélevée au profit de ceux qui en souffrent ». Nous considérons comme externalité environnementale liée aux DS les différents effets (avantages et nuisances) que peuvent avoir les déchets sur l'environnement urbain. Dans le secteur des déchets, ces externalités peuvent prendre de nombreuses formes. Elles peuvent être négatives (dégagement des gaz toxiques, encombrement, prolifération des germes pathogènes, pollution des eaux, ...) ou positives (création d'emplois, source potentiel de fourniture d'intrants agricoles, ...).

décharges). La conceptualisation des externalités vient du principe épistémologique de l'individualisme méthodologique adopté par la théorie néoclassique, qui stipule l'indépendance des choix des agents. La présence d'externalités justifie, selon l'analyse économique classique, l'intervention des pouvoirs publics (Stavins, 2004).

a) La nouvelle Economie Publique de la réglementation

La théorie de la réglementation connaît un regain d'intérêt dans les années 70 et 80 suite au mécontentement concernant les performances des entreprises réglementées ou sous contrat avec le gouvernement. Selon Tirole (1990)²⁴, la théorie de la

²⁴ Le modèle de Tirole :

L'entreprise qui est responsable de la fourniture du service public possède un coût de production égal à : $C = \beta - e$ (β est le paramètre d'efficacité de l'entreprise, et e le niveau d'effort mis en œuvre pour réduire ses coûts). L'Etat (la municipalité) observe le coût C , mais ne connaît ni β , ni e . L'utilité de l'entreprise, notée U , est de maximiser la différence entre le budget t , accordé par l'Etat et le niveau d'efforts consenti (exprimé en termes de désutilité). L'utilité de l'entreprise est égale à : $U = t - \Psi(e)$.

De son côté, l'Etat cherche à maximiser le bien être social W , représenté par la somme des surplus de l'entreprise (U) et des usagers (S). Le surplus des consommateurs doit tenir compte des coûts liés à la mise en œuvre du service public, à savoir les distorsions liées à la fiscalité (à l'imposition d'une taxe de financement par exemple), le coût de production et le transfert : $(1 + \lambda) (t + C)$. $W = U + [S - (1 + \lambda) (t + C)]$ (3)
 $= S - (1 + \lambda) (\beta - e + \Psi(e)) - \lambda U$

L'Etat ne peut observer ni le paramètre d'efficacité, ni le niveau d'efforts consenti par l'entreprise. Cette dernière a la possibilité de jouer sur cette asymétrie d'information pour maximiser son utilité, ce qui se fera au détriment de S et de W . Cela signifie que l'entreprise dispose d'une certaine marge de manœuvre : elle choisit son niveau d'efforts pour produire C , et dans ce cas elle est en mesure de capturer une rente "informationnelle", qui correspond à la différence entre son revenu et l'effort effectivement mis en œuvre pour l'atteindre. L'entreprise cherche à maximiser $t - \Psi(e)$. Ce problème est connu sous le terme de *hasard moral*, où l'action effectuée n'est pas observable. L'entreprise est aussi susceptible de jouer sur le caractère non-observable de son paramètre d'efficacité pour influencer sur le choix de l'Etat. L'Etat risque de sélectionner une entreprise qui n'a pas la qualité requise pour réaliser le travail demandé. Ce problème renvoie à une situation d'antisélection, dans laquelle une information cachée (sur une caractéristique intrinsèque de l'entreprise) est utilisée pour induire en erreur l'Etat dans son choix.

réglementation a subi de profonds changements durant la décennie 1980 – 1990. En effet, cette théorie reconnaît qu'une description réaliste de la relation « Etat – Entreprise privée » doit prendre en compte l'existence des asymétries informationnelles qui introduisent des risques d'inefficacité dans la fourniture du service. En l'absence d'asymétrie d'information, l'Etat pourrait en effet parfaitement contrôler le comportement des entreprises cocontractantes. La nouvelle théorie de la réglementation incorpore de façon explicite les contraintes auxquelles font face les régulateurs (qui peuvent être confondus au principal, à l'Etat) lorsque le fonctionnement d'un marché entraîne des externalités négatives par exemple. Dans cette thèse, l'existence de deux acteurs majeurs dans la gestion des déchets au Cameroun à savoir l'Etat (le principal) et HYSACAM (l'agent), pourrait entraîner des asymétries informationnelles dans la fourniture du service public de gestion des DS. Et comme le « marché des déchets » est source d'externalités négatives (pollution), la nouvelle théorie de la réglementation prend en compte les contraintes auxquelles souvent faire face l'Etat.

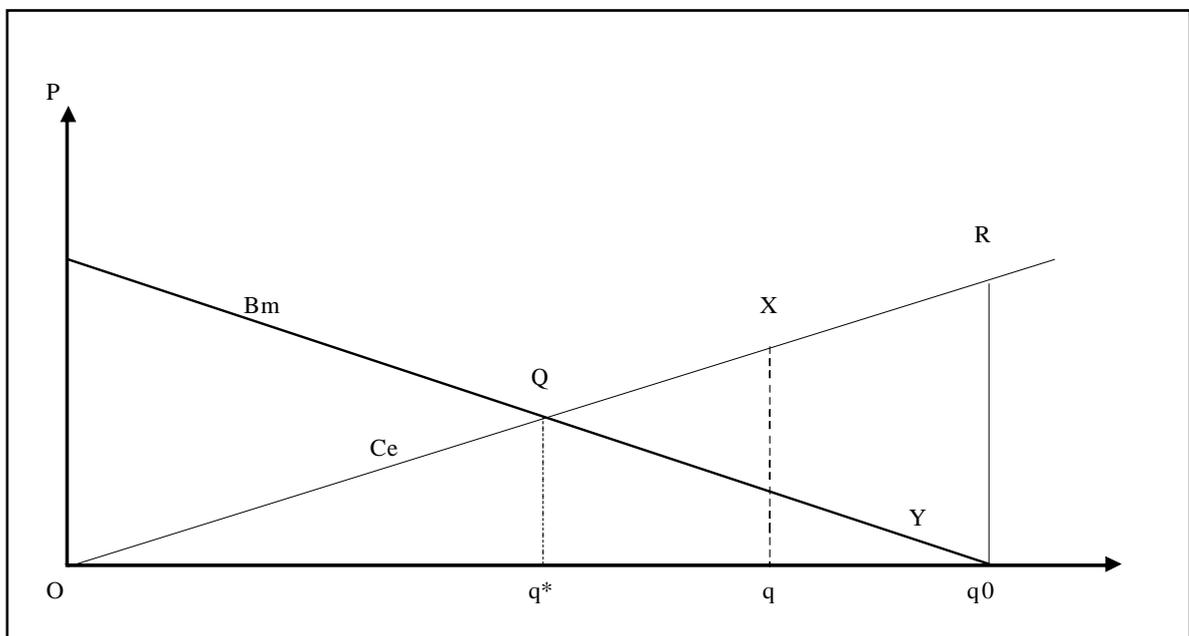
a.) L'échec de la main invisible en présence d'une externalité

L'externalité que nous allons considérer dans cette sous section met en présence deux entreprises : l'une (A) traite les déchets solides et pollue la rivière ; l'autre (B) cultive les légumes en aval et utilise l'eau de la rivière pour arroser ses légumes. Ainsi, la quantité de pollution (tonne de lixiviat qui pollue la rivière) varie proportionnellement à la quantité de déchets solides enfouis. B traite l'eau de la rivière avant d'arroser ses légumes et ce coût de traitement (purification) varie en fonction de la quantité de lixiviat déversée par A dans la rivière.

La figure 6 montre comment la présence d'une externalité met en échec la main invisible. La droite B_m représente le bénéfice marginal de A. La droite C_e est le coût marginal externe, c'est le préjudice que subit l'agriculteur B, il est égal au coût marginal de purification de l'eau dont on suppose qu'il augmente linéairement avec la quantité de déchets enfouis qui est représentée en abscisse. Cherchant à maximiser son profit l'agriculteur produit jusqu'au point où son bénéfice marginal devient nul. Il

produira la quantité q^0 et son profit total sera égal à la surface OPq^0 . Cette situation correspond au préjudice le plus élevé que subit B. Son coût total de dépollution correspond en effet à l'aire du triangle ORq^0 . Du point de vue de l'intérêt général, qui se réduit ici au bien-être de deux agents, cette situation n'est pas optimale car la richesse totale n'est pas maximisée pour $q=q^0$ mais pour $q=q^*$. La richesse totale est égale au profit de A moins le coût de dépollution de B, soit l'aire $(OPq^0 - ORq^0)$, soit encore l'aire $(OPQ - QRq^0)$. On obtient le gain le plus élevé en $q=q^*$ car QRq est alors égal à 0.

Figure 6 : L'optimum de pollution



Source : Turvey (1963)

Pour que la poursuite de l'intérêt privé de A conduise spontanément au niveau optimal q^* , le coût externe doit être pris en compte par A ; il doit être soustrait à son bénéfice marginal. Dans ce cas on dit qu'il y a internalisation des effets externes. L'internalisation consiste à faire peser sur les agents économiques la totalité des coûts de leurs actions. Un des moyens d'y parvenir est de collecter une taxe d'un montant q^*Q sur chaque unité de pollution émise, taxe payée par l'agent à l'origine de l'externalité négative. Ce moyen est qualifié dans la littérature spécialisée de « solution

pigouvienne ». Pigou (1932) est en effet le premier économiste à avoir suggéré de taxer les pollueurs²⁵.

a₂) L'intervention du réglementeur

La solution canonique du problème de l'externalité est de réglementer. Le réglementeur doit calculer le niveau optimal de production d'externalités et mettre en place un mécanisme qui va contraindre (ou inciter) les agents économiques à l'atteindre. Dans notre exemple de pollution précédent, connaissant les technologies employées par la décharge et l'agriculteur, le réglementeur identifie le niveau optimal des rejets en lixiviats, puis impose au pollueur une norme qui limite ses émissions à q^* , ou une taxe par unité de pollution d'un montant q^*Q .

Si l'on suppose que le réglementeur bénéficie d'une information parfaite (ce qui est utopique), alors le problème de l'externalité ne se pose plus puisque par hypothèse les coûts et bénéfices sont déjà connus du réglementeur. La réflexion théorique sur les solutions d'internalisation ne trouve sa raison d'être que dans l'hypothèse d'une information imparfaite du réglementeur. En matière de pollution, son action se heurte principalement à deux manques d'information :

- un manque de données sur les bénéfices des actions d'amélioration de l'environnement quand elles concernent des biens qui n'ont pas de prix de marché ;
- un manque d'information sur les coûts spécifiques de dépollution de chaque entreprise quand l'industrie polluante est hétérogène (cas des gaz à effet de serre émis par des entreprises qui mettent en œuvre des technologies différentes comme les centrales thermiques par exemple).

²⁵ Il est important de noter que l'analyse économique de la pollution ne préconise pas de supprimer la totalité de la nuisance, autrement dit de tendre vers la pollution zéro. Il y a un niveau économiquement optimal de pollution : celui qui égalise le bénéfice marginal privé du pollueur au coût marginal externe que subit le pollué (le niveau q^* dans notre exemple).

Ces contraintes informationnelles correspondent à deux champs majeurs de réflexions économiques : l'évaluation monétaire des biens non-marchand d'une part, et la question du choix de la réglementation par les prix ou par les quantités, d'autre part.

➤ **La monétarisation des externalités**

Construisons un nouveau cas d'externalité en substituant dans notre exemple l'agriculteur par un pêcheur amateur. Le dommage lié aux rejets de lixiviats prend ici la forme de la disparition des poissons de la rivière. Selon Faucheux & Noel (1995) il devient difficile dans ce cas pour le régulateur d'évaluer les bénéfices monétaires de l'action de dépollution. En effet, le régulateur se heurte à quatre difficultés principales :

- La prise en compte des autres valeurs indépendantes de la valeur d'usage telle que la valeur d'existence (valeur d'option) des biens de nature ;
- La prise en compte des générations futures ;
- La dispersion de l'information détenue par l'ensemble des agents économiques (ménages, entreprises) qui subissent le dommage ;
- Le problème de la révélation sincère des préférences individuelles : un bénéficiaire d'un bien ou d'un service à caractère environnemental et plus généralement d'un bien public aura tout intérêt à minimiser l'ampleur de son consentement à payer de manière à réduire sa participation au financement de la production du bien.

➤ **Le choix de la réglementation**

Les difficultés de l'évaluation monétaire des bénéfices amènent certains économistes comme Baumol (1972) à renoncer à fixer le niveau de production de l'externalité par le calcul économique. La solution proposée consiste à considérer que le niveau de dépollution à atteindre est une donnée exogène. Il résulte par exemple d'une décision politique. L'analyse économique se concentre alors sur le choix du moyen correctif qui permet d'atteindre l'objectif de dépollution au moindre coût. La plupart des

économistes exprime à ce sujet une préférence marquée pour l'utilisation de la taxe plutôt que de la norme d'émission. La taxe est jugée plus efficace.

Le principe général de la taxe est d'inciter le pollueur à dépolluer jusqu'à ce que son coût marginal de dépollution soit égal au montant de la taxe. Les entreprises qui présentent les coûts de dépollution les plus faibles sont donc amenées à réduire plus fortement leurs émissions que celles qui ont les coûts les plus élevés. Dans le cas de la norme uniforme, chaque entreprise est dans l'obligation de réduire ses émissions polluantes d'une quantité identique. En comparaison de la taxe, cette répartition des efforts est plus coûteuse pour la collectivité. Les entreprises aux plus forts coûts de dépollution participent davantage à la réduction des émissions que dans le cas de la taxe. Inversement, les entreprises aux plus bas coûts de dépollution contribuent moins à l'effort collectif. Au total, il faut donc dépenser plus d'argent pour obtenir le même résultat. La norme uniforme est un instrument moins efficace que la taxe.

En revanche, la norme différenciée selon le type d'entreprise minimise comme la taxe le coût total pour parvenir à l'objectif. Dès lors que le régulateur est supposé connaître les coûts de dépollution des entreprises, il est capable de fixer un jeu de normes spécifiques à chaque pollueur de telle sorte que le coût d'atteinte de l'objectif de dépollution total soit le plus faible. Ce résultat illustre une proposition générale : en situation d'information parfaite, le régulateur peut indifféremment agir sur les prix (par une taxe) ou sur les quantités (par une norme) (Weitzman, 1974).

En situation d'information imparfaite, la norme différenciée n'est plus aussi efficace que la taxe. Supposons que le régulateur ne dispose d'aucune information sur les coûts de dépollution. Pour atteindre l'objectif de dépollution, il peut procéder en plusieurs étapes en modifiant à chaque fois le niveau de la taxe. S'il observe une diminution trop forte il réduit le montant de la taxe et, inversement, s'il observe un niveau trop élevé des émissions il augmente le niveau de la taxe. Il peut ainsi par tâtonnement se rapprocher de l'objectif recherché. Pour atteindre le niveau choisi la taxe minimise le coût total de dépollution car elle fait porter les efforts sur les actions les moins coûteuses à mettre en œuvre.

Dans le cas de la norme, l'atteinte de l'objectif ne pose pas de problème. Le réglementeur doit simplement faire en sorte que la somme des objectifs de dépollution qu'il assigne à chaque pollueur soit égale à l'objectif total recherché. En revanche, le réglementeur qui ne connaîtrait pas les coûts de dépollution a peu de chances d'atteindre au moindre coût cet objectif total ; il faudrait en effet pour cela qu'il choisisse en aveugle, parmi tous les jeux de normes différenciées possibles, celui qui répartit efficacement les efforts de dépollution entre les entreprises.

Il ressort des analyses ci-dessus que la taxe et la norme sert à répartir les efforts de dépollution parmi les pollueurs, une fois l'objectif total de dépollution déterminé par des facteurs non-économiques. Les instruments de politique environnementale peuvent être mis au service de la détermination de l'objectif optimal de dépollution. Ceci est envisageable quand l'évaluation des bénéfices de la dépollution ne doit pas passer par une évaluation monétaire des bienfaits de la nature dont nous avons souligné les difficultés et les controverses qu'elle soulève. Revenons par exemple à notre cas de figure initial de pollution entre entreprises où le bénéfice externe est ramené à un coût technique. Faisons l'hypothèse que le réglementeur ne dispose d'une information parfaite ni sur les coûts de réduction des rejets ni sur les coûts de purification de l'eau polluée. Quel est l'instrument le plus efficace pour corriger l'externalité ? L'analyse montre que cela dépend des caractéristiques de l'industrie et des technologies considérées. Par exemple, lorsque le nombre d'entreprises polluantes est élevé et que la pente de la courbe des bénéfices marginaux est modérée - conditions souvent observées dans la pratique - la taxe est plus efficace que la norme (Weitzman, 1974).

Selon Lévêque (2000), la supériorité de la taxe sur la norme est établie pour un cadre bien précis : celui d'une réglementation à objectif de dépollution fixé qui concerne plusieurs entreprises polluantes dont les caractéristiques de coûts sont hétérogènes et non connues par le réglementeur. Pour les autres cas, nous avons vu : qu'en situation d'information parfaite et quand l'objectif est donné, les deux instruments sont aussi efficaces l'un que l'autre ; et qu'en situation d'information imparfaite et quand

l'objectif est à déterminer économiquement la taxe peut être parfois plus efficace que la norme et parfois moins.

b) La réfutation théorique de la réglementation systématique

Nous avons vu que la théorie économique propose une réglementation systématique en cas d'externalité. Cependant, en dehors de la réglementation il existe d'autres instruments de politiques environnementales qui concourent également à l'objectif de dépollution.

b₁) La négociation directe et la fusion

Introduisons dans l'exemple des deux entreprises A (la décharge qui pollue la rivière du fait des lixiviats qui s'écoulent des bassins de rétention) et B (l'agriculteur qui arrose ses légumes avec de l'eau de la rivière) un droit de propriété sur la rivière. Supposons que la rivière appartient à l'agriculteur. Notons que cette dimension juridique n'avait pas été prise en compte dans les cas de figure précédents (l'analyse canonique des externalités ne précisant aucune caractéristique des institutions). Admettons également que A et B se connaissent et peuvent signer des accords entre elles. Négligeons enfin le coût de ces accords en considérant que la négociation, la mise en œuvre, et la surveillance d'un contrat n'entraînent pas de dépenses. Soucieuse de maximiser son profit, A produit la quantité de pollution q^0 , niveau pour lequel le préjudice subi par B est le plus élevé.

On remarque (cf. figure 6) que dans cette situation une diminution des rejets de $Dq = (q^0 - q)$ apporte au pollué B un gain ($YXRq^0$) qui est supérieur à la perte subie par A (qYq^0). L'agriculteur a donc intérêt à entrer en négociation avec la décharge pour lui proposer de limiter ses émissions de lixiviats en échange d'une contrepartie monétaire. Cette compensation doit être fixée de telle sorte qu'elle soit supérieure à qYq^0 (sinon A n'accepte pas l'offre) et inférieure à $qXRq^0$ (sinon B perd de l'argent en faisant sa proposition). Grâce à cette transaction, chacune des deux entreprises se retrouve dans une situation qui lui est plus favorable que la situation de départ caractérisée par le niveau de pollution q^0 . Observons que pour le niveau de rejet q , il

existe encore un gain collectif (l'aire du triangle QXY) à se partager en faisant diminuer la pollution. B a donc intérêt à demander à A de réduire encore un peu plus ses rejets et à lui allouer une partie du nouveau gain qu'il obtient. Finalement, la négociation entre les deux entreprises s'arrête quand B ne peut plus compenser A pour la perte qu'il subit, c'est-à-dire lorsque le niveau de pollution q^* est atteint. La négociation directe entre pollueur et pollué aboutit ainsi spontanément à une production optimale d'externalité. La présence d'une autorité publique n'est pas ici nécessaire pour régler le niveau de pollution.

D'autres solutions de ce type sont envisageables. Tout d'abord les deux entreprises A et B peuvent fusionner. Dans ses choix techniques de production, la nouvelle entreprise ainsi constituée va chercher à maximiser le profit joint de ses deux unités. Le bénéfice et le coût de réduction des rejets vont être comparés, ce qui va conduire l'entreprise consolidée à opter pour un niveau de rejets égal à q^* . Comme la négociation, la fusion conduit à l'optimum de pollution.

b₂) Les autres solutions privées

On peut aussi imaginer un marché de transaction de titres de propriété sur les ressources de l'environnement qui serait organisé selon le modèle boursier. Cette solution du marché de droits à polluer a été élaborée par Dales (1968). Imaginons dans notre exemple de la rivière que des coupons pour rejeter une tonne de lixivants ont été distribués. Ils vont acquérir une valeur qui correspond au prix d'équilibre entre l'offre et la demande, c'est-à-dire à l'intersection des courbes des bénéfices et des coûts marginaux agrégés de dépollution. Une nouvelle fois, un optimum de pollution sera atteint (à condition toutefois que le marché soit concurrentiel et donc qu'il y ait un grand nombre de décharge et d'agriculteurs répartis le long de la même rivière).

Sur un plan théorique l'internalisation des externalités peut donc emprunter divers chemins autres que l'intervention publique par les quantités (en imposant une norme d'émission) ou par les prix (en imposant une taxe). Les modalités de correction des externalités qui viennent d'être décrites conduisent toutes à un optimum de Pareto. Ce résultat repose sur l'hypothèse générale d'absence de coûts de fonctionnement du

système économique. Sur le plan méthodologique, le fait de supposer que les coûts de transaction sont nuls, conduit à une double impasse.

La première impasse est liée au fait qu'on ne peut pas comprendre le monde réel en supposant que les coûts de transaction sont nuls. Pigou (1932) à ignorer, dans l'exemple d'externalité qu'il cite à propos des incendies causés par le chemin de fer à vapeur, qu'il existe en Grande Bretagne au début du siècle une législation spécifique (Coase, 1960). Cette législation indique précisément les circonstances qui donnent droit à une compensation par les compagnies ferroviaires des dommages subis par les propriétaires forestiers. Si l'incendie d'une parcelle boisée n'est pas dédommagé, cela n'est pas dû à l'absence de réglementation mais en est plutôt la conséquence : le sinistre observé ne remplit pas les conditions requises par la législation (date de déclaration, importance de l'incendie) pour qu'une compensation soit envisagée²⁶. En négligeant les institutions, Pigou prend un mauvais exemple d'externalité. L'intérêt de Coase pour les institutions le conduit à dénoncer l'hypothèse de coûts de transaction nuls et à rejeter le théorème auquel son nom a été accolé. Levêque (2000) souligne que près de trente ans après la publication de son article, Coase déclare : « J'ai montré dans *La Nature de la firme* qu'en l'absence de coûts de transaction, il n'y a pas de fondement économique qui justifie l'existence de l'entreprise. Ce que j'ai montré dans *Le Problème du coût social*, c'est qu'en l'absence de coûts de transaction [...] les institutions qui façonnent le système économique n'ont ni substance, ni objet. [...] Mon argument suggère qu'il est nécessaire d'introduire explicitement des coûts de transaction positifs dans l'analyse économique pour étudier le monde tel qu'il existe » (Coase, 1988).

La seconde impasse tient du fait que la référence à un monde sans coûts de transaction supprime l'existence même des externalités et retire du même coup la raison d'être de la recherche de solutions d'internalisation. En l'absence de coûts de

²⁶ Selon Pigou (1932), le passage des trains est profitable aux voyageurs et aux compagnies, mais les escarilles peuvent mettre le feu aux parcelles boisées le long des lignes et entraîner ainsi un sinistre préjudiciable aux propriétaires forestiers, acteurs qui ne participent pas à l'échange du service ferroviaire.

transaction, les agents ne rencontrent aucun obstacle pour s'échanger des biens et services, ils opèrent continuellement des transactions. Dès qu'il y a un gain mutuel à se partager, ils entrent instantanément en contact et concluent immédiatement un accord. Les externalités ne peuvent alors ni émerger, ni encore moins persister (Dahlman, 1979). L'externalité doit être ici entendue au sens d'externalité Pareto-pertinente, c'est à dire dont la correction améliore le bien-être collectif. Dans un monde de coûts de transaction nuls, les seules externalités concevables correspondent à des interdépendances hors marché qui, si elles étaient corrigées, entraîneraient une perte de bien-être.

En conclusion, on retient que l'échec de l'Etat dans la fourniture des services publics a donné naissance au partenariat public privé. La réussite d'un tel partenariat entre l'Etat et le secteur privé dans la fourniture des services environnementaux (comme le service public de gestion des déchets solides par exemple), exige que l'on choisisse parmi un ensemble d'options l'arrangement institutionnel qui minimise les effets pervers induits par les contraintes informationnelles, transactionnelles, administratives et politiques. En ce qui concerne spécifiquement la gestion des déchets solides dont les nuisances environnementales ne sont plus à démontrer, plusieurs instruments (réglementation, négociation, fusion, etc.) peuvent être mis en place pour internaliser ces effets externes.

Le chapitre II nous permettra de cerner et comprendre les expériences organisationnelles de la gestion des déchets au Cameroun.

CHAPITRE II :

ANALYSE DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN

Du fait de sa forte corrélation avec la croissance démographique et l'accroissement du niveau de consommation, la production des déchets solides (DS) au Cameroun ne cesse d'augmenter en quantité et en qualité. Malheureusement comme dans bien d'autres pays du Sud, les pratiques en matière de gestion des déchets se mettent en marge des principes de prudence écologique et de développement durable. Ces pratiques ont des effets désastreux aussi bien à court qu'à long terme, sur la santé des populations, les sols et les ressources. Dans ce chapitre, il est question d'une part de présenter l'organisation de la gestion publique des DS au Cameroun et d'autre part de la mettre en évidence.

II.1. L'organisation de la gestion publique des déchets solides au Cameroun

La gestion publique des DS à au Cameroun a connu beaucoup de mutations depuis les indépendances jusqu'à nos jours. Cette section présente l'organisation du service public de gestion des DS au Cameroun ainsi que l'évolution des niveaux de production et de collecte des DS dans la ville de Yaoundé.

II.1.1. Le cadre institutionnel et organisationnel de la gestion publique des déchets solides au Cameroun

Au Cameroun, la gestion publique des DS, considérée par ailleurs comme une source importante de pollution, est réglementée par des textes juridiques et implique un nombre important d'acteurs. Dans cette sous-section il s'agit de présenter le cadre

institutionnel de la gestion de l'environnement au Cameroun ainsi que la manière dont est organisée la gestion des déchets solides au Cameroun.

a) Le cadre institutionnel de la gestion de l'environnement au Cameroun

Parce que la pollution due aux DS est considérée comme étant un cas typique d'externalité lié à une défaillance du marché, de ce fait l'intervention publique dans le domaine de la protection environnementale se justifie. C'est justement dans ce cadre que le gouvernement camerounais s'est muni d'un ensemble de textes juridiques qui régissent la gestion publique des DS et a ratifié à ce jour plusieurs Conventions dans le domaine de l'environnement.

a₁) La législation et la réglementation camerounaise en matière de gestion des déchets

La loi n° 96/12 du 5 août 1996 portant loi-cadre relative à la gestion de l'environnement au Cameroun définit en son article 4 un « polluant » comme *toute substance ou tout rejet solide, liquide ou gazeux, tout déchet, odeur, chaleur, son, vibration, rayonnement ou combinaison de ceux-ci, susceptibles de provoquer une pollution*. Cette loi considère un « pollueur » comme *toute personne physique ou morale émettant un polluant qui entraîne un déséquilibre dans le milieu naturel*.

Elle définit la « pollution » comme *toute contamination ou modification directe ou indirecte de l'environnement provoquée par tout acte susceptible d'affecter défavorablement une utilisation du milieu favorable de l'homme, de provoquer ou qui risque de provoquer une situation préjudiciable pour la santé, la sécurité, le bien-être de l'homme, la flore et la faune, l'air, l'atmosphère, les eaux, les sols et les biens collectifs et individuels*.

Selon l'article 9 de cette même loi, la gestion de l'environnement et des ressources naturelles s'inspire, dans le cadre des lois et règlements en vigueur, de plusieurs principes dont le principe pollueur – payeur selon lequel les frais résultant des mesures de prévention, de réduction de la pollution, de la lutte contre celle-ci et de la remise en

l'état des sites pollués doivent être supportés par le pollueur. Malheureusement ce principe n'est pas encore réel dans les faits car il n'existe pas encore de dispositions qui permettent aux pollueurs de payer directement sous forme de taxe par exemple les charges relatives à leurs actions sur l'environnement.

La législation et la réglementation en cours qui régissent la gestion publique des déchets au Cameroun sont :

- la loi n°96-6 du 18 Janvier portant révision de la Constitution du 2 Juin 1972 ;
- la loi n°74/25 du 5 Décembre 1974 portant Organisation communale qui spécifie le droit des Communes à percevoir des taxes directes en vue d'assurer l'exploitation d'un service technique ou d'un établissement public ;
- la loi n°87/015 du 15 Juillet 1987²⁷ portant Création des Communes Urbaines qui donne la responsabilité de la gestion des ordures ménagères aux communes urbaines d'arrondissement (CUA), l'hygiène et la salubrité des villes aux Communautés Urbaines ;
- la note circulaire n°069/NC/MSP/DMPHP/SHPA du 20 Août 1988 relative à la collecte, au transport et au traitement des déchets industriels, ordures ménagères et vidange sanitaire ;
- les décrets n°77/220 du 1er Juillet 1977 et n°80/017 du 15 Janvier 1980 fixant les taux minima des taxes à collecter par les municipalités qui assurent un service de collecte des ordures ménagères. Ce taux varie entre 50 et 30000

²⁷ La loi n°87/015 du 15 Juillet 1987 portant Création des Communes Urbaines précise que les Communautés Urbaines sont compétentes en matière d'hygiène et salubrité et que les Communes Urbaines sont compétentes en matière d'enlèvement des ordures et déchets d'épuration des eaux usées et assainissement. Ainsi, cette loi confère à la communauté Urbaine les compétences en matière d'hygiène et de salubrité et, aux communes, les charges de collecte et d'enlèvement des ordures ménagères.

F CFA par an pour les établissements payant patentes et licences ayant un capital inférieur à 500000 F.

La réglementation actuelle ignore les activités des ONG nationales et internationales qui interviennent aujourd'hui dans différents quartiers des villes dans divers domaines (collecte à domicile des ordures, ramassage des ordures ou location d'engins pour dégager les voies encombrées, encadrement et formation des populations à la gestion de l'environnement, balayage des rues, recyclage des ordures par la récupération et le compostage).

Ces ANG opèrent encore dans un cadre informel, bien que souvent des assistances extérieures ou des financements spontanés des populations leur soient apportés.

En plus de ces dispositions spécifiques, relatives à la gestion des DS, les conventions et accords internationaux signés et ratifiés par le Cameroun dans le domaine de l'environnement sont :

- la Convention de Brazzaville ou traité de la Commission des Forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC), 2005 ;
- la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau ou Convention de Ramsar, 2005 ;
- la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, 2004 ;
- le Protocole de Carthagène sur la Biosécurité, 2003 ;
- la Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet d'un commerce international (PIC), 2002 ;
- la Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvements Transfrontières - des Déchets dangereux et leur élimination, 2001 ;

- la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification (CNULD), 1997 ;
- le Protocole de Kyoto, 1997 ;
- la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), 1994 ;
- la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), 1994 ;
- la Convention de Vienne pour la Protection de la Couche d'Ozone, 1989 ;
- le Protocole de Montréal à la Convention de Vienne, 1989 ;
- la Convention d'Abidjan et son protocole relatifs à la coopération en matière de protection et mise en valeur du milieu marin et ses zones côtières de la région d'Afrique de l'Ouest et du Centre, 1984 ;
- la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES), 1981.

L'annexe 1 présente les conventions internationales en matière de gestion des déchets non dangereux et des déchets solides ainsi que celles qui ont déjà été ratifiées par le Cameroun.

a₂) Les acteurs impliqués dans la filière de gestion des déchets solides au Cameroun

Beaucoup d'acteurs sont impliqués dans la filière de gestion des DS au Cameroun. Il s'agit : des acteurs institutionnels (Ministères, Communes, Institutions de recherche), des acteurs non gouvernementaux (ONG et associations), des usagers (les populations), des sociétés privées (HYSACAM) et des bailleurs de fonds internationaux (FMI et Banque Mondiale) dont l'influence est déterminante.

Tableau 11 : Récapitulatif de la distribution des rôles entre acteurs en présence à Yaoundé

Activités	Acteurs institutionnels			ANG	Sociétés privées et GIC	Bailleurs de fonds	Usagers
	Ministères Techniques	Mairies	Institutions de recherche				
Définition du contenu du concept de propreté urbaine	X	X	X				
Définition des normes de salubrité	X		X				
Contrôle du respect des normes au niveau local	X	X					
Collecte des impôts pour la propreté urbaine	X	X					
Gestion des crédits de la propreté urbaine	X	X				XX	
Identification des priorités locales	XX	X		X			X
Financement des actions locales	X	X		X		X	
Gestion du service de la propreté urbaine		X			X		
Collecte, transport et mis en décharge des déchets urbains				X	X		X
Valorisation des déchets			X	X	X		X
Evaluation des quantités de déchets produits	X		X		X		X
Etablissement des politiques locales en matière de propreté urbaine		X		X			X
Collecte des données pertinentes et études spécifiques de la planification de la propreté urbaine	X	X	X	X	X	X	X
Suivi des indicateurs de la propreté urbaine			X	X	X		

Source : Tanawa et al., (2002)

Légendes : XX Cas de figure ayant existé dans le passé et qui n'a plus cours aujourd'hui

X Situation actuelle

➤ Les acteurs institutionnels

Au Cameroun, plusieurs départements ministériels sont impliqués dans la gestion publique des DS solides. L'instance supérieure en charge de la gestion des DS solides qu'est la commission interministérielle pour la gestion des DS au Cameroun a été mise sur pied en 1995 et placée sous l'autorité du premier ministre²⁸.

Les structures étatiques impliquées dans la gestion publique des DS sont :

- le ministère en charge de l'Administration du Territoire, le tuteur des municipalités ;
- le ministère en charge de l'Agriculture, responsable du contrôle des engrais ;
- les ministères en charge des Mines, de l'eau et de l'énergie, responsables des problèmes de nuisances et rejets industriels, notamment du contrôle de la pollution, des déchets industriels et de l'assainissement ;
- la Société Nationale d'Investissement, responsable de la transformation industrielle des ordures ;
- le ministère en charge de la Santé Publique, impliqué dans les aspects sanitaires des déchets ;
- les ministères en charge de l'environnement et des Forêts, responsables de la gestion de l'environnement ;
- les ministères en charge du développement urbain et de l'Habitat responsables de la planification urbaine, et de la gestion de l'hygiène et salubrité, de l'environnement et de l'esthétique urbain²⁹.

²⁸ Décret No. 95/230/PM du 31/04/95 portant création d'une commission en vue de développer les stratégies de gestion des déchets.

²⁹ Décret n° 97/205 du 07 Décembre 1997

Le ministère en charge du développement urbain et de l'Habitat a la compétence en matière de développement social des quartiers, de l'hygiène et de la salubrité ainsi que de la supervision de la collecte, de l'enlèvement et du traitement des DS. En attendant le décret d'application de la loi n° 2004/018 du 22 juillet 2004 fixant les règles applicables aux communes qui confère les compétences de gestion des DS et de l'insalubrité aux communes, plus de précision sur les compétences des Communautés Urbaines et des Communes Urbaines d'Arrondissement s'impose, car ce flou institutionnel n'est pas de nature à rendre aisée la gestion des DS.

La loi confie d'une part la gestion des DS aux Communes Urbaines d'Arrondissement et d'autre part, l'hygiène et la salubrité publique à la Communauté Urbaine³⁰ ; bien que dans les faits ce soient les communautés urbaines qui gèrent les déchets. La loi n° 74/23 du 05 décembre 1974, portant organisation communale en son article 93, donne le droit aux communes de percevoir le produit de l'impôt forfaitaire, des contributions des patentes et licences et de la taxe sur le bétail. L'article 95 permet au Conseil Municipal d'instituer des taxes dites « *Taxes communales directes* », dont le produit est recouvré en même temps que les impôts perçus. Ces taxes se présentent sous forme de redevances forfaitaires annuelles exigibles aux habitants d'une agglomération et comprennent les taxes d'eau, d'électrification, d'éclairage et d'enlèvement des ordures ménagères, ainsi que les taxes de fonctionnement des ambulances municipales.

Les institutions de recherche comme l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé (ENSP) ou encore les Universités jouent un rôle important dans la gestion des DS au Cameroun. D'ailleurs, Cette thèse contribue améliorer la gestion actuelle des déchets au Cameroun.

³⁰ Loi n°87/15 du 15 juillet 1987 portant réorganisation communale

➤ Les acteurs non gouvernementaux³¹

L'émergence de ce groupe d'acteurs a été favorisée en 1990 par la loi sur les Associations (n°90/053 du 19/12/90). Mais elles doivent leur essor aux défaillances de l'Etat et des municipalités dans l'offre des services urbains de proximité tels que l'eau, l'éclairage public et l'enlèvement des DS. Ces ANG sont constituées de petits groupes de jeunes ayant un effectif moyen entre 20-50 membres. Elles fondent leurs actions sur les liens sociaux qui existent entre les populations, ce qui renforce leurs capacités à mobiliser et à sensibiliser les populations. Bien que dotées de structures

³¹ Pour montrer la pertinence des actions que peuvent conduire les ANG dans les quartiers à travers la précollecte et le recyclage, Sotamenou (2006) présente les expériences de deux ONG exerçant dans la ville de Yaoundé : l'ONG Sarkan Zoumountsi dans le 2^{ème} arrondissement de Yaoundé et l'association TAM-TAM MOBILE dans 6^{ème} arrondissement. Elles assuraient la précollecte des déchets dans les bas-fonds, peuplés par ailleurs et inaccessibles aux camions de ramassage des DS à l'aide des outils adaptés comme les pousse-pousse (fourre-tout), des brouettes, des sacs en fibres de 100 kg, des râtaux, des pelles, des tridents, des houes et des pioches.

L'ONG « Sarkan Zoumountsi » qui assurait la précollecte et le compostage depuis 1995 au quartier Briqueterie (3800 ménages pour un peu plus de 27 000 habitants) employait de façon permanente 40 jeunes du quartier. Tous les matins, les DS précollectés étaient stockés dans un centre de précollecte où ils étaient triés et recyclés. Mais seulement la faiblesse des contributions des ménages (0,1 dollars US/jour) n'a pas permis la pérennisation de l'opération et aujourd'hui faute de moyens financiers cette ONG est en cessation d'activité. Alors qu'initialement, pour une production hebdomadaire de 161 tonnes de DS dans le quartier en 2002, le centre de précollecte de la Briqueterie devait permettre de récupérer 6,88 tonnes de déchets plastiques, papiers, aluminium et verre et de fabriquer 28,1 tonnes de compost toutes les semaines. Il ne restait donc plus qu'à évacuer 126,04 tonnes de « déchets inutiles » vers la décharge municipale. Cette réduction du tonnage des DS à transporter par HYSACAM aurait permis à la CUY de faire une économie de près de 50 000 USD tous les ans.

En 2004, une dizaine de jeunes du quartier Melen (915 ménages, un peu plus de 6090 habitants), membres de l'association Tam-Tam Mobile assuraient la précollecte tous les matins dans le quartier et déversaient en moyenne 03 tonnes de DS par jour dans les bacs à ordures de HYSACAM soit environ 70 tonnes de DS par mois. Mais aujourd'hui comme toutes les autres associations de précollecte de la ville, elle exerce dans des conditions difficiles liées notamment à la faiblesse des contributions des ménages et au manque de soutien institutionnel.

organisationnelles précaires, elles peuvent offrir un niveau de service appréciable à l'échelle de quartier. Elles mobilisent la participation directe des populations tout en leur permettant de participer directement aux décisions concernant les projets locaux comme la précollecte et le traitement des DS.

Au Cameroun en général et à Yaoundé en particulier, de nombreuses associations ont développé des projets pour la gestion décentralisée des déchets entre 1990 et 1998. Mais seulement, leurs actions sont restées négligeables puisque ne bénéficiant d'aucun soutien institutionnel. Le fait que HYSACAM soit payée sur la base du tonnage ne facilite pas la tâche aux associations locales et pourtant ces ANG travaillent dans des zones généralement non couvertes par HYSACAM. Après la loi sur les libertés d'associations de Décembre 1990, le nombre d'ONG et d'associations travaillant dans le domaine de la collecte, le traitement et le recyclage des DS a considérablement augmenté. Jusqu'aujourd'hui, bien que confrontés aux problèmes de financement et de soutien institutionnel, certaines ANG sont impliquées dans la précollecte, la récupération, le recyclage et même la transformation par compostage. A titre d'exemple, on peut citer le CIPRE, CIPCRE, ERA – Cameroun, Tam – Tam Mobile, FOCARFE, Sarkan Zoumounsti.

➤ **Les usagers**

Les usagers qui sont les premiers bénéficiaires du service de la propreté urbaine, ne sont pas hélas souvent associés au processus d'enlèvement des DS. Un programme de sensibilisation est intégré dans le contrat de HYSACAM uniquement pour faire changer le comportement de l'utilisateur. Les spots publicitaires tels que « *jetez vos ordures dans les bacs* », « *ne mettez pas le feu dans les bacs* », sont largement diffusés à travers les banderoles, les tracts et la télévision. Comme au Maroc, les femmes et les enfants au Cameroun participent majoritairement au transport des DS de leur domicile vers une décharge ou un bac à ordures (Ebot Manga et al., 2008 ; Achankeng, 2003 ; Yang et al., 2001). En effet, au Maroc 50% de femmes et 20% d'enfants se chargent du transport des DS contre 18% de femmes et 55% d'enfants au Cameroun (De la Laurencie, 2002 ; Ngnikam, 2002).

➤ **Les sociétés privées**

Les acteurs privés ont un contrat de marché public pour assurer le nettoyage de tout ou partie de la ville. Ce contrat peut les lier à l'Etat seul ou à la municipalité associée à l'Etat. Le problème avec les sociétés privées c'est que dans aucune ville d'Afrique subsaharienne, leur contrat ne couvre la totalité de la ville. Cette disposition n'est formalisée dans aucun document officiel mais c'est une réalité dans la mesure où la société est payée par tonne d'ordure collectée d'une part et d'autre part les provisions financières destinées à ce service sont insuffisantes (Ngnikam, 2002). En plus de HYSACAM, des Groupes d'Initiative Commune (GIC) participe à la collecte des DS (moyennant rémunération de la part des usagers bénéficiant de leurs services) notamment à Yaoundé mais à hauteur de 1% de ce qui est collecté par HYSACAM. C'est le cas du GIC JOVELEC qui assure la précollecte des DS et le compostage dans le quartier Mendong situé à la périphérie de Yaoundé (plus de 8000 habitants). Les statistiques obtenues à la décharge municipale de Yaoundé estiment à environ 115 tonnes de DS en moyenne collectés par les ANG de la ville.

➤ **Les bailleurs de fonds**

La Coopération Française à travers le Fonds Social de Développement et la Banque mondiale financent de temps en temps des initiatives telles que la précollecte, la récupération ou la valorisation agricole des déchets. Ce fut notamment le cas du Programme Social d'Urgence (PSU) financé entre 1993 et 1998 par la Banque mondiale et qui intervenait dans l'enlèvement des DS et l'assainissement à Yaoundé. Le tableau 11 montre que la collecte des DS concerne plusieurs acteurs dont le chevauchement des compétences représente une source de conflits.

b) Le cadre organisationnel de la gestion publique des déchets solides à Yaoundé

La gestion publique des DS à Yaoundé a connu beaucoup de mutations depuis les indépendances jusqu'à nos jours. Il s'agit à présent de présenter les quatre temps forts qui ont marqué ces mutations ainsi que l'organisation actuelle.

b.) L'évolution de la gestion publique des déchets solides à Yaoundé

L'histoire de la gestion publique des DS à Yaoundé fait ressortir différentes phases correspondant à des pratiques différentes et impliquant des acteurs spécifiques.

➤ Avant 1968 : Collecte en régie

En 1968, la collecte des DS dans la ville de Yaoundé est effectuée en régie par la municipalité de Yaoundé. Yaoundé compte à cette époque moins de 100 000 habitants répartis sur 1250 ha environ. Seuls les grands axes urbains, les quartiers haut standing et le centre administratif et commercial bénéficient du service de collecte des déchets. Les déchets biodégradables étaient déversés en brousse ou dans les champs, l'agriculture urbaine et périurbaine y étant déjà très accentuée.

➤ Entre 1968 et 1988 : Concession du service d'enlèvement des déchets à HYSACAM

La société d'économie mixte HYSACAM se voit confier le service d'enlèvement des DS par contrat de concession de 3 ans, qui est régulièrement reconduit. Le montant du financement est passé de 65 millions de par an en 1968 à 1,5 milliards en 1988, payés pour 2/3 par les subventions de l'Etat et pour 1/3 par le budget de la Communauté Urbaine de Yaoundé (CUY). Seuls les grands axes des quartiers densément peuplés sont desservis par HYSACAM au détriment des quartiers pauvres non accessibles et le centre ville. La quantité de DS enlevée était estimée entre 300 et 400 tonnes /jour en 1990.

➤ Entre 1988 et 1993 : Echec dans la gestion des déchets solides

Au cours de l'exercice budgétaire 1988-1989, les subventions de l'Etat passent de 1,5 à 1 milliard, budget qui a été annulé vers la fin de l'année 1990. HYSACAM cumule les impayés et la situation se dégrade jusqu'en juin 1991, date à laquelle la société HYSACAM cesse ses activités. Les mairies d'arrondissement prennent donc le relais et chacune d'entre elles héritent d'un stock de matériels de collecte des DS constitué d'une pelle chargeuse, de 2 camions bennes de 4 m³ et d'une dotation générale de

fonctionnement de 250 millions de FCFA qui couvre aussi bien le salaire du personnel, l'entretien de la voirie que la collecte des déchets. Du fait des tensions de trésorerie de l'Etat, ces montants ne sont pas entièrement libérés. Des petites et moyennes entreprises (PME) non préparées à cette tâche sont sollicitées par les communes urbaines d'arrondissement sur la base de marchés de gré à gré. L'échec de cette nouvelle approche se concrétise par la prolifération des décharges sauvages dans la ville et encore plus dans les bas-fonds. Cet échec voit l'entrée dans le système, en janvier 1992, de la société SECA, filiale d'HYSACAM, qui se retire malheureusement en juillet 1992, suite à l'irrégularité des paiements. Par la suite, la CUY et les CUA reprennent le ramassage des DS : elles contractent dès janvier 1993 avec la société Dragages - Cameroun, une société de travaux publics, sans pour autant disposer des moyens financiers suffisants au respect des termes de référence du contrat ; ce qui se solde par un nouvel échec.

➤ **Entre 1993 et 1998 : Implication de la Banque Mondiale dans le financement du service de collecte**

Un nouveau contrat de 37 millions de FCFA par mois est passé de gré à gré entre la Communauté urbaine de Yaoundé et la société privée CAMECAM. L'insuffisance d'équipements et l'amateurisme sont à l'origine de la défaillance de cette dernière. Yaoundé présente de 1993 à 1996, l'aspect d'une ville croulant sous le poids des déchets, avec une production de 800 tonnes d'ordures par jour. Il y a pendant trois années consécutives, un dysfonctionnement général du système de la propreté urbaine. Cette période voit l'émergence des ONG et Associations de quartiers dans le processus de collecte des DS. Des solutions plus ou moins efficaces sont préconisées, notamment dans certains quartiers. Il s'agit notamment du compostage des ordures ménagères, du recyclage d'une fraction des déchets, de la précollecte en porte à porte et de la collecte artisanale au moyen de véhicules non conventionnels tels que les pick-up. Dès novembre 1994, grâce à un financement de l'Etat camerounais puis de la Banque Mondiale, le PSU est mis sur pied pour résorber l'insalubrité par l'emploi de nombreux jeunes.

➤ **Depuis 1998 : Reprise du service de collecte par HYSACAM**

En Août 1998, la Communauté Urbaine revient à l'ancienne formule, avec la société HYSACAM, dont le nouveau contrat porte sur la collecte des déchets dans l'ensemble de la ville et le balayage des grands axes routiers. Le reste des DS échoue donc dans les ouvrages d'assainissement pluvial. Ce qui génère des problèmes sanitaires et environnementaux (paludismes, choléra, odeurs nauséabondes, ...) liés à la prolifération d'insectes et à l'émanation des gaz toxiques. La CUY n'a toujours aucune solution pour les zones non desservies, surtout pour les quartiers spontanés dépourvus de voirie. Il lui est difficile d'envisager des travaux en régie parce que sa capacité à investir dans l'achat de nouveaux équipements reste très faible. La forme de partenariat public – privé privilégiée dans la gestion des déchets au Cameroun est la concession (voir 1.2.1.a₂)

b₂) L'organisation de la gestion publique des déchets solides de Yaoundé

L'organisation de la gestion publique des DS à Yaoundé est un exemple type de partenariat public-privé et plus précisément de délégation de service public. Le partenaire public ici est l'Etat camerounais à travers la Communauté Urbaine de Yaoundé (CUY) et le partenaire privé est la société HYSACAM. Depuis septembre 1998 la CUY a de nouveau délégué le service public de gestion des DS à HYSACAM. La durée du contrat CUY – HYSACAM qui était initialement de 3 ans est passée à 5 ans depuis 2007 ; le contrat actuel sera renouvelé en 2011. Ce contrat est un contrat de concession dans la mesure où le concessionnaire (HYSACAM) qui bénéficie par ailleurs d'un monopole, crée lui-même les réseaux de collecte qu'il finance et gère. Cependant, il reçoit en contrepartie une redevance annuelle de la part du concédant (la CUY) basée sur le tonnage. Le budget annuel consacré à la gestion publique des DS à Yaoundé se chiffre à 06 milliards FCFA et le coût de revient de la tonne de DS collectée s'élève à 15600 FCFA dont 13089 FCFA pour la collecte et le transport des DS et le reste pour le traitement, soit 2511 FCFA la tonne.

HYSACAM a pour mission de collecter, transporter et traiter les ordures ménagères et de nettoyer les rues, places et marchés. Dans son contrat, aucun objectif chiffré ne lui est assigné ; l'objectif ultime de sa prestation est de rendre la ville salubre, et l'évolution de la salubrité est appréciée selon les critères aussi subjectifs que la diminution du nombre de dépôts sauvages dans la ville. Depuis 2007, HYSACAM a également la mission de collecter les déchets verts, de laver certaines rues et places spécifiques, de mettre à disposition de corbeilles à papier sur les voies principales et d'assurer la continuité du service de ramassage des DS 24H/24.

Les types de déchets pris en compte par le contrat CUY – HYSACAM sont :

- les déchets ordinaires (déchets d'aliments et du nettoyage normal des habitations, les débris de verre ou de vaisselle, etc.) ;
- les résidus et déchets ménagers en provenance du nettoyage des voies et places publiques, ainsi que les déchets ménagers des collectivités groupés sur des emplacements déterminés ou contenus dans des récipients ;
- les déchets provenant des établissements artisanaux, petits commerces, bureaux et administrations présentés dans les mêmes conditions que les déchets ordinaires ;
- les déchets végétaux provenant de l'élagage ou de la tonte effectuée dans les concessions publiques ou privées.

Ne sont pas compris dans le présent contrat, les déchets tels que : les débris provenant des travaux publics ; tous les résidus provenant d'une exploitation industrielle ou commerciale ; les déchets anatomiques ou infectieux provenant des hôpitaux ou cliniques, ainsi que les déchets en provenance d'abattoirs et les déchets industriels. Toutefois, la réglementation sur l'environnement prévoit que ces déchets soient traités par leurs producteurs avant leur rejet dans la nature (sous le contrôle de la Direction de l'Environnement).

A Yaoundé, le système de gestion des DS se limite aux opérations de collecte, de transport et de mise en décharge. Pour cela, HYSACAM a mis en place deux types de collecte bien distincts : la collecte de porte à porte et la collecte à point fixe. La collecte de porte à porte consiste à parcourir les quartiers avec les camions spécialisés (Benne tasseuse, Ampliroll, etc.) afin de collecter les DS déversés dans des sacs ou seaux poubelles. La collecte à point fixe quant à elle consiste à vider les bacs à ordures d'une capacité de 6 ou 16m³ disposés dans les carrefours et les zones à fort taux d'insalubrité. Une fois les déchets transportés, ils sont acheminés vers la décharge municipale. A la décharge, les camions de DS sont pesés sur un pont bascule qui enregistre le tonnage du camion dont le contenu est enfoui dans des casiers de 15 m. La décharge municipale de Yaoundé, encore appelée centre d'enfouissement technique est de type contrôlé³² ; elle est localisée à Nkolfoulou une banlieue située à 10 km au Nord – Est de la ville de Yaoundé. D'une superficie de 56 ha, la décharge de Nkolfoulou est opérationnelle depuis 1990 pour une durée de vie de 50 ans.

L'unique mode de traitement des DS à Yaoundé se réduit donc à la mise en décharge, qui selon Brula et al. (1995) est « une réinsertion » dans le milieu naturel, et ce dans les meilleures conditions possibles, des déchets qui n'ont pas fait l'objet d'autres traitements de valorisation ou d'élimination. Cependant, dans le cadre des projets MDP (Mécanismes de Développement Propre) initiés par la Commission des Nations Unies en charge des Changements Climatiques (UNFCCC), un projet de récupération du biogaz (méthane) a été lancé au centre de stockage de Nkolfoulou. Selon les responsables de HYSACAM, le projet ambitionne de réduire d'ici 2016, 919620 tonnes de CO₂.

Force est de remarquer que malheureusement, les opérations de précollecte et de compostage ne sont pas prises en compte dans le contrat CUY – HYSACAM. Et pourtant deux raisons majeures militent en faveur de la mise en place de ces opérations :

³² Décharge contrôlée s'oppose à décharge sauvage ou non contrôlée. Selon Mosler et al., (2006), les décharges non contrôlées sont source de pollution de l'air et du sous sol.

- la structure de l'habitat dans une ville comme Yaoundé fait que plus de la moitié de ses habitants vivent dans des bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des DS (INS, 2002) ;
- plus de 70% des DS produits à Yaoundé sont constitués de la matière organique (voir Tableau 3).

Selon Kapepula et al., (2007), l'absence des opérations de récupération et de recyclage des DS dans les PED constitue un obstacle majeur à une bonne gestion des déchets.

En résumé, le service public de gestion des DS à Yaoundé souffre d'un certains nombre de contraintes qu'il est important de relever.

- **Les contraintes financières :**

Comme principales limites au financement des DS à Yaoundé, on peut citer : le bas niveau de la TEOM retenue à la source pour les agents du secteur public et privé et pour les établissements payant les patentes et les licences, le fait que l'assiette de la TEOM ne couvre pas la majorité des ménages et surtout le secteur informel, il y a aussi le problème de l'unicité de caisse à l'intérieur des communes elles-mêmes et entre les caisses communales et le trésor public.

Selon Ngnikam & Tanawa (2006), pour pallier aux insuffisances liées au financement de la gestion des DS, il est possible d'envisager trois sources de financement : la taxation spécifique (par exemple, l'indexation du financement de la gestion des déchets sur la consommation d'électricité comme c'est le cas à Abidjan en cote d'ivoire), les produits de la valorisation des déchets (la vente du compost et d'objets récupérés, ainsi que l'utilisation du biogaz récupéré à des fins de chauffage et de cuisson, sont de sources potentielles de financement) et la contribution des usagers (comme dans bien de villes d'Afrique de l'Ouest les contributions des usagers couvrent souvent jusqu'à 50% du coût de gestion des DS).

- **Les contraintes institutionnelles :**

Au niveau institutionnel, de nombreux acteurs interviennent dans la filière avec des rôles tous aussi confus que non clairement définis. Au niveau étatique, presque tous les départements ministériels se retrouvent impliqués dans la gestion des DS même si cela se fait à des degrés divers (II.1.1.a). Au niveau des collectivités locales, il existe depuis et toujours un conflit de compétence entre les communautés urbaines et les communes urbaines d'arrondissement. Le chevauchement des compétences de la Communauté Urbaine et des Communes urbaines d'arrondissement donne lieu à des conflits entre le Délégué du Gouvernement nommé et les maires des communes urbaines d'arrondissement qui sont élus. En outre, les Communes urbaines d'arrondissement, à faible potentiel financier, matériel et humain, n'entretiennent pas entre elles des rapports pouvant faciliter la mobilisation de tous les acteurs non gouvernementaux.

Il faut toutefois mentionner le déficit de frontières nettes à l'exercice des responsabilités des différents intervenants par des lois et textes particuliers. Les imprécisions notées sont source d'incompréhension, de luttes d'influence, de contre-performance dans la gestion publique des DS. Le déficit de coordination de l'action des différents intervenants, la multiplicité des centres de décision sont source de fuite de responsabilité, ou de lutte de compétence. Le principe qui régit les rapports financiers entre l'Etat et les communes est celui de l'unicité de caisse et de trésorerie ; cette situation limite leur horizon prospectif. De plus, les rapports entre la Communauté Urbaine et les Communes Urbaines d'Arrondissement ne sont pas sans problèmes.

- **Les contraintes physiques :**

La plupart des systèmes de gestion des DS en Afrique sont ceux qui ont été mise en place pendant la colonisation. A cette époque les villes étaient petites et moins peuplées et la collecte des DS ne se faisaient que dans les quartiers des « colons » à l'aide des camions et bacs à ordures. Entre temps, les villes sont devenues plus grandes et peuplées. Comme obstacles physiques, on peut citer entre autres : le relief accidenté constitué d'un ensemble de collines et de vallées d'altitude variant entre 700

et 1200m, l'insuffisance des voies de desserte qui désenclavent certains quartiers et les privent du service d'évacuation des DS. A Yaoundé, moins de 50% de routes sont bitumées. Il est bien vrai qu'à la faveur de la remise de la dette par le gouvernement français dans le cadre du Contrat Désendettement Développement (C2D) certaines routes ont été bitumées et la ville est en plein chantier ; mais le déficit routier de la ville reste toujours une réalité. Devant une telle insuffisance du réseau de voirie, le service de ramassage des DS est rendu encore plus difficile.

Une autre contrainte à ce niveau est l'extension continue du périmètre urbain qui allonge les distances de collecte de DS. Yaoundé par exemple est passée de 1250 ha en 1968 à 18000 ha en 2000 et aujourd'hui elle s'étend sur 29357 ha³³. Selon l'INS (2002), l'habitat non structuré héberge 60% de la population de la capitale, et plus de la moitié (51%) des habitants accèdent à leur domicile par une piste de quartier. De plus, avec un taux d'urbanisation de 49%, il est difficile pour les camions de ramassage de parcourir certaines zones de la ville. Comme dans toutes les villes africaines, il existe une classe bourgeoise qui habite les « grands quartiers » et une classe de pauvres qui vivent dans les bas-fonds et loin des centres urbains. Les moyens et méthodes de collecte des DS devaient normalement suivre ces importants changements sociaux.

- **Les contraintes techniques**

Les services rendus souffrent de la non maîtrise et de l'inadéquation des techniques appropriées. Selon Cointreau-Levine & De Kadt (1991), les matériels de collecte des DS doivent être adaptés à la nature même des déchets produits. Comme obstacles techniques à la gestion publique des DS à Yaoundé, on peut citer entre autres : l'augmentation accélérée de la population qui à son tour augmente la quantité de DS à collecter ; la répartition spatiale des bacs à ordures qui ne tient pas souvent compte des besoins des usagers (quantité de déchets produite par personne ou par foyer, distance à parcourir, accessibilité, habitudes diverses...), la conception de ceux-ci ne

³³ Superficie de Yaoundé : Yaoundé I : 5552 ha ; Yaoundé II : 2191 ha ; Yaoundé III : 6941 ha ; Yaoundé IV : 5961 ha ; Yaoundé V : 2695 ha ; Yaoundé VI : 2371 ha ; Yaoundé VII : 3646 ha

prenant pas en compte les préoccupations d'environnement et de cadre de vie des populations avoisinantes ; l'absence des centres de précollecte de DS dans les zones inaccessibles aux camions de ramassage.

II.1.2. La production et la collecte des déchets solides à Yaoundé

Selon Ngnikam (2000), la production des DS à Yaoundé est de 0,60 kg/hbt/jour en saison sèche et 0,98 kg/hbt/jour en saison de pluies.

a) La production des déchets solides à Yaoundé

Dans cette sous section, il s'agit tout d'abord de présenter ce qu'était la production des DS en 2002 selon l'Institut National de la Statistique (INS), ensuite les quantités produites de DS entre 1990 et 1998 seront estimés.

a,) La production des déchets à Yaoundé en 2002 selon l'Institut National de la Statistique

En 2002, une enquête sur le cadre de vie des habitants de Yaoundé et Douala dénommée « enquête CAVIE » a été menée par L'INS. Cette enquête visait, entre autres, à présenter les caractéristiques sociodémographiques des populations et à collecter des informations sur les niveaux de production des déchets à l'échelle du ménage selon le type de quartier, le mode de gestion des DS et liquides par la population.

L'INS (2002) identifie cinq (5) types de quartiers à Yaoundé :

- les quartiers haut standing sont ceux où les villas modernes ou hauts bâtiments de classe prédominent ;
- les quartiers moyens standing sont ceux où les bâtiments avec plusieurs appartements prédominent ;

- les quartiers à habitat spontané sont ceux où les habitations sont d'accès difficile et serrées les unes contre les autres et donc sans plan d'urbanisation notoire ;
- les quartiers périurbains lotis sont ceux situés dans la périphérie de la ville et où les maisons sont construites suivant un plan d'urbanisme bien précis ;
- les quartiers périurbains non lotis sont ceux situés dans la périphérie de la ville et où les maisons ne sont pas construites un plan d'urbanisme.

La ville produisait en moyenne plus d'un million de seaux de 10 litres de déchets solides par semaine (Tableau 12).

Tableau 12 : Distance moyenne au bac à ordures le plus proche et nombres total et moyen de seaux de 10 litres de déchets solides produits par semaine selon l'arrondissement

Arrondissement	Distance moyenne au bac à ordures le plus proche (en m)	Nombre moyen de seaux de 10 l de DS par semaine par ménage	Nombre total de seaux de 10 l de DS produits par semaine
Yaoundé I	420	4	185 011
Yaoundé II	617	5	274 096
Yaoundé III	333	3	174 597
Yaoundé IV	671	5	232 022
Yaoundé V	655	3	105 251
Yaoundé VI	602	4	167 003
Ensemble	531	4	1 137 980

Source : INS/ CAVIE 2002

Au niveau des arrondissements, il faut remarquer que la plupart de ceux où les bacs à ordures étaient les plus éloignés (Yaoundé II et Yaoundé IV) produisaient plus d'ordures (les quantités respectives sont de 274 000 et 232 000 seaux de 10 litres par semaine). A Yaoundé V, l'on produisait moins de la moitié de la quantité enregistrée à Yaoundé II, soit environ 105 000 litres de seaux de 10 litres. Les quantités moyennes par ménage oscillaient entre 4 et 5 seaux de 10 litres par semaine. Et l'arrondissement de Yaoundé II était le plus gros producteur d'ordures. La distance au bac à ordures le plus proche était estimée par les chefs de ménage avec l'aide de l'agent enquêteur qui

au préalable avait fait le tour de sa zone d'enquête pour identifier la position géographique de certaines infrastructures. Les bacs à ordures étaient situés en moyenne à un peu plus de 500 mètres des domiciles. Cette distance moyenne n'était pas la même dans tous les arrondissements ; la plus faible distance était observée à Yaoundé III (333 mètres) et la plus élevée à Yaoundé IV (671 mètres). Ces distances sont élevées car les sociétés de ramassage des ordures ont tendance de nos jours à vulgariser l'utilisation des camions. Les populations attendent alors le passage des camions qui sillonnent les rues des quartiers pour se débarrasser des ordures au lieu de constituer des amas dégagés parfois après des mois et sources de nombreuses maladies.

Selon le tableau 13, 67 % de ménages jetaient les ordures ménagères dans un bac à ordures ou directement dans les camions chargés de la collecte.

Tableau 13 : Répartition des ménages par mode d'évacuation des déchets solides selon l'arrondissement

Mode d'évacuation	Yaoundé I	Yaoundé II	Yaoundé III	Yaoundé IV	Yaoundé V	Yaoundé VI	Ensemble
Ramassage camion/ bac à ordures	65,5	68,0	56,8	70,7	73,5	76,2	67,2
Jetés dans la nature	31,7	30,5	42,9	26,5	24,6	19,9	30,8
Enterrés/ brûlés	1,9	1,1	0,2	2,4	1,5	1,0	1,3
Recyclés	0,9	0,4	0,1	0,4	0,4	2,9	0,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Source : INS/ CAVIE 2002

C'est à Yaoundé VI qu'on trouvait un nombre relativement important de ces ménages. Malgré la relative proximité des bacs à ordures, près de 43% de ménages de Yaoundé III déversaient les déchets dans la nature, par exemple les cours d'eau et les terrains non bâtis (champs, forêts, etc.).

Dans les quartiers Périurbains non lotis, les bacs à ordures se trouvaient à plus de 1,5 km des domiciles ; ce qui explique parfois l'évacuation des ordures ménagères partout dans la nature, surtout dans les champs où elles sont très souvent utilisées comme fumier (Tableau 14). Dans les autres types de quartier, ces distances, même si elles valaient parfois le tiers de celles observées dans les quartiers Périurbains non lotis, demeurent encore élevées.

Tableau 14 : Répartition des ménages par mode d'évacuation des déchets solides selon le type de quartier

Mode d'évacuation	Haut standing	Moyen standing	Habitat spontané	Périurbain loti	Périurbain non loti
Ramassage camion/ bac à ordures	76,3	73,6	73,6	68,9	37,4
Jetées dans la nature	22,7	24,7	25,1	25,4	53,9
Enterrées/ brûlées	1,0	1,2	0,9	4,7	5,3
Recyclées	0,0	0,5	0,4	1,0	3,4
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Source : INS/ CAVIE 2002

Il avait été demandé au chef de ménage de préciser si oui ou non il traitait les déchets solides. D'après le tableau 15, les méthodes de traitement des ordures ménagères restaient encore méconnues par un nombre bien élevé de chefs de ménage ; seuls 7% d'entre eux prétendaient connaître le processus de traitement de ces déchets solides. Ce pourcentage était doublé à Yaoundé VI et réduit de moitié à Yaoundé V. Les méthodes de traitement des ordures ménagères restaient étrangères aux chefs de ménage des différents types de quartier. Dans les quartiers Haut standing, 14% de chefs de ménage affirmaient connaître le processus de traitement des déchets solides. Ce pourcentage était de 6% et 7% respectivement dans les quartiers Périurbains lotis et Moyen standing.

Tableau 15 : Proportion de ménages dont le chef connaît le processus de traitement des déchets solides

Type de quartier	Haut standing	Moyen Standing	Habitat Spontané	Périmètre urbain loti	Périmètre urbain non loti
%	14,3	6,9	7,1	5,8	8,8

Source : INS/ CAVIE 2002

Hormis les DS, d'énormes quantités d'eaux usées sont également produites par les ménages, près de 259 millions de litres d'eaux usées y sont ainsi produites chaque semaine (Tableau 16).

Tableau 16 : Quantité d'eaux sales produites par semaine par type de quartier

Type de quartier	Nombre moyen de seaux de 10 l d'eaux sales produites par semaine par ménage
Haut standing	75
Moyen standing	98
Habitat spontané	88
Périurbain loti	90
Périurbain non loti	122

Source : INS/ CAVIE 2002

Les aux usées sont très souvent versées dans la rigole dans les différents types de quartier, notamment dans les quartiers à Habitat spontané où 73% de ménages opte pour ce mode d'évacuation des eaux sales (Tableau 17).

Tableau 17 : Répartition des ménages selon le lieu d'évacuation des eaux sales par type de quartier

Lieu d'évacuation des eaux sales	Haut standing	Moyen standing	Habitat spontané	Périurbain Loti	Périurbain Non loti
A la cour	11,2	13,9	14,9	23,6	31,9
Dans la rigole	50,0	59,6	73,1	59,1	58,3
Fosse sceptique	30,6	23,7	8,8	15,4	7,8
Rivière ou ruisseau	8,2	2,8	3,2	1,9	2,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Source : INS/ CAVIE 2002

Concernant les déchets industriels (*Tableau 18*), Ngnikam et al., (1997) estiment leur production à 0,07 kg par habitant par jour à Yaoundé. 40% de ces déchets industriels étant non fermentescibles (56% sont recyclés et 44% mis en décharge) et 60% fermentescibles (71% pour l'alimentation des animaux et les PRO et 29% étaient mises en décharge). A Douala par contre, la fraction fermentescible dans les déchets industriels était moins importante qu'à Yaoundé (42%).

Tableau 18 : Mode d'évacuation des déchets solides dans les principaux quartiers de Bafoussam

Quartiers	Service de ramassage	Rigole	Champs	Rue	Rivière	Trou	Pas de réponse
Tougang – Ville	0,00%	40,50%	30,90%	19,00%	7,10%	0,00%	2,40%
Tougang village	0,10%	30,80%	59,60%	1,00%	3,20%	3,20%	1,00%
Tchouwou	0,00%	47,80%	39,10%	8,70%	0,00%	4,30%	0,00%
Moyenne	0,30%	39,70%	43,20%	9,60%	3,40%	2,50%	1,10%

Source : Mpakam et al., (2006)

Selon Mpakam et al., (2006), à Bafoussam, les pratiques en matière de gestion des DS sont désastreuses puisque 38% des DS produits sont déversés directement dans des rigoles obstruant ainsi l'écoulement des eaux et favorisant les inondations en saison de pluie. On notera cependant que 43% des DS produits dans la ville de Bafoussam sont déversés au champ afin d'être transformés en compost.

a₂) Estimation des quantités produites de déchets entre 1990 et 2008 à Yaoundé

La production des DS à Yaoundé est fonction entre autres de l'évolution de la population et de la structure de l'habitat (*Tableau 19*). Afin d'estimer la production annuelle totale (QP) des DS à Yaoundé, nous allons utiliser un modèle mathématique qui met en relation la production des déchets avec la démographie. Notre modèle mathématique peut s'écrire comme suit :

$$QP_i (i = 1990, 1992, \dots, 2008) = A \cdot Pop_i \quad (1)$$

Avec A , l'agrégation des productions mensuelles des DS en kg et Pop_i , la population obtenue sur la base d'un taux de croissance annuel de la population de 6,5%/an.

Tableau 19 : Production spécifique des déchets par type d'habitat

Type de tissus	Yaoundé (kg/habitant/jour)		Douala (kg/habitant/jour)	
	Saison Sèche	Saison des pluies	Saison Sèche	Saison Des pluies
Structuré haut standing	0,95	1,31	0,97	1,42
Structuré moyen standing	0,78	1,12	0,78	1,28
Lotissements municipaux	0,73	0,98	0,53	0,79
Spontané	0,50	0,80	0,46	1,00
Périurbains	0,63	0,95	0,45	0,91
Moyenne de la ville	0,60	0,98	0,68	0,98

Source : Ngnikam (2000)

Ne disposant pas des données récentes sur la population de Yaoundé, nous allons l'estimer en prenant comme référence la base des données de l'INS (2002) qui estime la population de Yaoundé en 2002 à 1420000 habitants³⁴.

Partant du fait que Yaoundé connaît deux saisons humides et deux saisons sèches³⁵, les quantités mensuelles produites estimées de DS de janvier à décembre (Tableau 20).

³⁴ L'Institut National de la Statistique (INS, 2002) estime la population de Yaoundé au 31 décembre 2002 à 1420000 habitants. La ville de Yaoundé connaît un taux de croissance annuel estimé à 7,3% et 6% au plus bas. Mais dans la littérature le taux de croissance annuel de la population de Yaoundé le plus souvent considéré est de 6,8%. Sur cette base et d'après nos estimations, la population de Yaoundé est estimée au 31 décembre 2005 à 1 729 825 habitants ; ce qui rejoint les prévisions des Nations Unis in UN-2002-World Urbanization Prospects-2001 qui l'estime à 1 720 000 habitants en 2005 et 2 281 000 en 2015.

³⁵ Yaoundé subit l'effet de quatre saisons : une grande saison sèche (entre mi-novembre et mi-mars), une petite saison sèche (entre mi-juin et mi-août), une grande saison de pluies (entre mi-août et mi-novembre), une petite saison de pluies (entre mi-mars et mi-juin). Par ailleurs les mois de décembre, janvier, février et juillet strictement secs et les mois de septembre, octobre, avril et mai sont strictement humides.

Tableau 20 : Estimation de la production mensuelle des déchets solides (A) (en kg/hbt)

Mois	Saison sèche			Saison de pluies			Production mensuelle
	Nombre de jours secs	Production journalière	Production de la période	Nombre de jours humides	Production journalière	Production de la période	
Janvier	31	0,60	18,60	0	0,98	0	18,60
Février	28	0,60	16,80	0	0,98	0	16,80
Mars	15	0,60	09	16	0,98	15,68	24,68
Avril	0	0,60	0	30	0,98	29,40	29,40
Mai	0	0,60	0	31	0,98	30,38	30,38
Juin	15	0,60	09	15	0,98	14,70	23,70
Juillet	31	0,60	18,60	0	0,98	0	18,60
Août	15	0,60	09	16	0,98	15,68	24,68
Septembre	0	0,60	0	30	0,98	29,40	29,40
Octobre	0	0,60	0	31	0,98	30,38	30,38
Novembre	15	0,60	09	15	0,98	14,70	23,70
Décembre	31	0,60	18,60	0	0,98	0	18,60
Total	181	0,60	108,60	184	0,98	180,32	A = 288,92 kgs

Source : Sotamenou (2005)

Tableau 21 : Estimation annuelle des quantités produites de déchets solides à Yaoundé (en tonnes)

Années	Population	Quantités de DS produits	Années	Population	Quantités de DS produits
1990	644812	186299	2000	1244933	359686
1991	688660	198967	2001	1329588	384144
1992	735488	212497	2002	1420000	410266
1993	785502	226947	2003	1516560	438164
1994	838916	242379	2004	1619686	467959
1995	895962	258861	2005	1729825	499781
1996	956887	276464	2006	1847453	533766
1997	1021956	295263	2007	1973080	570062
1998	1091449	315341	2008	2107249	608826
1999	1165667	336784	-	-	-

Le tableau 21 quant à lui présente les quantités totales annuelles (QP_i) estimées de DS produits à Yaoundé entre 1990 et 2008. Environ 1700 tonnes/jour de DS étaient donc produits à Yaoundé en 2008.

b) L'évolution du niveau de collecte des déchets solides à Yaoundé

Nous apprécions à ce niveau l'évolution du taux de collecte entre 1990 et 2008. Ensuite à l'aide des tests économétriques nous estimerons les taux de croissance des quantités de DS collectés et produits à Yaoundé.

b₁) Estimation du taux de collecte des déchets solides à Yaoundé entre 1990 et 2008

Le taux de collecte est le rapport entre les quantités de DS collectés (QC) et les quantités de DS produits (QP). Sa formule mathématique s'exprime comme suit :

$$TC = \frac{QC}{QP} \quad (2)$$

QP ont été estimées en II.1.2.a₂ de cette thèse et QC ont été obtenues dans un rapport fourni par HYSACAM en janvier 2009 à la Commission des Nations Unies en charge des Changements Climatiques (UNFCCC) dans le cadre des projets MDP³⁶. Selon ce rapport, en moyenne 147 tonnes de DS étaient collectées en 1990, 100 tonnes en 1995, 436 tonnes en 2000, 663 tonnes en 2005 et près de 997 tonnes de DS en 2009 au centre de stockage de Nkolfooulou. HYSACAM estime pouvoir collecter d'ici 2015 en moyenne 1262 tonnes tous les jours.

La Figure 7 présente l'évolution du taux de collecte des DS à Yaoundé entre 1990 et 2008.

³⁶ Website : <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/GSMJXOHPoD2QZVTLWI6R4BKY1735NC>

Figure 7 : Evolution du taux de collecte des déchets solides entre 1990 et 2008 à Yaoundé



L'on remarque une forte variation à la baisse du taux de collecte entre 1990 et 1998 qui se justifie par le fait que dès juin 1991, l'activité de collecte des déchets par HYSACAM a été suspendue (voir II.1.1.b₁). Au-delà des taux de collecte obtenus, nous remarquons cependant, à la lumière des observations faites sur le terrain, que le taux de couverture de la ville reste insatisfaisant (moins de 70%) puisqu'en dehors de grands axes urbains et de certains quartiers huppés de la capitale, nombreuses sont les habitants des quartiers périurbains populeux qui ne bénéficient pas de la collecte de leurs DS.

Force est également de remarquer qu'au-delà de l'évolution plus ou moins constante du taux de collecte des DS à Yaoundé, depuis 2002, les taux de collecte mensuels les plus bas correspondent très souvent aux périodes humides et donc les plus insalubres de l'année, ce qui laisse présager que l'activité de collecte des déchets n'est pas très efficace en saison pluvieuse (Tableau 22 ; Figures 8, 9 et 10).

En fait, les périodes humides sont les plus insalubres dans la mesure où elles correspondent généralement aux périodes de récoltes (les marchés étant inondés de fruits et légumes) et de fortes consommations dues aux températures basses. En plus, pendant ces périodes la densité des déchets ménagers augmente et ceux-ci pèsent plus lourds.

Tableau 22: Taux de collecte mensuels des déchets solides à Yaoundé entre 2002 et 2004

Année	Taux de collecte les Plus élevés (en %)	Taux de collecte les plus bas (en %)	Taux de collecte annuel moyen (en %)
2002	51,73 en juillet	09,05 en avril	35,43
2003	69,72 en juillet	29,15 en mai	46,80
2004	66,13 en janvier	15,16 en juin	47,40

Figure 8 : Evolution du taux de collecte des déchets en 2002

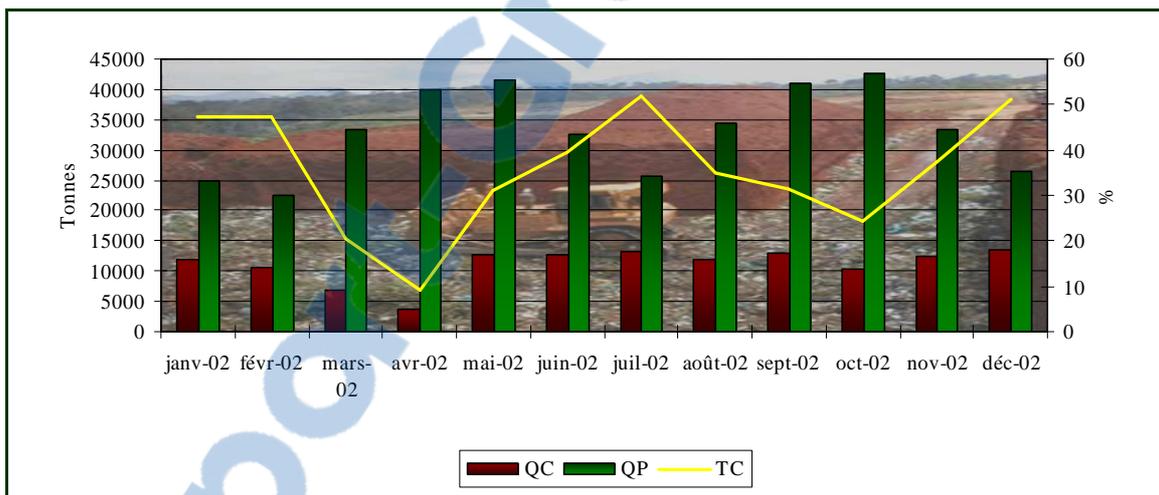


Figure 9 : Evolution du taux de collecte des déchets en 2003

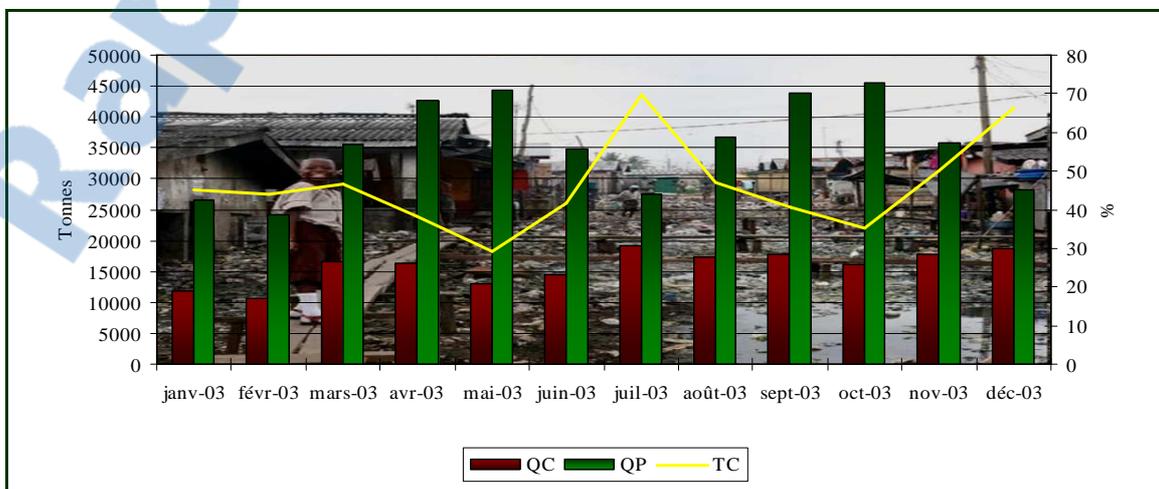
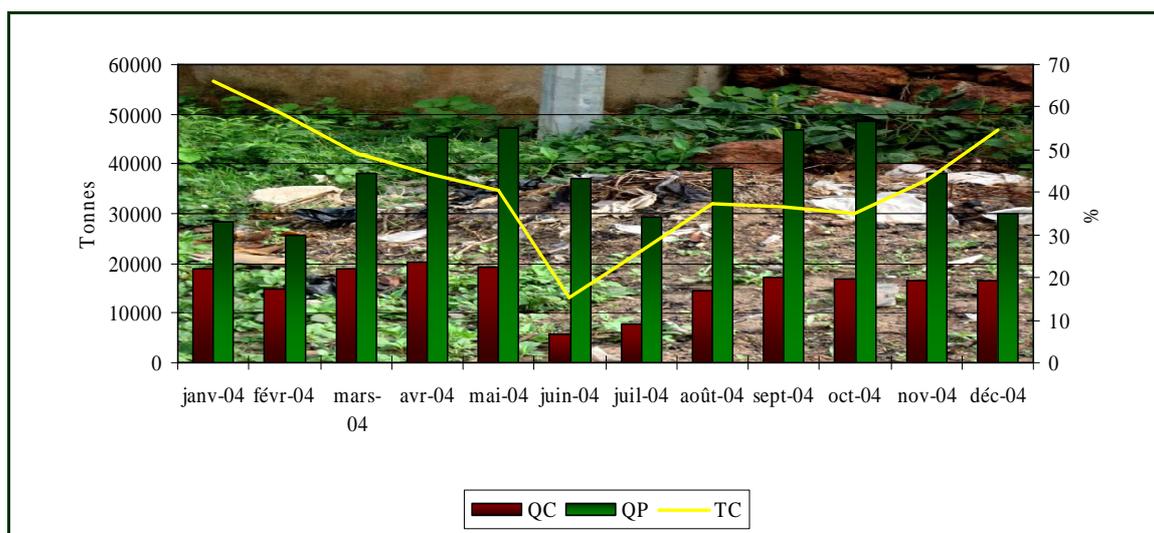


Figure 10 : Evolution du taux de collecte des déchets en 2004



b₂) Analyse économétrique des taux de croissances des quantités collectées et produites de déchets solides à Yaoundé entre 1990 et 2008

Comme l'indique le tableau 22, le taux de collecte moyen des DS à Yaoundé en 2002 était de 35%, 47% en 2003 et 2004. Entre 1999 – 2008, période à laquelle HYSACAM a repris le service public de collecte des DS à Yaoundé, le taux de collecte moyen est estimé à 47%. Mais si l'on prend en considération la collecte sur toute la période de l'étude, c'est-à-dire entre 1990 et 2008, le taux de collecte moyen de la période est de 34%.

Bien que ne disposant des données que sur une période de 19 ans, nous allons néanmoins estimer par la méthode des moindres carrés ordinaires, les équations suivantes :

$$\text{Log}(QC)_i = TCQC = a_c \quad (3) \quad \text{et} \quad \text{Log}(QP)_i = TCQP = a_p \quad (4)$$

Ces équations nous permettent de déterminer respectivement les pentes des quantités collectées et produites. En économétrie, ces pentes peuvent être interprétées comme étant des taux de croissance. Nous allons noter $TCQC$ et $TCQP$ les taux de croissance moyen des quantités de déchets collectés et produits entre 1990 et 2008.

Les tableaux 23 et 24 obtenus sous *Stata* montrent que $TCQC = 11,54$ et $TCQP = 12,73$.

On constate que $TCQP > TCQC$, cela signifie que le taux de croissance des quantités produites est supérieur au taux de croissance des quantités collectées, ce qui est très problématique sur le long terme si la tendance n'est pas inversée. Entre 1990 et 2008, le taux de collecte maximal est estimé à 57,51% en décembre 2008. Or le taux de collecte moyen correspondant à cette période, et que nous avons estimé plus haut est de 47%. L'on peut donc considérer que pendant cette période, HYSACAM a été 23% en dessous de ses capacités réelles.

Tableau 23 : Estimation du taux de croissance moyen des quantités collectées de déchets entre 1990 et 2008 à Yaoundé

Source	SS	df	MS			
Model	0	0	.	Number of obs = 19		
Residual	12.5110684	18	.695059356	F(0, 18) = 0.00		
Total	12.5110684	18	.695059356	Prob > F = .		
				R-squared = 0.0000		
				Adj R-squared = 0.0000		
				Root MSE = .8337		

lnqc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
_cons	11.54142	.1912644	60.34	0.000	11.13959	11.94325

Tableau 24 : Estimation du taux de croissance moyen des quantités produites de déchets entre 1990 et 2008 à Yaoundé

Source	SS	df	MS			
Model	0	0	.	Number of obs = 19		
Residual	2.46697953	18	.137054418	F(0, 18) = 0.00		
Total	2.46697953	18	.137054418	Prob > F = .		
				R-squared = 0.0000		
				Adj R-squared = 0.0000		
				Root MSE = .37021		

lnqp	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
_cons	12.7272	.0849317	149.85	0.000	12.54876	12.90563

II.2. Mise en évidence du système de gestion publique des déchets solides à Yaoundé

A la suite des analyses précédentes qui ont montré que le taux de collecte moyen des déchets solides à Yaoundé se situe autour de 47% et que le taux de croissance des

quantités produites de déchets solides évolue plus vite que le taux de croissance des quantités collectées, il s'agit à présent d'évaluer la performance du service public de gestion des DS à Yaoundé sur la base d'un indice composite de performance que nous allons construire. Ensuite, nous allons proposer un système de gestion alternatif des DS à Yaoundé.

II.2.1. Evaluation de la performance du service public de gestion des déchets solides à Yaoundé

Afin d'évaluer la performance du système actuel de gestion des DS à Yaoundé, nous allons construire un indice composite de performance constitué d'un ensemble de valeurs ou d'indicateurs qui nous semblent indispensables dans tout processus d'évaluation d'un service public de gestion des DS en Afrique. L'indice de performance que nous proposons permettra aux municipalités africaines d'évaluer les systèmes de gestion des DS qu'ils ont choisi et s'appuie sur quatre modules : le module institutionnel, social, économique et environnemental. Bien que ces modules ne soient pas toujours compatibles entre eux, il incombe à l'Etat de trouver le compromis socialement désirable entre ces différentes valeurs. Pour chaque critère de performance propre à un module, correspond des indicateurs de performance. Sur la base de cet indicateur composite de performance, nous allons évaluer le service public de gestion des DS à Yaoundé.

a) Construction d'un indice composite de performance d'un service public de gestion des déchets solides

Selon Boulanger (2004), un indicateur est une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable. En ce sens, il remplit une fonction de base d'information pour la prise de décision politique, mais aussi une fonction d'évaluation ou d'audit, interne et/ou externe. Il peut également constituer un ensemble d'éléments de la définition collective d'un service public (buts à atteindre, normes à respecter) et des moyens de l'atteindre (mesure du bien-être). Alors que de nombreuses études proposent des indicateurs de performance du service public de fourniture d'eau potable (Mathieu-Makkaoui, 2009 ; Guérin-Schneider & Nakhla, 2003 ;

Guérin-Schneider, 2002 ; Boyer et al., 2001 ; 1999), très peu d'études similaires existent dans le domaine des DS.

Bertolini (2008) a proposé un tableau de bord assez simple pour évaluer un service public local des déchets en France, et ceci afin de mesurer les progrès d'une collectivité en matière de gestion des déchets et d'établir des comparaisons entre plusieurs collectivités. Ses indicateurs regroupés en quatre (04) composantes comprennent outre la composante confort de l'utilisateur (accès à un service de qualité pour tous), la composante économique ou financière (maîtrise des coûts), la composante sociale (équité, solidarité) et la composante environnementale (réduction des risques de pollution).

a.) Les modules de notre indice composite de performance

Notre indicateur de performance se veut être composite. Il sera constitué d'un ensemble de valeurs qui nous semblent indispensables dans tout processus d'évaluation d'un service public de gestion des DS. Il prend en compte les aspects institutionnels liés à la gestion des DS et s'appuie sur le concept de développement durable.

Quatre modules vont donc constituer notre indicateur composite : le module institutionnel, social, économique et environnemental (Sotamenou, 2010a). Bien que ces modules ne soient pas toujours compatibles entre eux, il incombe à l'Etat de trouver le compromis socialement désirable entre ces différentes valeurs.

➤ Le module institutionnel

Comme critères de performance du module institutionnel nous retenons : la réglementation et la sélection des partenaires, la transparence des coûts et la responsabilité de l'Etat.

- **La réglementation et la sélection des partenaires**

Une façon de juger de la bonne réglementation et de la sélection des partenaires, consiste à apprécier les indicateurs comme : le lancement régulier des appels d'offre pour certaines tâches d'envergure (construction des infrastructures liées aux déchets) et l'évaluation périodique du cahier des charges.

En effet, une bonne sélection des prestataires est cruciale dans la gestion des déchets. A ce titre les appels d'offre mettent plus de transparence dans le processus d'attribution des marchés et permet à priori de sélectionner l'offre la plus pertinente en tout point de vue.

Dans le cas où le secteur public s'attacherait les services d'une entreprise privée, comme c'est très souvent le cas en Afrique, les parties impliquées doivent s'entendre pour privilégier une entente de longue durée, étant donné l'ampleur des investissements nécessaires. Bien évidemment au terme de l'entente, le cahier des charges devra être évalué périodiquement afin d'apprécier ce qui a été fait et prendre des mesures pour améliorer les activités futures.

- **La transparence des coûts**

Evaluer l'objectif de transparence des coûts revient à évaluer la clarté et le caractère incomplet du contrat comme indicateur de performance.

La transparence des coûts est nécessaire à l'imputabilité³⁷ de la gestion du service public des DS. L'estimation de tels coûts demande non seulement que l'Etat connaisse et soit transparent sur le coût de construction ou de l'aménagement des installations de la décharge, d'achat des camions, de leur entretien et de leur réparation, de la main d'œuvre, etc. mais aussi que l'on ait des données précises sur l'état des infrastructures, les quantités collectées et leurs conséquences, le taux de couverture de la ville, etc. De

³⁷ L'imputabilité consiste à établir les responsabilités en cas de défaillances dans la gestion des déchets. Elle fait justement appel à la responsabilité de l'Etat, à la transparence dans les coûts de gestion et à la réglementation.

même qu'il est important de considérer les externalités engendrées par les décharges, de plus il est indispensable que le contrat couvre les aléas qui peuvent survenir en cours de période. Mais le problème de la transparence déborde le domaine des coûts. En effet, étant donné l'asymétrie d'information concernant la qualité du traitement des DS, l'Etat et même les citoyens sont en droit de recevoir une information précise et continuellement mise à jour sur la qualité de la gestion des DS puisqu'ils payent pour certains la Taxe d'Enlèvement des Ordures ménagères (TEOM).

- **La responsabilité de l'Etat**

La responsabilité de l'Etat vis-à-vis du service public de gestion des DS peut se mesurer à partir des indicateurs comme la forte implication de l'Etat et l'évolution de ses subventions.

Étant donné les caractéristiques du marché des DS (monopole naturel, impact sur le bien-être social, conséquences environnementales, impacts sur la santé, etc.), l'État a un rôle incontournable à jouer, notamment à travers la réglementation et ce, quel que soit le mode de gestion privilégié. Bien évidemment, vu l'étroite relation *Evolution économique - Urbanisation - Production des déchets*, l'Etat se doit au fil des ans d'augmenter ses subventions pour faire face à la demande de service de collecte des DS toujours croissante.

➤ **Le module social**

Le module social s'appuie sur le principe d'équité qui comprend comme critères de performance : l'accès universel à un service de collecte des DS, la participation des usagers aux prises de décisions, le principe Pollueur – Payeur et l'équité intertemporelle.

- **L'accès universel à un service de collecte des déchets solides**

Le principe de l'équité repose sur une accessibilité universelle du service de collecte des DS. Il s'évalue en prenant en compte les indicateurs de performance tels que le

pourcentage de la population desservie, la fréquence élevée de la collecte, le nombre et la répartition géographique des bacs à ordures.

L'accessibilité n'implique nullement la gratuité du service ; bien au contraire, il est important de réaliser que la gratuité du service de collecte des DS n'engendre pas nécessairement une situation socialement équitable. La fréquence de la collecte ou encore le nombre de jours d'enlèvement par semaine doit être réglementée afin non seulement d'éviter l'accumulation des DS mais également de permettre à la population desservie de mettre leurs déchets aux heures prévues de la journée à la disposition des éboueurs.

Le nombre de bacs à ordures n'est pas sans intérêt puisque la distance qui sépare un ménage d'un bac influence significativement la destination de ses DS. Plus cette distance sera importante (nombre de bacs à ordures limités), moins seront collectés les DS. Bien évidemment, le pourcentage de la population desservie est également un indicateur de l'équité.

- **La participation des usagers aux prises de décisions**

Les indicateurs retenus sont : la présence des élus locaux au conseil d'administration de l'entreprise de collecte, la communication et la sensibilisation des populations par l'entreprise de collecte.

Tout service public de gestion des DS doit prendre en compte les desideratas des populations dans la mise en place de toute stratégie de collecte. En ce sens la présence des élus dans le comité de gestion ou de suivi de l'entreprise de collecte est nécessaire ; car les élus joueraient le rôle de courroie de transmission entre l'entreprise et la population. La fréquence des opérations de communication et de sensibilisation, l'éducation environnementale et même les campagnes de santé publique permettent également de mesurer le degré d'engagement de l'entreprise de collecte dans le social.

- **Le principe pollueur – payeur**

L'indicateur de performance qui permet de mesurer le degré de mise en place de ce principe est l'existence ou la mise en place des sanctions ou amendes pour tout pollueur.

Le principe pollueur – payeur est généralement accepté comme un principe d'équité fondamental. La mauvaise gestion des DS, source de pollution et de nuisance peut engendrer des conséquences néfastes non seulement du point de vue économique, mais également du point de vue sanitaire. Afin de remédier au problème de la pollution, le principe du pollueur – payeur est très important. Selon ce principe, l'utilisateur paye pour ce qu'il produit comme déchet. Chacun est donc ainsi incité à contrôler sa propre production et à réduire les nuisances liées à son activité; c'est donc un mécanisme d'incitation assez fiable. Un service public de gestion des DS performant ne doit pas perdre de vue cette exigence de sanction des pollueurs.

- **L'équité intertemporelle**

L'équité intertemporelle ici est considérée comme l'accès à toutes les générations présente et future à un service de gestion des déchets de qualité.

L'indicateur de mesure de l'équité intertemporelle est le niveau des investissements dans les infrastructures de gestion des DS (construction et aménagement des décharges, renouvellement du matériel de collecte, etc.).

Il est indéniable que les générations futures seront affectées par la gestion présente des DS. Par ailleurs, lorsque les investissements dans les infrastructures de gestion des DS tels que les bacs à ordures et les centres de précollecte des déchets dans les quartiers sont très souvent négligés et reportés dans le futur, le risque de devoir faire face à une crise majeure ou de devoir réparer à grand frais les conséquences qui découlent d'une telle négligence est accru. De même l'évolution croissante des quantités de DS produits implique un renouvellement régulier du matériel de collecte.

➤ **Le module économique**

Le module économique ou financier comprend comme critères de performance : la mise en place de la précollecte et du compostage, l'efficacité allocative et l'efficacité statistique.

- **La mise en place de la précollecte**

L'indicateur de performance de la précollecte c'est le degré de prise en charge de la précollecte (rémunération des précollecteurs, achat du matériel de précollecte, soins médicaux des précollecteurs, revenus issus de la vente d'objets récupérés).

Vu l'importance de la précollecte dans un système de gestion des DS au Sud, il faut que celle-ci existe et soit institutionnalisée (reconnue d'utilité publique). En effet, la précollecte est un ensemble des opérations d'évacuation des déchets depuis leur lieu de production jusqu'au lieu de prise en charge par le service de collecte. La pertinence de ces opérations repose sur le fait que l'absence de plan d'urbanisation dans bien de villes du Sud entraîne un foisonnement anarchique des maisons d'habitation inaccessibles aux camions de ramassage des DS.

L'avantage de la précollecte est qu'elle assurée généralement pas les jeunes des quartiers regroupés en association. Bien que faisant appel à des moyens modestes, la précollecte permet à de nombreux ménages de vivre de la récupération et du recyclage des objets en plastiques, verres et aluminium précollectés. Mais seulement la mise en place de la précollecte doit être précédée par la construction des centres de précollecte des déchets dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage. L'avantage de ces centres de précollecte est qu'ils facilitent le tri, la récupération et le compostage des déchets issus de la précollecte. De par son importance, l'existence et la conduite efficace de la précollecte constitue donc un critère de performance majeur dans l'évaluation de la performance d'un service public de gestion des DS au Sud.

- **La mise en place du compostage**

L'indicateur de performance du compostage c'est le degré de mise en place du compostage (rémunération des composteurs, achat du matériel de compostage, soins médicaux des composteurs, revenus issus de la vente du compost, etc.).

Comme pour la précollecte, de par son importance, la transformation de la part fermentescible des déchets précollectés en compost doit être institutionnalisée. L'on devra également veiller à ce que le compost produit soit de bonne qualité. La pertinence du compostage dans les économies africaines se justifie par la proportion très importante de la fraction fermentescible contenue dans les DS (50% - 80%). Les centres de précollecte des déchets facilitent les opérations de compostage et permet de mettre à la disposition des agriculteurs un compost de qualité et à moindre coût (puisque la proximité du lieu de production du compost des zones agricoles que sont les bas-fonds fait que les coûts de transport par exemple sont fortement réduits). Le compost présente aussi de grands enjeux économiques.

Comme pour la précollecte, l'inexistence des opérations de compostage aussi bien centralisées (à la décharge) que décentralisées (dans les centres de précollecte des bas-fonds) est un frein majeur à la performance de tout service public de gestion des DS au Sud.

- **L'efficacité allocative**

L'indicateur de performance de l'efficacité allocative est par définition la minimisation des coûts relatifs à la collecte (bacs à ordures et bennes de ramassage) et au transport (acheminement vers la décharge).

En terme économique, une méthode est dite efficace si et seulement si il n'existe aucune technique de production qui lui permette de générer le maximum d'output (taux de collecte élevés) en utilisant moins d'inputs (carburant, entretien camions de ramassage, main d'œuvre, etc.). Alors que l'efficacité est dite statique lorsqu'il y'a absence de gaspillage des ressources ou la minimisation des coûts de gestion des DS. L'efficacité allocative implique cependant plus que la minimisation des coûts, elle exige

également que la logistique liée à la collecte des DS soit plus importante dans les zones les plus insalubres.

- **L'efficacité statistique**

Les indicateurs de l'efficacité statistique sont : un taux de collecte supérieur à 75% et croissant sur le temps.

Le taux de collecte est le rapport entre les quantités de DS collectés et les quantités de DS produits. Pour Hebette (1996), ce taux doit être au moins supérieur à 75% car en-dessous de ce seuil, les DS accumulés deviennent préjudiciable pour l'environnement et la santé des populations. Pour pouvoir gérer de façon satisfaisante les DS, le niveau de la collecte doit évoluer avec le rythme de production des déchets. L'Etat peut donc par exemple indexer le taux de collecte des déchets au taux d'urbanisation.

➤ **Le module environnemental**

Le module environnemental comprend comme critères de performance : l'éco-efficacité, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la réduction de la pollution souterraine.

- **L'éco-efficacité**

Les indicateurs de performance de l'éco-efficacité sont essentiellement le respect des principes du développement durable.

Étant donné les caractéristiques du « produit » déchets, l'efficacité doit également être vu sous l'angle du développement durable ; d'où le concept d'éco-efficacité, qui repose sur l'idée du respect et de la préservation de l'environnement. Il est indéniable que la production des DS va de plus en plus croissante et représente de ce fait un enjeu majeur pour la qualité de notre environnement. Afin d'éviter une crise mondiale, il est primordial d'adopter le plus tôt possible une stratégie de gestion durable des déchets. Une gestion durable des déchets est une gestion qui permet aux populations de vivre dans un environnement sain sans compromettre la possibilité pour les générations futures d'en profiter également. Le concept d'éco-efficacité implique l'intégration de

l'environnement et de l'économie, la protection de la santé des populations, la protection des écosystèmes, le respect des normes internationales et la promotion de l'équité.

- **La réduction des émissions de gaz à effet de serre**

Les indicateurs de réduction de gaz à effet de serre sont : le faible taux d'enfouissement des DS et la mise en place d'un dispositif de récupération du biogaz.

Un système performant de gestion des DS doit intégrer l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Comme mentionné plus haut, les DS au Sud sont constitués essentiellement de la matière organique. Enfouir ces déchets provoque des émissions de gaz toxique comme le méthane qui contribue au réchauffement de la planète. Tout système performant de gestion des déchets doit donc veiller en amont à sensibiliser les populations de réduire leur production de DS et en aval à mettre en place des dispositifs de récupération du biogaz dans les décharges.

- **La réduction de la pollution souterraine**

Le critère de performance de la pollution souterraine est l'existence d'un dispositif de traitement des lixiviats.

Les lixiviats de décharge de DS véhiculent plusieurs types de pollution, dont la plus redoutée est celle par les métaux lourds (Ca⁺⁺, Cl⁻). La composition des lixiviats est fonction de la nature des DS enfouis ; cette composition évolue avec le temps et donc avec l'âge de la décharge. Le traitement des lixiviats est donc un critère déterminant dans l'évaluation d'un système de gestion des DS. Etant donné le niveau élevé d'eau contenu dans les DS au Sud (plus de 50% de la masse totale), ceux-ci produisent d'énormes quantités de lixiviat qui s'infiltrent dans le sol et polluent les nappes d'eau souterraine. Il est donc indispensable de mettre en place dans les décharges un dispositif fiable de récupération et de traitement de ces lixiviats.

Tableau 25 : Récapitulatif des indicateurs de performance retenus

Module	Fonctions d'objectif, critères de performance	Indicateurs de performance retenus
Institutionnel	Réglementation et sélection des partenaires	Lancement régulier des appels d'offres
		Evaluation périodique du cahier des charges
	Transparence des coûts	Clarté du contrat
		Contrat incomplet
	Responsabilité de l'État	Forte implication de l'Etat
		Evolution des subventions de l'Etat
Social	Accès universel à un service de collecte des déchets	Pourcentage de la population desservie
		Nombre et répartition des bacs à ordures, fréquence élevée de la collecte
	Participation des usagers aux décisions	Présence des élus locaux au conseil d'administration de la société
		Important budget communication de l'entreprise
	Principe Pollueur –Payeur	Sanctions (amendes) effectives des pollueurs
	Equité intertemporelle	Investissements dans les infrastructures de gestion des déchets (aménagement des décharges)
Economique	Mise en place de la précollecte	Prise en charge de la précollecte
	Mise en place du compostage	Prise en charge du compostage
	Efficacité allocative	Minimisation et maîtrise des coûts de gestion
	Efficacité statistique	Taux de collecte supérieur à 75% et croissant sur le temps
Environnemental	Eco-efficacité	Respect des principes de développement durable
	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Faible taux d'enfouissement des déchets fermentescibles
		Dispositif de récupération du biogaz
Réduction des pollutions souterraines	Dispositif de traitement des lixiviats	

a₂) Méthodologie de construction de l'indice composite de performance

Après avoir construit les modules de notre indicateur composite de performance, nous allons à présent essayer de le rendre opérationnel en affectant des coefficients à tous les indicateurs de performance (*Tableau 26*).

Nous allons affecter un coefficient unique (Coef. 01) à tous les indicateurs de performance. Mais les activités de précollecte, de collecte, de compostage, de traitement du biogaz et des lixiviats, bénéficieront d'un coefficient plus élevé que les autres (Coef. 02).

Nous justifions ce choix parce qu'en Afrique, ces activités sont indispensables dans tout système de gestion des DS pour des raisons évidentes que sont :

- le caractère inaccessible des camions de ramassage des DS dans certains quartiers périurbains et bas-fonds qui abritent généralement la plus grande proportion de la population (la précollecte) ;
- le taux de collecte est également un indicateur de performance majeur d'un service public de gestion des DS puisqu'il exprime le rapport des quantités collectées sur les quantités produites ;
- la proportion importante de la partie fermentescible des DS produits au Sud (compostage) ;
- la pollution de l'air due au biogaz et la pollution souterraine due aux lixiviats tous issus des DS fermentés après enfouissement (traitement).

En fonction de leur degré d'opérationnalité, les points affectés aux indicateurs de performance sont compris entre 0 et 10. Si l'indicateur de performance retenu est effectif sur le terrain, alors la note maximum de 10/10 lui est attribuée. Si par contre il n'est pas effectif, c'est 0/10. La note de 05/10 est attribuée lorsque le critère retenu est partiellement effectif ou mis en place sur le terrain.

Bien que la moyenne sur une échelle de 10 points possibles se situe au niveau de 05 points, nous choisissons 07 comme seuil de performance moyen de notre indice. Cela revient à dire que, tout système de gestion des déchets dont l'indice de performance X est inférieur au seuil de 07/10 points sera qualifié de sous-performant. Alors qu'au-delà de ce seuil, le système de gestion des déchets sera considéré comme performant.

Le choix de 07 points, au lieu de 05 points, comme seuil de performance se justifie par le fait qu'en matière de gestion de déchets, le fait de collecter 50% de la production n'est pas forcément satisfaisant, bien au contraire. De plus selon Hebette (1996), un taux de collecte des déchets inférieur à 75% est un signe d'inefficacité parce que préjudiciable pour l'environnement et pour la santé des populations.

b) Mesure de la performance du service public de gestion des déchets solides de Yaoundé

Nous allons à présent sur la base des modules ci-dessus construits, mesurer la performance du service public de gestion des DS à Yaoundé.

b,) Les modules de l'indice composite de performance à Yaoundé

➤ Le module institutionnel

Les critères de performance du module institutionnel que nous avons choisis sont : la réglementation et la sélection des partenaires, la transparence des coûts et la responsabilité de l'Etat.

- La réglementation et la sélection des partenaires

Indicateurs de performance : lancement régulier des appels d'offre et évaluation périodique du cahier des charges.

Bien que HYSACAM ait le monopole en ce qui concerne la gestion publique des DS à Yaoundé, la CUY lance de temps en temps des appels offre pour les chantiers de grande envergure comme l'aménagement de certains axes de la voirie municipale. D'ailleurs, elle souhaite élaborer une stratégie de gestion des déchets non pris en charge par HYSACAM³⁸ (déchets industriels, déchets d'hôpitaux, déchets de chantiers urbains) sous financement de l'Agence Française de Développement. Bien que certaines mesures importantes aient été prises dans le récent contrat de HYSACAM (continuité du service 24h/24 et lavage de certaines places spécifiques), très souvent le cahier de charge n'est pas évalué puisque le contrat est reconduit systématiquement tous les 5 ans depuis 2007.

Fort de ces remarques, il apparaît que la réglementation et la sélection des partenaires est effective à Yaoundé d'où la note de 10/10. Mais par contre, l'évaluation périodique

³⁸ Passation des marchés en cours depuis juillet 2009

du cahier des charges est partiellement effectif (mis en place) à Yaoundé d'où la note de 05/10 pour ce critère de performance.

- **La transparence des coûts**

Indicateurs de performance : clarté du contrat et incomplétude du contrat

Le contrat signé entre la CUY et HYSACAM, n'est pas explicite et ne prévoit pas des clauses en vue de son aménagement au cas où survient des imprévus en cours de période. En effet, aucun objectif chiffré n'est mentionné dans le contrat CUY – HYSACAM ; le seul objectif qui est assigné à HYSACAM est « *de collecter, de transporter et de traiter les ordures ménagères, de nettoyer les rues, les places et marchés afin d'atteindre une propreté intégrale de la ville* ». Cet objectif est d'autant plus subjectif que l'information concernant les coûts réels de collecte et de traitement des déchets est rare. Tous ses facteurs conjugués ne permettent pas de juger de l'efficacité du service rendu. Sans oublier que le prix du tonnage (15600 FCFA dont 2511 FCFA pour le traitement des DS) ne reflète pas l'ampleur des traitements à effectuer (traitement des lixiviats, traitement du biogaz) pour éviter les nuisances liées l'enfouissement. La détermination du coût optimal du tonnage suppose que l'Etat connaisse et soit transparent sur le coût de construction des installations de la décharge, d'achat des camions, de leur entretien et de leur réparation, ainsi que le coût de la main d'œuvre, mais encore que l'on ait des données précises sur l'état des infrastructures, les quantités collectées et leurs conséquences, le taux de couverture de la ville, etc.

Nous attribuons donc une note moyenne de 05/10 points aux indicateurs « clarté et incomplétude du contrat » des DS à Yaoundé.

- **La responsabilité de l'Etat**

Indicateurs de performance : Forte implication de l'Etat et évolution des subventions

Étant donné les caractéristiques du marché des déchets (monopole naturel, impact sur le bien-être social, conséquences environnementales, impacts sur la santé, etc.), l'État camerounais joue un rôle important, notamment à travers la réglementation. L'on

constate également que pour faire face à la demande du service de collecte toujours croissante, le budget consacré au service public de gestion des DS par l'Etat a considérablement augmenté. Passé de 1 milliard à 1991 à 1,5 milliards en 1998, le budget « déchets » n'a cessé d'augmenter pour s'établir en 2007 à 6 milliards de FCFA/an. En plus de cet acte positif, depuis 2007 l'Etat a mis sur pied une commission de suivi et de recette techniques dans un souci de transparence. L'Etat camerounais est donc fortement impliqué dans la gestion publique des DS à Yaoundé malgré le niveau assez faible du budget DS qui ne reflète pas l'ampleur des opérations à effectuer si l'on veut tenir compte du développement environnemental de la ville.

Nous attribuons donc une note de 10/10 points à l'indicateur de performance « forte implication de l'Etat » et 05/10 à « l'évolution des subventions ».

➤ **Le module social**

Critères de performance : Accès universel à un service de collecte des DS, participation des usagers aux prises de décisions, principe Pollueur – Payeur et équité intertemporelle.

- **L'accès universel à un service de collecte des déchets solides**

Indicateurs de performance : pourcentage de la population desservie, nombre et répartition géographique des bacs à ordures et fréquence d'enlèvement des DS.

Le principe d'équité du service public de collecte des DS à Yaoundé n'est pas respecté. HYSACAM n'ayant pas l'obligation de collecter les déchets dans les bas-fonds, puisque son contrat ne lui autorise qu'à collecter les DS jetés dans les bacs à ordures et collectés par leurs camions lors des passages dans les quartiers. Ce système bien évidemment marginalise une grande majorité de la population puisque 51% de la population qui vit dans les bas-fonds et accèdent à leur domicile par une piste de quartier sont privés du service de collecte. La répartition des bacs à ordures dans la ville est insuffisante et n'obéit pas une logique de densité ; puisque ceux-ci sont plus présents dans les grands axes urbains à faible densité de population que dans les

quartiers peuplés. Mais il faut noter que le contrat 2001-2012 de HYSACAM l'oblige à collecter plus fréquemment les DS puisque le service de collecte est assuré désormais 24h/24, ce qui est un point positif.

Nous attribuons donc 05/10 points aux indicateurs « pourcentage de la population desservie et nombre et répartition géographique des bacs à ordures ». La note de 10/10 est attribuée à l'indicateur « fréquence d'enlèvement des déchets ».

- **La participation des usagers aux prises de décisions**

Indicateurs retenus : présence des élus locaux au conseil d'administration de HYSACAM, communication et sensibilisation

Le contrat 2007-2012 de HYSACAM qui crée la commission de suivi et de recette technique comprend entre autres représentant de l'Etat, 07 élus locaux représentant les 07 arrondissements que comprend la ville de Yaoundé. Par ailleurs des efforts non négligeables sont faits dans la sensibilisation à travers les campagnes d'hygiène et de salubrité.

Nous attribuons 10/10 points aux indicateurs de performance « présence des élus locaux au conseil d'administration et communication et sensibilisation ».

- **Le principe pollueur – payeur**

Indicateur de performance : sanctions ou amendes pour tout pollueur.

A Yaoundé, le citoyen qui jette ses déchets en milieu de chaussée n'a peur d'aucune pénalité. De plus, la TEOM n'est pas indexée sur le niveau de pollution mais sur le capital de l'entreprise et le niveau des salaires. Toutefois toutes les entreprises polluantes sont tenues de traiter leurs déchets avant de les rejeter dans la nature. Dans les faits, le fait que ce principe ne soit pas appliqué n'est pas de nature à réduire le niveau de pollution de la ville.

Nous attribuons 0/10 points à l'indicateur de performance « sanctions ou amendes pour tout pollueur ».

- **L'équité intertemporelle**

Indicateur de performance : Niveau des investissements dans les infrastructures de gestion des déchets.

Les actions négligées du présent en ce qui concerne la protection environnementale des alentours de la décharge municipale, affectent les générations futures qui y vivront. En effet bien que seulement 22% de la surface de la décharge de Yaoundé (45 ha) soit effectivement exploitée, les populations environnantes souffrent de nombreuses nuisances comme la prolifération des insectes et les odeurs nauséabondes qui proviennent de la décharge. La décharge de Nkolfoulou est opérationnelle depuis 1990, mais à l'époque le quartier était assez loin de la ville. Mais aujourd'hui, à la faveur de la forte urbanisation et la création d'une université non loin du site, cette décharge se retrouve intégrée à la ville. En plus aucun investissement n'est fait pour construire les centres de précollecte des déchets dans les quartiers peuplés. Toutefois HYSACAM dispose d'un parc automobile bien fourni et régulièrement rénové, bien que ses camions ne desservent pas tous les quartiers de la ville.

Nous attribuons donc la note de 05/10 points à l'indicateur de performance « niveau des investissements dans les infrastructures de gestion des déchets ».

➤ **Le module économique**

Critères de performance : la mise en place de la précollecte et du compostage, l'efficacité allocative et l'efficacité statistique.

- **La mise en place de la précollecte**

Indicateur de performance : degré de prise en charge de la précollecte

La précollecte est inexistante à Yaoundé. Elle a existé par le passé avec des résultats probants mais faute de moyens financiers les associations de précollecte sont en cessation d'activités et quand bien même quelques rares d'entre elles continuent le

service, elles peinent à s'autofinancer puisqu'elles comptent essentiellement sur les contributions des ménages bénéficiaires du service. Non seulement la précollecte ne figure pas dans le contrat de HYSACAM, mais elle n'est pas soutenue par l'Etat. La mise en place de la précollecte doit être précédée par la construction des centres de précollecte des déchets. La pertinence de cette opération se justifie par l'absence de plan d'urbanisation qui fait que la majorité des maisons d'habitation sont inaccessibles aux camions de ramassage des déchets. Bien que la précollecte ne soit pas institutionnalisée au Cameroun, HYSACAM accepte néanmoins de collecter les DS que reversent les associations de précollecte dans ses bacs à ordures.

Nous attribuons 0/10 points à l'indicateur de performance « degré de prise en charge de la précollecte ».

- **La mise en place du compostage**

Indicateur de performance : degré de mise en place du compostage

Comme pour la précollecte, il n'existe pas d'unités de compostage au Cameroun. Elles ont existé par le passé avec des résultats probants mais faute de moyens financiers les associations qui fabriquaient le compost sont en cessation d'activités. De même, elle n'est pas soutenue par l'Etat. Réalisé en principe après les opérations de précollecte, le compostage se justifie grandement à Yaoundé au regard de la proportion très importante de la fraction fermentescible contenue dans les déchets (50% - 80%). Comme pour la précollecte, l'inexistence des opérations de compostage aussi bien centralisé que décentralisé est un frein majeur à la performance de tout service public de gestion des déchets au Sud.

Nous attribuons 0/10 points à l'indicateur de performance « degré de mise en place du compostage ».

- **L'efficacité allocative**

Indicateur de performance : minimisation et maîtrise des coûts relatifs à la collecte

Bien que n'ayant pas des informations sur les inputs (carburant, entretien camions de ramassage, main d'œuvre, etc.), nous disposons néanmoins des informations sur le coût de transport du tonnage et du traitement des déchets. Ce budget de 15600 FCFA par tonne mise en décharge correspond selon nos estimations à un taux de collecte moyen de 47% (1.2.1.b). Il serait difficile de juger de l'efficacité allocative du budget de la collecte à Yaoundé, mais il est en effet souhaitable d'avoir plus d'informations sur la méthodologie de fixation du cout du tonnage. L'efficacité allocative exige également que la logistique liée à la collecte des déchets soit plus importante dans les zones les plus insalubres, ce qui n'est pas toujours le cas à Yaoundé.

Nous attribuons 05/10 points à l'indicateur de performance « minimisation et maîtrise des coûts relatifs à la collecte ».

- **L'efficacité statistique**

Indicateur de l'efficacité statistique : taux de collecte supérieur à 75% et croissant sur le temps

Selon Sotamenou (2005), le taux de collecte des DS à Yaoundé en 2005 était estimé à 41%, les estimations faites dans cette étude montre que bien que toujours faible, le taux de collecte a néanmoins connu une nette amélioration et avoisinait les 50% en 2008. Cette nette, mais faible évolution peut se justifier par l'augmentation du prix du tonnage qui a également connu une nette évolution. Il est en effet passé de 13532 FCFA en 2004 à 15600 FCFA en 2007 ; bien que comme souligné précédemment, nous n'avons pas d'information sur la logique qui justifie l'évolution de ce prix.

Nous attribuons 05/10 points à l'indicateur d'efficacité statistique.

➤ **Le module environnemental**

Critères de performance : éco-efficacité, réduction des émissions de gaz à effet de serre et réduction de la pollution souterraine.

- **L'éco-efficacité**

Indicateurs de performance : respect des principes du développement durable.

L'éco-efficacité implique que le service public de gestion des déchets à Yaoundé soit soucieux de l'environnement, de la protection de la santé des populations, des écosystèmes et des normes internationales ; sans oublier la promotion de l'équité. En s'appuyant sur ces points forts du concept d'éco-efficacité, nous regrettons que bien le service de gestion des DS à Yaoundé connaît depuis 2007 d'importantes améliorations, les aspects sanitaires et environnementaux soient encore quelque peu négligés d'où la note de 05/10 points.

- **La réduction des émissions de gaz à effet de serre**

Indicateurs de réduction de gaz à effet de serre : faible taux d'enfouissement des déchets (fermentescibles) et mise en place d'un dispositif de traitement du biogaz.

Depuis la mise en service du centre de stockage de Nkolfooulou en 1990, 03 millions de tonnes de DS ont déjà été enfouis soit 02 millions de tonnes de déchets fermentescibles dont 800 000 tonnes de matière organique sèche en 20 ans. Cet enfouissement de la matière fermentescible sera toujours effective tant que les opérations de tri et de compostage avant enfouissement ne seront mises en place. Or selon Ripatti & Savolainen (1996), une tonne de matière organique sèche peut émettre en une quarantaine d'années environ 225 kg de méthane soit 4,95 ECO₂³⁹ à l'horizon de 100 ans. Ceci nous emmène à estimer à 90 mille tonnes⁴⁰ (soit 792 000 ECO₂⁴¹) , la quantité de méthane déjà émis par le centre de stockage de Nkolfooulou avec tout ce que cela comporte comme impact négatif aussi bien pour l'environnement que pour la santé des populations. Mais le projet de mise en place à la décharge d'un dispositif de

³⁹ ECO₂ = tonne équivalent gaz carbonique

⁴⁰ 800000 tonnes x 225 kg de méthane x 20 ans / 40 ans

⁴¹ 800000 tonnes x 4,95 tonnes équivalent CO₂ x 20 ans / 100 ans

récupération du biogaz, permettra de capter le biogaz émis par la décharge et réduire de ce fait les nuisances liées au biogaz.

Nous attribuons 0/10 à l'indicateur « faible taux d'enfouissement des déchets » et 05/10 points à l'indicateur de performance « réduction des émissions de GES».

- **La réduction de la pollution souterraine**

Critère de performance de la pollution souterraine : existence d'un dispositif de traitement des lixiviats.

Un kilogramme de DS enfouit au centre de stockage de Nkolofoulou à Yaoundé contient 500 g (0,5 kg) d'eau en moyenne. Or selon HYSACAM, en moyenne un million kg de DS sont enfouis tous les jours au centre de stockage de Nkolofoulou soit 500000 kg d'eau (500 m³/jr) en moyenne. Sous l'effet de la chaleur, ces 500 m³ d'eau enfouis se décomposent et s'évapore sous forme de gaz et le reste se transforme en lixiviat. Or actuellement au centre de stockage, il n'existe qu'un bassin de rétention de lixiviat d'une capacité de 160 m³ ce qui bien évidemment ne permet pas un traitement adéquat de ces lixiviats.

Nous attribuons donc 05/10 à l'indicateur « traitement des lixiviats ».

b₂) Calcul de l'indice composite de performance du service public des déchets solides à Yaoundé

A partir des discussions précédentes (II.2.1.b₁), le tableau 27 montre que l'indice X de performance du service public des DS à Yaoundé n'est pas performant.

Tableau 27 : Indice composite de performance du service public des déchets solides à Yaoundé

Module	Fonctions d'objectif, critères de performance	Indicateurs de performance retenus	Points 1 – 10 (x _i)	Coef. (c _i)	Score (x _i .c _i)
Institutionnel	Réglementation et sélection des partenaires	Lancement régulier des appels d'offres	10	1	10
		Evaluation périodique du cahier des charges	05	1	05
	Transparence des coûts	Clarté du contrat	05	1	05
		Contrat incomplet	05	1	05
	Responsabilité de l'État	Forte implication de l'Etat	10	1	10
		Evolution des subventions de l'Etat	05	1	05
Social	Accès universel à un service de collecte des déchets	Pourcentage de la population desservie	05	1	05
		Nombre et répartition des bacs à ordures	05	1	05
		Fréquence de la collecte	10	1	10
	Participation des usagers aux décisions	Présence des élus locaux au conseil d'administration de la société	10	1	10
		Communication et sensibilisation des populations par l'entreprise de collecte	10	1	10
	Principe Pollueur –Payeur	Sanctions (amendes) effectives des pollueurs	0	1	0
	Equité intertemporelle	Investissements dans les infrastructures de gestion des déchets (aménagement des décharges)	05	1	05
Economique	Mise en place de la précollecte	Prise en charge de la précollecte	0	2	0
	Mise en place du compostage	Prise en charge du compostage	0	2	0
	Efficacité allocative	Minimisation et maîtrise des coûts de gestion	05	1	05
	Efficacité statistique	Taux de collecte supérieur à 75% et croissant sur le temps	05	2	10
Environnemental	Eco-efficacité	Respect des principes de développement durable	05	1	05
	Réduction des émissions de gaz à effet de serre	Enfouissement des déchets fermentescibles	0	1	0
		Dispositif de traitement du biogaz	05	2	10
	Réduction des pollutions souterraines	Dispositif de traitement des lixiviats	05	2	10
Total général			04,80	26	125
Indice de performance = 05					



II.2.2. Proposition d'un système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé

A la suite du résultat précédent qui indique que le service public des DS à Yaoundé est sous-performant, il s'agit maintenant pour nous dans cette sous section de proposer un système alternatif de gestion des DS à Yaoundé. Ce système devra prendre en compte les préoccupations de développement socio-économique et environnemental de la ville de Yaoundé.

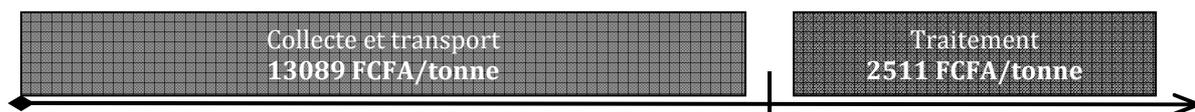
a) Analyse économique et environnementale du système de gestion actuel des déchets solides à Yaoundé

Quel est le coût du système actuel de gestion des DS à Yaoundé et quels en sont les sources de financement ? Tel est l'objet de ce paragraphe.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE 

a₁) Les coûts du système actuel de gestion des déchets solides

Comme nous l'avons souligné en II.1.1.b₂, le système actuel de gestion des DS à Yaoundé se limite aux opérations de collecte, de transport et de mise en décharge. 15600 FCFA sont consacrés à la gestion d'une tonne de DS ; repartis comme suit :



L'Etat camerounais consacre donc 13089 FCFA pour la collecte et le transport d'une tonne de DS dans la ville de Yaoundé et 2511 FCFA pour son traitement. Le traitement consiste en principe à l'enfouissement et au traitement des lixiviats et biogaz. Bien que ne connaissant pas les mécanismes et méthodes qui ont permis de fixer ces prix, Il apparait clairement que le budget du tonnage actuel ne peut permettre un traitement adéquat des externalités liées à l'enfouissement brut des DS. A titre d'exemple, le traitement d'une tonne de déchet organique par méthanisation (traitement des biogaz) coûte entre 50 et 80 euros (32000 FCFA et 52000 FCFA) ; ce qui est déjà largement supérieur aux 2511 FCFA consacrés au traitement d'une tonne de DS

collectée à Yaoundé. La faiblesse du budget consacré à la gestion des DS à Yaoundé tient au fait que les sources de financement de la filière déchet ne sont pas diversifiées.

a₂) Les sources actuelles de financement

Les sources de financement de la filière déchet à Yaoundé sont de deux ordres :

- la contribution pour 20% de la CUY ;
- la contribution pour 80% de l'Etat (y compris la TEOM).

La contribution de la TEOM est négligeable puisque ne représente que moins de 10% des contributions totales. Cette taxe a été fixée par les décrets n° 77/220 du 1^{er} juillet 1977 et n° 80/017 du 15 janvier 1980. Les taux varient entre 50 et 30000 FCFA par an pour les établissements payant patente et licence et ayant un capital inférieur à 500000 FCFA par an pour les employés et agents des secteurs publics et privés et soumis à la retenue à la source, en fonction du salaire mensuel (150 FCFA pour les salaires inférieures à 15000 FCFA, 5000 FCFA pour les salaires compris entre 15000 et 250000 FCFA et 10000 FCFA pour les salaires supérieures à 500000 FCFA)⁴². L'un des problèmes majeurs que rencontre la gestion des DS au Sud en général et au Cameroun en particulier reste la faiblesse des financements alloués à la gestion des déchets (Tinmaz & Demir, 2006). Bien que la part du budget affecté à la gestion des déchets (6 milliards/an) ne soit pas négligeable, la prise en compte des contraintes

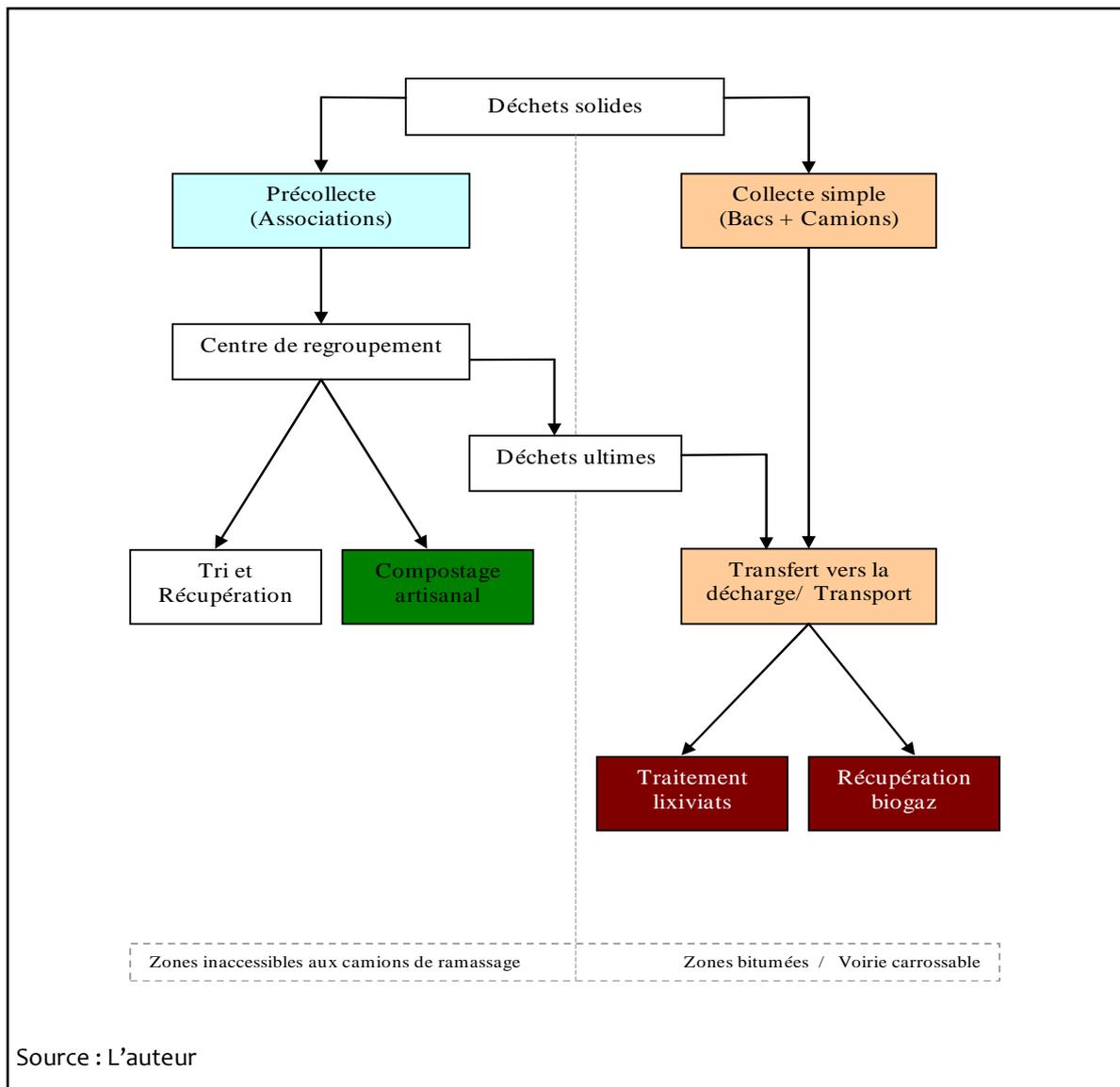
⁴² La taxe sur l'enlèvement des ordures ménagères (TEOM) frappe outre les personnes physiques, les établissements patentables, mais elle ne tient pas compte de la quantité de déchets produits par chaque individu; ce qui pourrait constituer une défaillance des textes existants. Cette taxe est sensée couvrir les dépenses d'eau (bornes fontaines publiques, qui n'existent d'ailleurs plus !), d'éclairage public, d'ambulance et de ramassage des déchets. L'assiette de cette taxe est basée uniquement sur les salariés, les établissements payant patentes et licences, d'où le mauvais rendement de collecte de cette taxe depuis son instauration. En effet, au regard des montants des différents contrats d'enlèvement des déchets, et compte tenu de l'état de recouvrement partiel et insatisfaisant de la taxe, il apparaît évident qu'un déséquilibre financier (recettes et dépenses) sévit dans le domaine de la gestion des déchets. En effet entre 1988 et 1991, les pourcentages des recettes sur les dépenses de la CUY oscillaient entre 5 et 16%.

environnementales (récupération du biogaz et traitement des lixiviats) nécessite hélas un budget plus important, comme nous le verrons en II.2.2.b.

b) Analyse économique et environnementale d'un système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé

Le système alternatif de gestion des DS à Yaoundé que nous proposons est celui qui comprend les opérations de précollecte, de compostage, de collecte et de transport, de mise en décharge et de traitement de lixiviats et de biogaz. En résumé, la figure 11 présente le système alternatif tel que nous l'imaginons.

Figure 11 : Le système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé



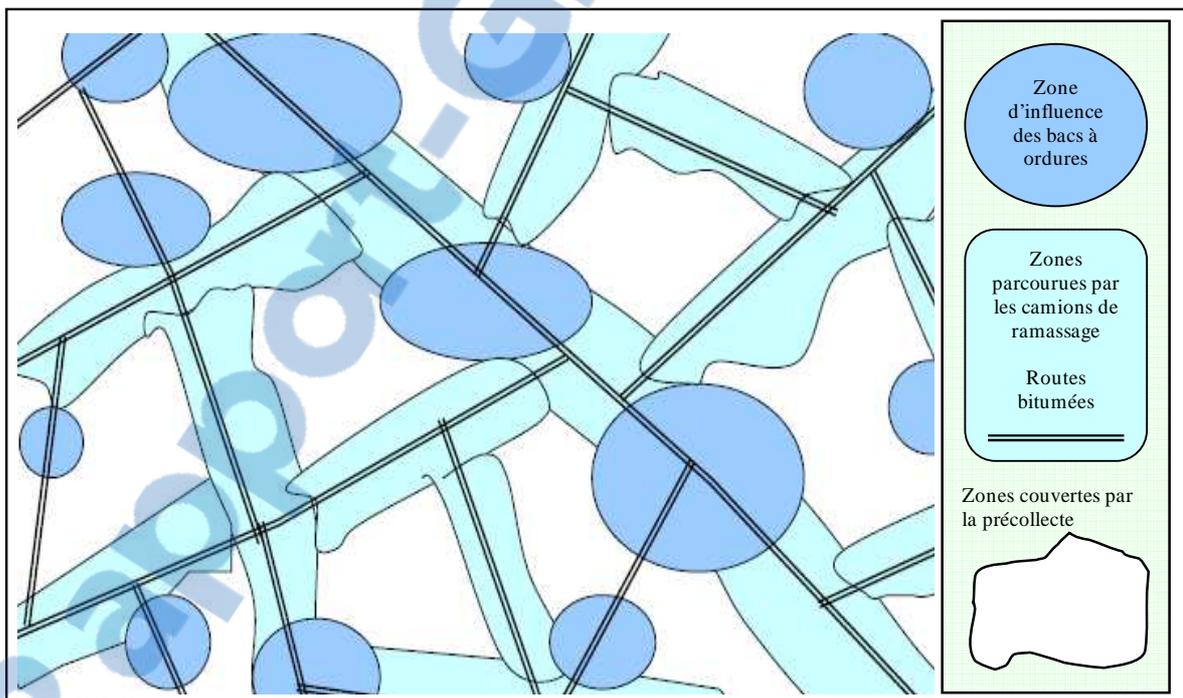
b.) Estimation du coût du système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé

Il s'agit maintenant dans cette sous-section d'évaluer, en fonction des quantités et de la qualité des DS produits à Yaoundé, le montant global des coûts relatifs à chacun des maillons de ce système.

➤ Coût de la précollecte :

La précollecte est la collecte et l'évacuation des DS des zones enclavées (zones blanches sur la figure 12) vers un centre de précollecte, un bac à ordures ou une zone accessible aux camions de ramassage. La figure 12 montre la complémentarité entre la collecte traditionnelle (bacs à ordures et camions de ramassage) et la précollecte.

Figure 12 : Principe de couverture de la collecte et complémentarité avec la précollecte



Source : Ngnikam (2003)

Selon AGRO PME ERA (2000), dans les quartiers périurbains de Yaoundé, 57 % de la population vit à plus de 200 m de la route accessible aux camions de ramassage des DS (Tableau 28).

Tableau 28 : Distance domicile – routes accessible aux camions de ramassage

Distance entre la route bitumée et le domicile du ménage	Répartition de la population (en %) de Yaoundé selon le type d'habitat			
	Haut standing	Moyen standing	Spontané	Périurbain
0 – 50 m	100	68	26	15
50 – 100 m	0	14	20	06
100 – 200 m	0	12	17	22
Plus de 200 m	0	06	37	57
Moyenne (m)	25	62	158	213

Source : AGRO PME ERA (2000)

La précollecte peut être effectuée soit par le ménage producteur de déchets (précollecte volontaire) soit par les associations locales (précollecte de porte à porte). La précollecte volontaire consiste pour un ménage d'acheminer lui-même ses DS dans des seaux ou sacs poubelles. La précollecte de porte à porte quant à elle se fait à l'aide d'outils rudimentaires tels que les brouettes, les porte-tout, les seaux ou sacs poubelles. La précollecte de porte à porte est généralement assurée par des associations locales (ONG, GIC, GIE) constituées d'une dizaine de jeunes de quartiers, et les ménages qui en bénéficient paient souvent une redevance mensuelle aux opérateurs de précollecte qui varie de 500 FCFA à 1500 CFA (0,7 euros – 2,5 euros). Les DS ainsi précollectés sont transférés vers des bacs à ordures publics ou vers des centres de précollecte généralement situés non loin des maisons d'habitations. Malheureusement, la précollecte est confrontée à de nombreuses contraintes. Etant donné qu'elle se fait de façon informelle moyennant une redevance mensuelle de la part des ménages, les associations de précollecte sont très souvent en cessation d'activité parce que parfois certains ménages ne paient pas ou paient de façon irrégulière leurs contributions. Le taux de recouvrement des redevances de précollecte varie entre 50 et 75% et cela se justifie par le fait que la précollecte se fait généralement dans des quartiers pauvres.

Nous pouvons également citer comme autres contraintes, la réticence de la population par rapport aux initiatives collectives suite aux précédents échecs et la non coopération de l'entreprise « officielle » en charge de la collecte des déchets, qui considère souvent à tort que les associations locales de précollecte grignotent leur part de marché.

Pour estimer le coût d'une tonne de DS précollectés, nous allons nous appuyer sur le bilan financier de deux associations de précollecte basée à Yaoundé : les associations Tam-Tam Mobile et GIC JEVOLEC⁴³.

Les actions de l'association Tam – Tam Mobile couvrent les secteurs III et IV du quartier Melen et les actions du GIC JEVOLEC couvrent le quartier Mbenda tous dans le 6^{ème} arrondissement de Yaoundé. Les quartiers concernés par l'action pilote abritaient environ 1300 ménages pour une population estimée à 8325 habitants pour une production journalière des DS estimée à 06 tonnes. Une campagne de mesure des DS précollectés a été organisée pendant la semaine du 23 au 28 septembre 2002 par 04 enquêteurs. Le matériel de pesage était constitué d'un dynamomètre de 50 kg de porté et 0,5 kg de précision. Suivant les résultats des pesages, les 18 éboueurs des associations Tam – Tam Mobile et GIC JEVOLEC parvenaient à précollecter 2,9 tonnes en moyenne par jour soit environ 70 tonnes par mois à Melen et environ 22 tonnes par mois à Mbenda, pour un total de 92 tonnes de DS précollectés par mois (1104 tonnes/an). Avant la mise en place de la précollecte, environ 50% (03 tonnes) des déchets produits dans ces quartier échouaient dans des cours d'eau, caniveaux et décharges sauvages avec tout ce que cela comporte comme impacts socio-environnementaux.

⁴³ Tam – Tam Mobile et GIC JEVOLEC ont été retenus pour conduire une action pilote de précollecte des DS à Yaoundé dans le cadre du programme « Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain », financé en 2002 par le Ministère français des Affaires Etrangères et encadré par le Partenariat pour le Développement Municipal (PDM) basé à Cotonou.

Le tableau 29 présente les dépenses annuelles mobilisées pour précollecter les 1104 tonnes de DS dans le 6^{ème} arrondissement de Yaoundé en 2002.

Tableau 29 : Décomposition du coût de fonctionnement de l'activité de précollecte

Postes de dépense	Montant (FCFA/an)
I. Salaires du personnel	
Eboueurs	6 480 000
Administrateurs	1 200 000
Sous-total I	7 680 000
II. Petits matériel	
Cache nez	192 000
Sacs poubelles	900 000
Petites réparations	240 000
Lait pour éboueur	504 000
Loyer magasins	480 000
Facturiers	244 080
Sous-total II	2 560 080
III. Amortissements	
Amortissement matériel	83 333
Tenues des éboueurs	33 500
Médicaments	17 000
Vaccination	17 000
Sous-total III	150 833
IV. Frais administratifs	40 000
Sous-total IV	40 000
Total des charges	10 430 913

Source : Ngnikam (2003)

Il est important de souligner que pendant les activités des associations de précollecte menées par Tam – Tam Mobile et GIC JEVOLEC dans les trois quartiers concernés par l'action pilote, on a noté une augmentation globale d'environ 48 tonnes entre les mois d'août et de septembre 2002 dans les bacs et camions de ramassage de HYSACAM. La généralisation de la précollecte dans les zones des quartiers de Yaoundé inaccessibles aux camions de ramassage peut donc permettre d'améliorer les taux de collecte des DS.

A la lumière du tableau 29, toute chose restant égal par ailleurs, la précollecte d'une tonne de DS à Yaoundé coûterait 9448 FCFA (10430913 FCFA/1104 tonnes).

Yaoundé produit environ 1700 tonnes de DS tous les jours. Or plus de la moitié de ses habitants vit dans des bas-fonds. Ce qui veut dire qu'environ 850 tonnes de DS restent tous les jours dans ces zones à accès difficile correspondant à peu près au taux de collecte moyen actuel des DS dans la ville qui est de 47%. Comme relevé dans l'action pilote du 6^{ème} arrondissement de Yaoundé, la précollecte peut permettre de sortir plus de la moitié des DS produits dans ces bas-fonds. Des 850 tonnes de DS qui reste au quotidien dans les bas-fonds de Yaoundé, nous considérons qu'environ 400 tonnes peuvent être précollectés tous les jours et faire passer ainsi le taux de collecte journalier des DS à près de 75%.

L'on peut donc estimer à 3 779 200 FCFA (9448 FCFA/t x 400 tonnes) le coût de la précollecte journalière des DS à Yaoundé.

Ce coût peut être supporté entièrement par les ménages (application du principe pollueur – payeur). Selon l'INS (2002), Yaoundé comptait environ 313 000 ménages en 2002 et considérant un taux de croissance annuel de la population de Yaoundé à 6,8%, l'on peut estimer à environ 400 000, le nombre actuel de ménages à Yaoundé⁴⁴. Si chaque ménage contribue donc à hauteur de 10 FCFA/jour soit 300 FCFA/mois (05 centimes d'euros) au titre des redevances de précollecte, environ 4 000 000 FCFA seraient collectées tous les jours et couvriraient ainsi les charges totales de la précollecte. Il est évident que bien que le montant de la redevance soit bas et accessible par tous les ménages, même pauvres, tous ne peuvent payer leur redevance si aucun moyen contraignant n'est mis en place par l'Etat pour éviter les comportements opportunistes (tirs au flanc).

⁴⁴ Selon l'INS (2002), le nombre moyen de personnes par ménage à Yaoundé est 4,7. La taille des ménages dirigés par les hommes (4,8 personnes) est supérieure à celle des ménages dirigés par les femmes (4,3 personnes).

L'Etat peut donc institutionnaliser la précollecte et indexer les redevances de précollecte sur les factures d'électricité. Bien que plusieurs ménages partagent souvent une seule facture d'électricité, la redevance de précollecte peut être indexée sur le niveau de consommation au KWh comme c'est le cas à Abidjan en Côte d'Ivoire où chaque ménage paie 2,5 FCFA/KWh d'électricité consommée (Youssouf, 2002).

En plus d'améliorer les taux de collecte des DS, la mise en place de la précollecte généralisée à Yaoundé permettrait de réduire les dépenses en soins de santé des populations et créer de l'emploi pour plus de 1750 jeunes de quartiers défavorisés. Car selon Ngnikam (2003), un seul éboueur peut précollecter jusqu'à 200 kg de DS par jour. Ne perdons pas de vue que la vente des objets récupérés et recyclés lors du tri des DS précollectés sont également source de revenus pour les éboueurs.

➤ **Coût du compostage :**

Une fois les DS précollectés, ils pourront être acheminés vers la décharge (pour les DS inutiles) et vers des centres de précollecte afin d'être compostés (pour la partie fermentescible). Ce qui veut dire que des 400 tonnes de DS précollectés environ 300 tonnes peuvent être compostées et 100 tonnes acheminés vers la décharge par HYSACAM. Etant donné que le ratio de compost produit par tonne de DS compostée est d'environ 1/2, (1/3 le plus souvent) (Eklind & Kirchmann, 2000), l'on peut estimer à 100 tonnes, la quantité journalière de compost qui peut être produits à partir de 300 tonnes de déchets fermentescibles précollectés dans les bas-fonds de Yaoundé. Selon Ngnikam (2000), pour produire 180 tonnes par mois (06 tonnes/jour), il faut un budget de 4519035 FCFA (Tableau 30).

Le coût de production d'une tonne de compost à Yaoundé peut alors être estimé à 25106 FCFA (4519035 FCFA / 180 tonnes). Partant de ce coût de production du compost⁴⁵, l'on peut donc estimer à 2510600 FCFA (25106 FCFA x 100 tonnes) le budget

⁴⁵ Au chapitre IV nous déterminerons si ce coût de production du compost est supérieur ou inférieur à la valeur commerciale actuelle du compost. A partir de cette même valeur commerciale, nous verrons si la vente du compost produit peut couvrir les charges liées à sa production.

quotidien qu'il faudrait mobiliser pour la production du compost issu de la précollecte dont 175742 FCFA (2510600 FCFA x 7%) au titre du coût de transport des autres DS vers la décharge. Les 950 tonnes (850 collectés par HYSACAM + 100 tonnes issus de la précollecte) qui seront acheminées à la décharge après les opérations de précollecte et de compostage seront enfouis soit 56% de la collecte initiale.

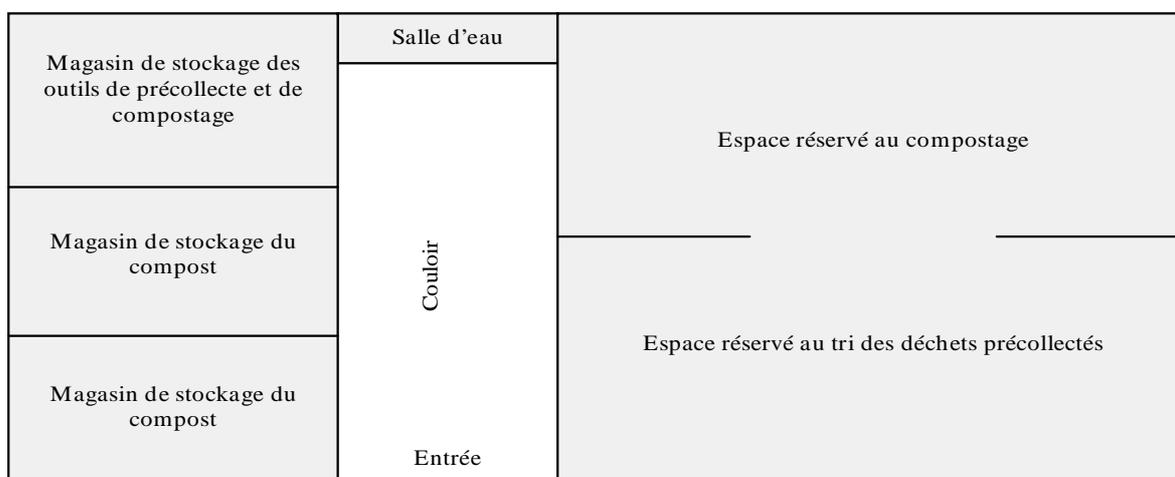
Tableau 30 : coût de production du compost à Yaoundé

Postes de dépenses	Unités	Coûts ou quantités	%
Charges variables (conditionnement, eau, carburant, frais de transport, etc.)	FCFA/mois	1 532 200	34
Charges fixes (salaires, assurance, etc.)	FCFA/mois	1 720 000	38
Amortissement et renouvellement du matériel de compostage	FCFA/mois	926 835	21
Transport des déchets inutiles vers la décharge	FCFA/mois	340 000	07
Total charges	FCFA/mois	4 519 035	100

Source : Ngnikam (2000)

La mise en place des unités de compostage à l'échelle des quartiers est possible à Yaoundé si dans tous les quartiers périurbains à accès difficile des centres de précollecte/regroupement des DS précollectés de 2000 m² environ sont aménagés (Figure 13).

Figure 13 : Plan de masse d'un centre de précollecte



Source: L'auteur

Selon Waas et al., (1996), le tri sélectif des DS avant compostage représente la moitié des coûts de production du compost. Donc la mise en place d'un système de collecte sélective lors de la précollecte permettrait de réduire les coûts de production du compost de près de moitié.

L'institutionnalisation du compostage par l'Etat peut permettre de faire des économies considérables sur le coût de transport des DS à acheminer vers la décharge. Elle permet aussi de créer de l'emploi. A Yaoundé, un individu seul pouvant produire jusqu'à 04 tonnes de compost en moyenne par mois (Ngnikam, 2003).

➤ **Cout de la collecte et du transport des déchets solides :**

N'ayant pas d'informations sur le nombre de camions mobilisés au quotidien par HYSACAM ainsi que **les charges liées au transport (consommation de carburants, amortissement véhicules, etc.)**, nous allons considérer le coût fixé par la CUY pour le transport d'une tonne de DS qui est de **13089 FCFA**. Ce qui revient à dire que la collecte et le transport par HYSACAM des 850 tonnes de DS dans les zones accessibles aux camions de ramassage et bacs à ordures coûterait environ 11125650 FCFA par jour. Si nous rajoutons à ces quantités les 100 tonnes de DS non fermentescibles issus de la précollecte et du compostage, il faudra mobiliser environ 12434550 FCFA tous les jours pour transporter les 950 tonnes de DS à la décharge.

Des 950 tonnes de DS pouvant être mis en décharge, environ 595 tonnes (950 tonnes – 100 tonnes de la précollecte x 70%) tonnes sont des déchets fermentescibles.

➤ **Cout du traitement des déchets solides :**

Le budget actuel de traitement des DS transportés en décharge à Yaoundé est de 2500 FCFA/t. Mais il faut souligner que le traitement ici consiste juste à l'enfouissement (au stockage) puisque la décharge de Nkolfooulou n'est pas équipée d'un système de drainage de lixiviats. L'entassement des DS dans les casiers au fil du temps provoque une pression qui fait que les lixiviats s'écoulent à travers des chemins préférentiels afin d'atteindre les fossés qui ceinturent les casiers et les bassins de rétention. Il est évident

que si le traitement consistait à traiter les lixiviats et biogaz, le budget « traitement des déchets » serait insignifiant.

Selon Zahanari (2006), entre 2003 et 2004, un suivi (3 fois par jour) des débits moyens journaliers à l'entrée du bassin de collecte des lixiviats a permis à HYSACAM d'estimer à 54 m³/jour, la quantité de lixiviat produit par la décharge de Nkolfoulou. Cependant, en passant par le calcul du bilan hydrique⁴⁶, Zahanari (2006) l'estime à 222 m³/jour.

En actualisant les données de la production des DS et en considérant qu'après les opérations de précollecte et de compostage il ne restait plus qu'à enfouir 56% des DS collecté initialement soit dans notre cas 950 tonnes de DS (1700 x 56%), la production des lixiviats à Nkolfoulou serait de l'ordre de 267 m³/jour soit 297 tonnes/jour⁴⁷. Actuellement au centre de stockage, il n'existe qu'un bassin de rétention de lixiviat d'une capacité de 160 m³ ce qui implique la construction de nouveaux bassins de rétention de lixiviat. Le coût d'investissement pour traiter un débit journalier de 100 m³ de lixiviat est estimé à 40 euros. Cela revient à dire que le coût d'investissement pour traiter 1 m³ de lixiviat est estimé à 0,4 euros (260 FCFA), soit 290 FCFA la tonne de lixiviat à traiter. Le traitement des 297 tonnes de lixiviat que pourrait produire la décharge coûterait environ 86130 FCFA/jour. HYSACAM estime à plus de 3 millions de tonnes la quantité de DS ont déjà été enfouis à la décharge de Nkolfoulou depuis 1990. Cela revient à dire qu'environ 2280000 tonnes de déchets organiques (76% de matière organique) dont 912000 tonnes de matière organique sèche ont été enfouis à Nkolfoulou entre 1990 et 2010.

⁴⁶ L'équation générale du bilan hydrique s'écrit : Entrée d'eau = Sortie d'eau +/- Rétention soit :

$$L = (P + R1 + Ed) - (R2 + Ei + ETR) - Ec$$

Avec : L=quantité de lixiviats produits ; P=Pluie journalière moyenne = 211 m³/jour ; R1=Ruissellement extérieur au site = 0 ; Ed=Eaux constitutives des déchets = 542 m³/jour ; R2=Ruissellement du site vers l'extérieur = 0 ; Ei=Eau d'infiltration dans le substratum = 0 ; ETR=Evapotranspiration = 68 m³/jour ; Ec=Eaux retenues dans les alvéoles par les déchets = 418 m³/jour.

⁴⁷ 1 tonne de lixiviat = 0,9 m³ de lixiviat (1m³ de lixiviat = 1,11 tonne de lixiviat)

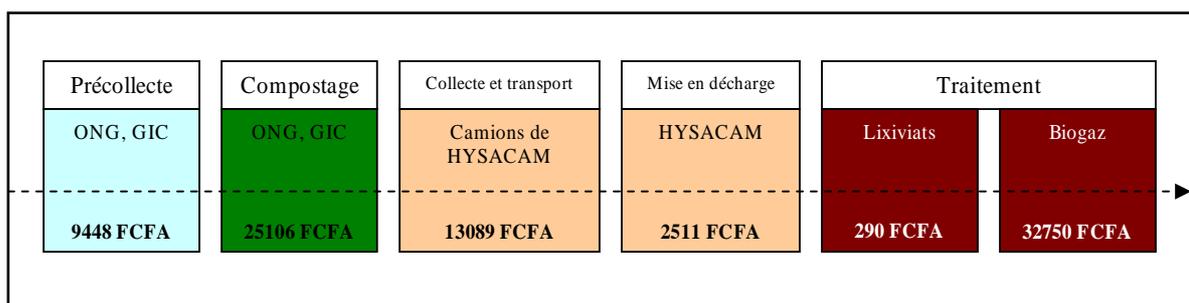
Or selon Ripatti & Savolainen (1996), une tonne de matière organique sèche peut émettre en une quarantaine d'années environ 225 kg de méthane à l'horizon de 100 ans. Ceci nous emmène à estimer à 102600 tonnes (912000 tonnes x 225 kg de méthane x 20 ans / 40 ans), la quantité de méthane déjà émis par le centre de stockage de Nkolfoulou.

L'investissement nécessaire à la réalisation d'une unité de méthanisation est de l'ordre de 15 millions d'euros (9,8 milliards de FCFA). **Le coût de traitement des DS par ce procédé est compris entre 50 et 80 euros/tonne de DS méthanisés, soit un minimum de 32750 FCFA la tonne de méthane traité.**

Le traitement de 102600 tonnes de méthane déjà émis par la décharge en 20 années de fonctionnement nécessite un budget minimum de 5130000 euros soit près de 3,4 milliards de FCFA. **Si l'on suppose que la moyenne de production journalière de méthane à Nkolfoulou est de l'ordre de 14 tonnes/jour (102600 tonnes/ 20 ans x 365 jours), il faut donc un budget traitement de l'ordre de 458500 FCFA /jour.**

Nous pouvons résumer le coût des maillons d'un système alternatif de gestion des DS à Yaoundé sur la figure 14 ci-après :

Figure 14 : Budget spécifique à chaque maillon d'un système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé



Après avoir identifié le budget spécifique (coûts unitaires) de chaque maillon d'un système alternatif de gestion publique des DS à Yaoundé, présentons à présent les différents systèmes de gestion des DS qui peuvent être mis en place dans la ville ainsi que leur budget respectif.

Système 1 (actuel) : Absence de la précollecte, du compostage et du traitement des lixiviats et biogaz

- Production initiale de DS : 1700 tonnes
- Précollecte : 0 tonne
- Collecte et transport : 800 tonnes
- Budget collecte et transport : 800 tonnes x 13089 FCFA = 10471200 FCFA
- Taux de collecte : 47%
- Enfouissement : 800 tonnes
- Budget enfouissement : 800 tonnes x 2511 FCFA = 2008800 FCFA
- Budget total : 10471200 FCFA + 2008800 FCFA = 12480000 FCFA/jour soit 15600 FCFA/t mise en décharge.

Tableau 31 : Budget système 1 (absence de précollecte, de compostage et de traitement des lixiviats et biogaz)

Opérations	Quantités (tonnes)	Budget (FCFA)	%
Précollecte	0		0%
Collecte et transport	800	10471200	84%
Enfouissement	800	2008800	16%
Budget Total	-	12480000	100%
Cout de revient de la tonne mise en décharge	-	15600	-

Dans le système actuel (collecte, transport et mise en décharge), la collecte et le transport des DS représentent 84% du budget total alloué à la gestion publique des DS.

Système 2 : Absence de la précollecte et du compostage ; traitement des lixiviats et biogaz

- Production initiale de DS : 1700 tonnes
- Précollecte : 0 tonne
- Collecte et transport : 800 tonnes
- Budget collecte et transport : 800 tonnes x 13089 FCFA = 10471200 FCFA
- Taux de collecte : 47%
- Enfouissement : 800 tonnes
- Budget enfouissement : 800 tonnes x 2511 FCFA = 2008800 FCFA
- Traitement lixiviat : 800 tonnes x 290 FCFA = 232000 FCFA
- Traitement biogaz : 14 tonnes x 32750 FCFA = 458500 FCFA
- Budget total : 10471200 FCFA + 2008800 FCFA + 232000 FCFA + 458500 FCFA = 13170500 FCFA/jour soit 16463 FCFA/t mise en décharge

Tableau 32 : Budget système 2 (absence de précollecte et du compostage ; traitement des lixiviats et biogaz)

Opérations	Quantités (tonnes)	Budget (FCFA)	%
Précollecte	0		0%
Collecte et transport	800	10471200	80%
Enfouissement	800	2008800	15%
Traitement lixiviat	800	232000	02%
Traitement biogaz	14	458500	03%
Budget Total	-	13170500	100%
Cout de revient de la tonne mise en décharge	-	16463	-

Si la CUY souhaite maintenir le niveau actuel de collecte des DS à Yaoundé, mais traiter les lixiviats et les biogaz, son budget devra passer de 15600 FCFA/mise en décharge à 16463 FCFA/t mise en décharge soit une augmentation de budget de l'ordre de 05%.

Système 3 : Mise en place de la précollecte, absence du compostage et mise en place du traitement des lixiviats et biogaz

- Production initiale de DS : 1700 tonnes
- Précollecte : 400 tonnes
- Budget précollecte : 400 tonnes x 9448 FCFA = 3779200 FCFA
- Collecte et transport : 1200 tonnes (800 tonnes + 400 tonnes précollectées)
- Budget collecte et transport : 1200 tonnes x 13089 FCFA = 15706800 FCFA
- Taux de collecte : 71%
- Enfouissement : 1200 tonnes
- Budget enfouissement : 1200 tonnes x 2511 FCFA = 3013200 FCFA
- Traitement lixiviats : 1200 tonnes x 290 FCFA = 348000 FCFA
- Traitement biogaz : 14 tonnes x 32750 FCFA = 458500 FCFA
- Budget total : 3779200 FCFA + 15706800 FCFA + 3013200 FCFA + 348000 FCFA + 458500 FCFA = 23305700 FCFA/jour soit 19421 FCFA/t mise en décharge.

Tableau 33 : Budget système 3 (mise en place de la précollecte et du traitement des lixiviats et biogaz ; absence de compostage)

Opérations	Quantités (tonnes)	Budget (FCFA)	%
Précollecte	400	3779200	16%
Collecte et transport	1200	15706800	67%
Enfouissement	1200	3013200	13%
Traitement lixiviats	1200	348000	02%
Traitement biogaz	14	458500	02%
Budget Total	-	23305700	100%
Cout de revient de la tonne mise en décharge	-	19421	-

Si la CUY souhaite uniquement mettre en place la précollecte et traiter les lixiviats et les biogaz, son budget devra passer de 15600 FCFA/t mise en décharge à 19421 FCFA/t mise en décharge soit une augmentation de budget de l'ordre de 20% par rapport au budget actuel.

Système 4 (système alternatif que nous proposons) : Mise en place de la précollecte, du compostage et du traitement des lixiviats et biogaz

- Production initiale de DS : 1700 tonnes
- Précollecte : 400 tonnes
- Budget précollecte : 400 tonnes x 9448 FCFA = 3779200 FCFA
- Compostage : 300 tonnes x 25106 FCFA = 7531800 FCFA
- Collecte et transport : 900 tonnes (800 tonnes + 100 tonnes déchets issus du compostage)
- Budget collecte et transport : 900 tonnes x 13089 FCFA = 11780100 FCFA
- Taux de collecte : 71%
- Enfouissement : 900 tonnes
- Budget enfouissement : 900 tonnes x 2511 FCFA = 2259900 FCFA
- Traitement lixiviat : 900 tonnes x 290 FCFA = 261000 FCFA
- Traitement biogaz : 14 tonnes x 32750 FCFA = 458500 FCFA
- Budget total : 3779200 FCFA + 7531800 FCFA + 11780100 FCFA + 2259900 FCFA + 261000 FCFA + 458500 FCFA = 26070500 FCFA/jour soit 28967 FCFA/t mise en décharge.

Si la CUY souhaite mettre en place le système alternatif 4, son budget devra passer de 15600 FCFA/t mise en décharge à 28967 FCFA/t mise en décharge soit une augmentation de budget de l'ordre de 46% par rapport au budget actuel qui est de 06 milliards de FCFA.

Tableau 34 : Budget système 4 (précollecte, compostage et traitement des lixiviats et biogaz)

Opérations	Quantités (tonnes)	Budget (FCFA)	%
Précollecte	400	3779200	14%
Compostage	300	7531800	29%
Collecte et transport	900	11780100	45%
Enfouissement	900	2259900	09%
Traitement lixiviat	900	261000	01%
Traitement biogaz	14	458500	02%
Budget Total		26070500	100%
Cout de revient de la tonne mise en décharge		28967	-

Bien que plus onéreux que les autres systèmes, le système 4 est plus soucieux du développement social, économique et environnemental de nos villes. Un tel système a l'avantage de pouvoir s'autofinancer partiellement :

- les ménages peuvent financer la précollecte à hauteur de 4000000 FCFA/jour soit 14% du budget annuel (les revenus issus de la vente d'objets récupérés et recyclés viennent augmenter ce pourcentage) ;
- la vente du compost pourrait couvrir une partie des charges liées au compostage qui s'élève à 3,7 milliards/an. Dans l'hypothèse où tout le compost produit (135 tonnes/jour) est vendu à sa valeur marchande⁴⁸ (équivalent engrais) qui est de 5872 FCFA/t, les recettes se chiffrent à 792720 FCFA/jour soit 11% du budget compostage ;
- Quant au biogaz, une fois traité, il peut être vendu à des fins de chauffage et de cuisson. Les revenus issus de sa vente ne contribueront qu'à réduire la part de l'Etat dans le financement de ce système alternatif.

Le tableau 35 récapitule les budgets liés aux différents systèmes de gestion des déchets qui peuvent être mis en place au Cameroun :

⁴⁸ La valeur marchande du compost vendu à Yaoundé a été calculée en IV.I.a,

Tableau 35 : Récapitulatif des budgets liés aux différents systèmes de gestion des déchets

Systèmes	Système 1		Système 2		Système 3		Système 4	
	Quantités (tonnes)	Budget (FCFA)						
Précollecte	0	0	0	0	400	3779200	400	3779200
Compostage	0	0	0	0	0	0	300	7531800
Collecte et transport	800	10471200	800	10471200	1200	15706800	900	11780100
Enfouissement	800	2008800	800	2008800	1200	3013200	900	2259900
Traitement lixiviats	0	0	800	232000	1200	348000	900	261000
Traitement biogaz	0	0	14	458500	14	458500	14	458500
Budget Total	-	12480000	-	13170500	-	23305700	-	26070500
Coût de revient de la tonne mise en décharge		15600		16463		19421		28967

b₂) Exemple de contrat type de gestion des déchets solides

De par la nature de la relation contractuelle Etat – CUY, un contrat de gestion type des DS doit être explicite. Si les opérations spécifiques telles que la précollecte ou le compostage sont à la charge du mandataire (HYSACAM en l'occurrence), les éléments relatifs à ces opérations doivent être précisés dans le contrat. Dans le cas contraire, si ces opérations sont à la charge des petits opérateurs de quartiers, de même un document explicite doit préciser les contours de ces opérations.

En nous appuyant sur le modèle type de contrat de la circulaire du 21 octobre 1981 relative à l'élimination des déchets de ménage en France que nous avons adapté au contexte des pays du Sud en général et de Yaoundé en particulier nous obtenons le contrat présenté en annexe 2.

Ce contrat a la particularité d'être « explicite et incomplet ». En effet, il précise :

- l'objet du service ;

L'objet du service précise la nature du contrat, les tâches spécifiques à assurer, la durée du contrat, le périmètre de service, les types de déchets à collecter.

- l'exécution du service ;

L'exécution du service précise les obligations de l'entreprise de collecte, les conditions générales d'exécution, le matériel de collecte, les fréquences, les itinéraires et les horaires de passage des camions, le dépotoir des déchets collectés, le statut du personnel de collecte, les modes d'évacuation et de déchargement des déchets.

- les dispositions techniques ;

Dans les dispositions techniques, sont précisés : les types de matériels de collecte et leur entretien.

- les dispositions financières ;

Les dispositions financières quant à elles précisent : le mode de rémunération de l'entreprise de collecte, les modalités de paiement, les clauses de révision des prix, de paiement des impôts, et le cautionnement.

- les dispositions diverses.

En fin de contrat, les dispositions diverses telles que l'obligation de fournir en fin d'exercice un compte rendu détaillé des activités conduites, les modalités de résiliation du contrat et les pénalités sont également prévues.

Conclusion de la première partie :

L'objectif de la première partie de cette thèse était d'analyser les limites organisationnelles de la gestion publique des déchets solides au Cameroun. Pour cela, nous avons présenté d'une part les fondements théoriques du service public des déchets solides, et d'autre part, nous avons analysé la gestion publique des déchets solides au Cameroun.

Etant donné que le service public de gestion des déchets au Cameroun est un exemple type de partenariat public-privé (3P), nous avons exploré les approches théoriques directement liées aux 3P telles que la théorie de l'inefficience-x (Leibenstein, 1966), la théorie des choix publics (Buchanan & Tollison, 1972), la théorie du New Public Management (Bernrath, 1998) et la théorie des marchés contestables (Baumol et al., 1986). Les théories des coûts de transaction (Coase, 1937) et de l'agence (Tirole, 1999) relèvent les difficultés de coordination au sein des organisations publiques pour promouvoir les 3P. Par définition, un déchet peut être une source de nuisance et donc de production d'externalités, mais il peut également être source de revenu par exemple ; ce qui explique le choix de la nouvelle Economie Publique qui fait la part belle à la théorie de la réglementation et aux solutions privées susceptibles d'internaliser les externalités.

Nous avons également présenté le cadre législatif en matière de gestion de l'environnement au Cameroun ainsi que le cadre organisationnel de la gestion publique des déchets solides à Yaoundé. L'évolution des niveaux de collecte et de production des déchets solides de Yaoundé a été appréciée.

A l'aide d'un petit modèle mathématique qui met en relation la production des déchets avec l'évolution de la population, nous avons estimés les quantités produites de déchets solides à Yaoundé entre 1990 et 2008. Il ressort de nos estimations que chaque Yaoundéens produit en moyenne 288,92 kg de déchets solides tous les ans. Alors qu'en 1990, 510 tonnes de déchets solides en moyenne étaient produits tous les jours à Yaoundé, en 2008 la production journalière se chiffrait à 1700 tonnes. En

confrontant ces résultats avec les quantités de déchets solides collectées par HYSACAM, nous avons calculé les différents taux de collecte.

Le taux de collecte moyen des déchets solides à Yaoundé en 2002, 2003 et 2004 était respectivement de 35%, 47% et 47%. Entre 1999 – 2008, période à laquelle HYSACAM a repris le service public de collecte des déchets solides à Yaoundé après près d'une décennie d'arrêt de service entre 1991 et 1998, le taux de collecte moyen est estimé à 47%. Mais si l'on prend en considération la collecte sur toute la période de l'étude (1990 – 1998) le taux de collecte moyen de la période est de 34%.

Par ailleurs l'analyse économétrique de l'évolution des taux de production et de collecte des déchets solides à Yaoundé révèle que le rythme de la production des déchets (taux de croissance des quantités produites = 12,73) est largement supérieur à celui de la collecte (taux de croissance des quantités collectées = 11,54). Ce qui est préjudiciable sur le long terme puisque synonyme d'accumulation progressive des déchets.

L'une des originalités de cette partie de la thèse repose sur le fait que nous avons proposé un indice composite de performance d'un service public de gestion des déchets solides au Sud. Cet indice composite de performance se veut être un outil d'évaluation interne ou externe nécessaire à toute prise de décision en matière de gestion des déchets solides au Sud. Il est constitué d'un ensemble de valeurs qui nous semblent indispensables dans tout processus d'évaluation d'un service public de gestion des déchets solides. Il prend en compte les aspects institutionnels liés à la gestion des déchets solides et s'appuie sur le concept de développement durable. Quatre modules le constituent : le module institutionnel, social, économique et environnemental. Après avoir construit les modules de notre indice composite de performance, nous l'avons rendu opérationnel en affectant des coefficients à tous les indicateurs de performance que nous avons retenus. Ainsi un indice compris entre 0 et 7 points reflète la sous performance du service mis en place ; au-delà de 07 points, le service mis en place peut être qualifié de performant.

A partir de cet outil, nous avons mis en évidence la performance de l'organisation de la gestion des déchets solides à Yaoundé. Il ressort de nos analyses que l'indice de performance du service public de gestion des déchets solides à Yaoundé est égal à 05, ce qui nous a permis de conclure que ce service est sous-performant et que des efforts doivent être faits afin de l'améliorer. Plus précisément il s'agit :

- d'évaluer périodiquement le cahier des charges (de HYSACAM) ;
- de rendre le contrat de gestion des déchets solides incomplet pour éviter les comportements opportunistes (c'est-à-dire de veiller à écrire un contrat détaillé qui inclut des clauses d'indexation sur l'inflation ou sur le coût de fourniture et prévoit des procédures claires de révision et de recours à l'arbitrage) ;
- de sanctionner les pollueurs (principe pollueur – payeur) ;
- d'investir dans la construction des infrastructures de gestion des déchets solides tels que les centres de précollecte/regroupement des déchets dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des déchets ;
- d'institutionnaliser la précollecte et le compostage afin de réduire les externalités négatives liées à l'enfouissement des déchets fermentescibles ;
- de mettre en place un mécanisme de financement de la précollecte basé sur la contribution directe des ménages à hauteur de 10 FCFA / ménage. L'autre solution consisterait à indexer cette redevance sur les factures d'électricité ;
- de mettre en place des dispositifs de traitement des lixiviats et biogaz.

Du fait de la sous-performance du service public de gestion des déchets solides à Yaoundé, nous avons proposé et évalué les coûts d'un système alternatif de gestion des déchets solides qui prendrait en compte les préoccupations de développement socio – économique et environnemental de la ville de Yaoundé. Notre système va de la précollecte au traitement des lixiviat et biogaz en passant par le compostage et la collecte traditionnelle.

La mise en place de notre système alternatif (précollecte – compostage – collecte et transport – enfouissement – traitement des lixiviats – traitement des biogaz) nécessite un budget de 28967 FCFA/t mise en décharge ce qui représente le double du budget actuel (15600 FCFA/t mise en décharge) soit une augmentation de budget de l'ordre de 46% par rapport au budget annuel actuel qui est de 06 milliards de FCFA (près de 10 millions d'euros).

Ce système alternatif ne peut s'appliquer correctement que si toutes les clauses du contrat qui lie la CUY et HYSACAM sont respectées. Le contrat que nous avons proposé en fin de première partie définit précisément l'objet du service (durée du service, objectifs chiffrés, etc.), l'exécution du service (obligations de l'entreprise en charge de la collecte, définition des périmètres à couvrir, etc.), les dispositions techniques (matériels et entretiens), financières (mode de paiement, révision des prix, etc.), diverses (rapport annuel du service rendu, procédure de résiliation de contrat, etc.).

Il apparaît clairement dans cette première partie que bien que des efforts considérables soient faits au Cameroun pour assurer une gestion performante des déchets solides, le système de gestion des déchets actuel mérite d'être repensé afin de prendre en compte les préoccupations de développement durable (socio-économiques et environnementales) de la ville de Yaoundé.

De part la nature majoritairement fermentescible des déchets produits aussi bien à Yaoundé que partout au Cameroun, la recommandation phare en vue d'améliorer le service public de gestion des déchets actuels au Cameroun consiste à traiter les déchets solides avant enfouissage à travers les opérations de micro-compostage dans les bas-fonds inaccessibles aux Camions de ramassage.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous explorons donc la pertinence du compostage dans le système alternatif de gestion des déchets solides que nous proposons.

DEUXIEME PARTIE :

**PERTINENCE DU COMPOSTAGE DANS UN SYSTEME ALTERNATIF
DE GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN**

« Pécuchet fit creuser devant la cuisine un large trou et le disposa en trois compartiments,
où il fabriquerait des composts qui feraient pousser des tas de choses ... »

Rapport-gratuit.com  LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Gustave Flaubert.

Introduction de la deuxième partie :

Dans la première partie de cette thèse, nous avons relevé les facteurs qui entravent la performance du service public de gestion des déchets solides (DS) à Yaoundé ; nous avons également proposé un système alternatif de gestion des DS qui comprend les opérations de précollecte, de compostage, de collecte et de transport, d'enfouissement et de traitement des lixiviats et biogaz. Il apparaît clairement que la précollecte permet d'évacuer plus de la moitié des DS qui restent très souvent dans les zones inaccessibles aux camions de ramassage. Le compostage quant à lui réduit de 75% les quantités de DS précollectés et permet d'alimenter la production agricole urbaine et périurbaine. Le traitement des lixiviats et biogaz réduit considérablement les nuisances dues à l'enfouissement des DS. Il s'agit maintenant dans la seconde partie de cette thèse, d'appréhender la pertinence du compostage dans un système alternatif de gestion des DS à Yaoundé. De par leur importance, la mise en place des petites unités de compostage dans les bas-fonds des quartiers périurbains apparaît en effet comme l'une des solutions les plus efficaces meilleure solution pour améliorer le service public de gestion des DS au Cameroun. Dans le contexte camerounais, le compostage reste la meilleure façon de traiter les DS au regard de la forte proportion (plus de 70%) en matières organiques et du développement des petites unités de production agricole dans les bas-fonds des centres urbains. Deux chapitres nous guideront à cet effet. Alors que le chapitre III présente les contours théoriques de l'utilisation des déchets organiques en agriculture⁴⁹, le chapitre IV apprécie les conditions d'utilisation des déchets organiques dans les exploitations agricoles.

⁴⁹ Les théories économiques qui appuient cette partie de la thèse sont la théorie des préférences et la théorie de l'innovation. La première se justifie par le fait que l'utilisation des fertilisants en agriculture repose sur les préférences des agriculteurs et la seconde parce que l'utilisation par un agriculteur d'un intrant organique par exemple qu'il n'utilisait pas par le passé est considéré comme une innovation. Et comme toutes les innovations en agriculture, la théorie de la diffusion des innovations précisent les conditions dans lesquelles elles sont acceptées et intégrées dans les processus de production agricole.

CHAPITRE III :

CONTOURS THEORIQUES DE L'UTILISATION DES DECHETS ORGANIQUES EN AGRICULTURE

Selon Harris (1996), l'extension continue de l'espace occupé dû à l'urbanisation met de plus en plus de pression sur la gestion et la durabilité de l'environnement. A cette situation s'ajoute l'imbrication croissante des activités urbaines et agricoles surtout dans les pays du Sud. Ainsi de nombreuses villes produisent des DS dont elles ne peuvent pas se débarrasser. Du fait de la forte composition en matières fermentescibles de ces DS, leur valorisation agronomique s'avère être le moyen de gestion le plus fiable. Dans un contexte de foisonnement de la population urbaine où naissent de plus en plus, et de façon généralisée les foyers de tension dus à la faim (crise alimentaire), l'intensification écologique de la production agricole urbaine se justifie. A ce titre, l'identification (la typologie) et la caractérisation (identification du potentiel humifiant et fertilisant) des déchets organiques issus des DS sont un facteur positif en vue de leur utilisation dans les exploitations horticoles urbaines et périurbaines. Dans ce chapitre nous présentons le cadre théorique et conceptuel de l'utilisation des déchets en agriculture. Mais avant cela, présentons les concepts d'agriculture urbaine et périurbaine (AUP) et de déchets organiques (DO).

III.1. Les concepts d'agriculture urbaine et périurbaine et de déchets organiques

Le recyclage des DS constituent l'une des missions fondamentales de l'AUP. Les DO doivent permettre de renforcer le système de production agricole future au sein des exploitations. Ceux-ci préservent non seulement les ressources naturelles de l'exploitation, mais protègent le sol – par ailleurs facteur de production essentiel – et

l'environnement contre toute dégradation pour les générations futures et présentes. Dans cette section il s'agit de présenter les généralités sur l'AUP et sur les DO.

III.1.1. Généralités sur l'agriculture urbaine et périurbaine

L'AUP s'inscrit dans un contexte historique et regroupe entre autres l'exploitation des cultures maraîchères, vivrières et du petit élevage. Selon Jacobs (1969), d'un point de vue historique, la ville aurait précédé l'agriculture et leurs évolutions respectives auraient été liées par la suite. Plusieurs raisons ou motifs militent en faveur de cette activité. En dépit des contraintes foncières et environnementales qui lui sont attachées, l'impact socio – économique au niveau familial et macroéconomique est assez bien connu.

a) L'agriculture urbaine et périurbaine : définitions et évolution

L'agriculture en ville est sujette à plusieurs interprétations possibles. Un certain nombre d'institutions internationales (FAO, CGIAR) différencient l'agriculture urbaine, située dans la ville, de l'agriculture périurbaine, située autour de la ville. D'autres institutions (CRDI, PNUD, CIRAD, CORAF) utilisent un terme unique pour désigner ces deux agricultures : on parle alors « d'agriculture urbaine », « d'agriculture périurbaine » ou encore « d'agriculture urbaine et périurbaine »

a₁) Les définitions de l'agriculture urbaine et périurbaine

L'AUP peut se définir comme une activité articulant d'une part la culture de plantes et l'élevage d'animaux destinés à la consommation alimentaire et à d'autres fins, dans les villes (agriculture intra-urbaine) et en périphérie des villes (agriculture périurbaine) et d'autre part le traitement et la commercialisation de ces produits⁵⁰.

⁵⁰ *L'Agriculture Urbaine et Périurbaine, la santé et l'environnement urbain. Document de discussion pour la conférence électronique de FAO-ETC/RUAF sur l'agriculture urbaine et périurbaine. 21 Août - 30 Septembre, 2000.*

Les systèmes de production AUP comprennent les tubercules, les légumes, les herbes aromatiques et médicinales, les fruits et l'élevage d'animaux de toutes sortes et de toutes tailles. Dans une faible proportion de ces systèmes sont aussi cultivés des produits tels que les plantes ornementales et les plants d'arbres. Les cultures vivrières les plus représentées sont les légumes et les produits et dérivés de l'élevage les plus périssables et à haute valeur ajoutée. Selon Temple & Moustier (2004) s'agissant du développement de l'AUP, il se pose la question de la délimitation géographique des zones d'agriculture périurbaine. L'on peut bien considérer comme aire d'agriculture périurbaine, l'espace agricole dans lequel les systèmes de production sont polarisés par l'approvisionnement du marché urbain et mobilisent les ressources de la ville.

a₂) Les contraintes de l'agriculture urbaine et périurbaine dans le monde

Selon Ngapayi (1999), les jardins ménagers datent des années 1780. Au Canada, c'est vers la fin des années 1990 que l'agriculture urbaine dite « communautaire » s'est développée à travers les jardins communautaires (Reyburn, 2006). En Afrique, le développement de l'AUP est également ancien et relativement liée au processus colonial, puisque que selon Moustier & Pages (1997), l'émergence d'une catégorie de la population à fort pouvoir d'achat a introduit de nouveaux comportements alimentaires. Des ceintures vertes destinées à fournir des produits frais ont alors été créées pour répondre à ces besoins nouveaux. L'AUP à Lomé au Togo date de l'époque coloniale Allemande (1897) et Anglaise (1914). Les cultures maraîchères et vivrières furent introduites. Mais cette activité n'a pris de l'ampleur qu'à partir de 1980 (Schilter, 1991).

A Yaoundé, l'AUP date des années 1980 (Moustier & Mabaye, 1999). Selon Austier (1994), les premiers pratiquant de l'AUP furent les domestiques des missionnaires et ensuite les paysans. Mais la production maraîchère en zone périurbaine de Yaoundé est ancienne et remonterait avant les indépendances dans les quartiers Nkolbikok, Okolo et Nkolondom (Bopda, 2003).

L'AUP, c'est non seulement les cultures mais aussi les animaux. Une étude menée en 2002 à Koumassi par Smith révèle que les producteurs urbains élèvent plus de 3000

bœufs, 30 000 ovins et 26 000 caprins. Selon Marquis (2005) et Temple-Boyer (2002), on distingue à Yaoundé les cultures vivrières (manioc, arachides, maïs, patate), les cultures maraîchères (légumes feuilles et fruits), les cultures florales et ornementales et les cultures fruitières (papayer, mangouier,...). Comme principales productions animales à Yaoundé, on peut citer : les poulets de chair et pondeuses, les porcs, les chèvres et moutons, les canards, les pigeons.

S'inscrivant dans un paysage urbain, l'AUP rencontre beaucoup de problèmes dans son élan d'expansion. Nous pouvons citer entre autres : les problèmes d'ordre foncier, sociaux et économiques. Selon Deguenon (2008), à Cotonou au Bénin, comme partout en Afrique, le développement de la production maraîchère se heurte à des contraintes diverses telles qu'un accès limité à la terre, une baisse de la fertilité des sols et une forte pression parasitaire sur les cultures. En effet, les grandes métropoles africaines, connaissent une croissance spatiale importante dont l'une des contraintes majeures réside dans la question foncière avec comme corollaire la concurrence sur l'usage du sol entre activités agricoles et non-agricoles. Cette forme d'agriculture qui participe quotidiennement à l'alimentation de la ville, notamment en produits frais est confrontée à diverses difficultés dont l'accès à la terre qui menace sa pérennité et rend précaire cette activité.

L'AUP est une activité quasi propre aux bas-fonds marécageux. Les bas-fonds marécageux, étant du domaine public, sont susceptibles d'être la propriété de l'Etat (malgré le fait que sans un titre foncier même l'Etat ne saurait s'approprier ces terres) ; aussi, les agriculteurs urbains sont-ils bien souvent menacés de déguerpissement. Ces problèmes fonciers sont de nature à freiner l'expansion de cette activité dans les centres urbains. Les maraîchers sont pour la plupart des gens déçus par d'autres secteurs d'activité (commerce, diplômés de l'enseignement supérieur, chauffeur, retraités, menuisier, ...). Ils s'y retrouvent pour « perdre le temps », c'est ainsi qu'ils se lancent dans l'agriculture sans formation préalable, bénéficiant juste des conseils des anciens; les techniques spécifiques à chaque marécage est le reflet même de ce mode de formation.

Très souvent, à la veille des récoltes les producteurs sont victimes de vol particulièrement dans les porcheries. Sans doute le plus important, le transport des produits se fait au moyen de véhicules de transport en commun qui ne sont pas spécialement conçus à cet effet. Sur les marchés, les maraîchers n'ont pas d'emplacement spécifique, occupant parfois les bordures de route. Sur le plan individuel, la majorité des paysans se plaignent du manque de moyens ; ce problème, bien que réel est le plus souvent le résultat de leur mauvaise gestion des ressources disponibles. Un autre problème non moins important est celui de l'approvisionnement en intrants. Les agriculteurs en général se ravitaillent auprès des revendeurs de pesticides ; ces revendeurs étant souvent de compétence et de moralité douteuse, il serait moins risqué de se ravitailler auprès des maisons fiables.

b) L'agriculture urbaine et périurbaine : ses avantages et ses inconvénients

L'AUP est source d'emploi. Elle contribue à réduire la faim dans les villes, mais comme toute activité, elle n'a pas que des avantages puisqu'elle ponctionne les ressources naturelles déjà rares telles que l'eau et la terre dans les villes du Sud.

b,) Les avantages de l'agriculture en ville

L'AUP est assurée par plusieurs acteurs : les agriculteurs professionnels (qui ne vivent que de l'agriculture), les ouvriers agricoles (Schilter, 1991), les agriculteurs occasionnels (CIPRE, 2002), les horticulteurs (producteurs et vendeurs des fleurs, des plantes d'ornement et des arbres fruitiers), les producteurs du matériel végétal (producteurs de plants greffés et des semences), les fournisseurs d'intrants agricoles et les consommateurs. Elle contribue à la résorption du sous-emploi en occupant de plus en plus dans un contexte de pauvreté, de façon permanente les jeunes de nos cités. L'AUP est source de revenu direct pour plus de 100 millions de personnes dans le monde (Helmore & Ratta, 1995). Selon Sotamenou (2010b) et Smith et al., (2004), la pratique de l'AUP permet aux exploitants de tirer un revenu important sur des surfaces qui diminuent.

En Afrique, les études réalisées sur l'AUP situent de 10 à 80% les urbains impliqués dans cette activité (Moustier & Page, 1997). Par ailleurs, 90% des activités de transformation alimentaires, 80% des opérations de stockage et de transport à courte distance et 60% de travail lié à la récolte et au marketing sont assurés par les femmes (Tchouamo, 2000). A Lomé, le maraîchage urbain est surtout l'affaire des hommes (Schilter, 1991). Selon Smith et al., (2004), 80% des citoyens étaient impliqués dans l'AUP en 1991 au Zimbabwe. Il est important de noter la grande diversité des acteurs rencontrés en milieu urbain et périurbain, l'AUP se déroulant dans un environnement plurisectoriel (Nguengang, 2008). Depuis le début des années 1970, l'AUP fait l'objet d'un nombre croissant d'intervention par le biais d'agences internationales d'aide au développement. L'importance qui lui est accordée reflète l'évolution des politiques et des programmes en matière de développement international.

Certains chercheurs comme Henning (1997), Rees (1997) et Smit (1996) affirment que l'agriculture urbaine constitue une activité qui favorise l'émergence de nouvelles formes de solidarité socio-économique et une participation civique accrue, surtout lorsqu'elle est pratiquée dans un cadre collectif. Au Québec par exemple, la mise sur pied de jardins communautaires en milieu urbain reflète la volonté des citoyens de reprendre du pouvoir sur leur vie quotidienne grâce à une autonomie alimentaire accrue. Selon Bopda (2008), gérée de façon efficace, l'AUP peut devenir le chantier porteur d'une construction sociale et politique proactive de la modernité africaine et un indicateur simultané de la qualité de l'écologie tant urbaine que naturelle.

L'AUP connaît un essor fulgurant du fait de la croissance urbaine accélérée ; le plus souvent motivée par la recherche de la sécurité alimentaire et l'amélioration du bien-être des citoyens. Elle participe à la lutte contre la faim dans les villes des PED en contribuant à l'approvisionnement alimentaire. Selon N'Dienor (2006) et Nugent (2000), l'AUP sert également « d'amortisseur » pour les moins pauvres durant les périodes de crise afin de maintenir certains niveaux de sécurité alimentaire. Le fait que l'AUP soit pratiquée en ville contribue également à l'aménagement urbain et périurbain. Elle permet de conserver des espaces verts au sein de l'espace bâti, elle a

une valeur écologique réelle. Elle recèle des richesses végétales et fauniques non négligeables pour le maintien de la biodiversité.

Les différentes facettes de sa fonction environnementale mettent en évidence que son exploitation à des fins agricoles et sa protection peuvent contribuer au maintien de l'équilibre écologique de la région dans son ensemble. Selon le CIPRE (2002), l'horticulture tout comme la sylviculture dans les bas-fonds inondés, participent également à l'amélioration de l'architecture urbaine.

Déjà souligné un peu plus haut, l'AUP contribue au recyclage des DS puisque la modernisation et l'intensification des systèmes de production induisent une plus forte utilisation d'intrants. Selon Lemeilleur (2002), lorsque les parcelles sont assez proches des habitations et qu'elles n'ont pas de grande superficie, elles bénéficient souvent des ordures ménagères, des cendres de cuisine et des déjections animales des élevages. D'un point de vue environnemental, l'AUP contribue au renouvellement de l'oxygène de l'air. En effet, la végétation urbaine ainsi constituée par les plantes agricoles, améliore la qualité de l'air en piégeant les émissions de gaz issues de carburants fossiles sans oublier le fait que l'évaporation rafraîchit l'atmosphère. La réduction des émissions de gaz à effet de serre, permet de mieux conserver les eaux pluviales d'orage, et réduit les frais de chauffage et de refroidissement.

b.) Les inconvénients de l'agriculture en ville

Bien qu'ayant des avantages nets, la pratique de l'agriculture en ville présente également des inconvénients ; ce qui justifie la perception défavorable qu'elle suscite de la part des administrateurs de la ville. L'utilisation de déchets (notamment les eaux usées) et de pesticides, les déjections animales, la divagation des animaux sont autant de sources de problèmes pour les populations et l'environnement citadin. En plus, la mauvaise utilisation de DS en agriculture urbaine comporte des risques importants pour la santé humaine. Selon Niang (1996), une prudence accrue est de rigueur dans le cas d'utilisation de déchets sur les cultures maraîchères dont les feuilles sont consommées, étant donné que certains métaux, comme le cadmium, s'accumulent préférentiellement dans les parties foliaires.

Les exploitants agricoles ainsi que les consommateurs des produits sont exposés aux risques d'intoxication alimentaire dus à la mauvaise utilisation des pesticides ou à l'utilisation de ceux périmés. De même, la manipulation permanentes des pesticides expose les producteurs à des risques divers pour leur santé (irritation cutanée et oculaire, altération du système de reproduction ou du système nerveux, etc.). Les risques de maladies hydriques sont aussi à signaler : typhoïde, dysenterie amibienne, bilharziose...

L'agriculture urbaine peut également avoir un impact négatif sur l'environnement. En effet, si les mesures sanitaires ne sont pas prises, l'AUP peut favoriser la pollution des sols et des nappes d'eau souterraines par des pesticides lors des traitements phytosanitaires ou des engrais minéraux à l'occasion de la fertilisation des sols. Elle facilite la prolifération des moustiques, vecteurs de paludisme, dans les bassins d'irrigation mal entretenus. Selon une récente mise en garde de la FAO et de l'OMS, environ 30% des pesticides commercialisés dans les PED ne sont pas conformes aux standards de qualité internationale et représente un danger pour la santé et l'environnement. Or ces produits chimiques contenant des substances dangereuses et des impuretés interdites ou strictement limitées, sont employés en agriculture urbaine. On note sur ce point les risques suivants : La destruction de la faune et de la flore utiles (oiseaux, poissons, abeilles, algues), la pollution de l'atmosphère urbaine et le déséquilibre des écosystèmes.

L'AUP ponctionne les ressources naturelles (terre, eau, sol, etc.) déjà rare au Sud, elle peut même entraîner une détérioration écologique (usure des sols, risque de contamination de la nappe phréatique), favoriser la criminalité urbaine, favoriser les conflits sociaux dus à une utilisation mixte des terres. Selon la FAO (1996), il est possible d'élargir cette liste et l'adapter aux conditions propres à chaque ville. Mais il est certain que les avantages et les coûts réels que représente, pour une ville, le fait d'autoriser ou d'encourager l'agriculture urbaine dépendent, dans une grande mesure, des conditions sociales et économiques que connaissent ses citoyens, de même que de l'ensemble de ressources qui y sont disponibles ainsi que dans les campagnes

environnantes. En tout état de cause, les chances sont meilleures de voir les avantages de l'AUP l'emporter sur les coûts/inconvénients.

III.1.2. Généralités sur les déchets organiques

Il s'agit de présenter les caractéristiques des déchets organiques et leurs utilisations en agriculture ainsi que leur processus de dégradation.

a) Les déchets organiques : caractéristiques et utilisations en agriculture

Les DO sont considérés comme des résidus ou sous-produits organiques biodégradables issus de l'activité agricole, de l'industrie agroalimentaire ou des collectivités urbaines et qui posent des problèmes de gestion à leurs détenteurs. Les DO sont la forme utilisable des DS en AUP après un traitement adéquat. En fonction de leur richesse en éléments organiques et minéraux, ils peuvent être considérés comme des amendements organiques ou des engrais organiques.

a₁) Typologie et caractéristiques des déchets organiques

➤ Typologie

Généralement, l'on distingue les déchets d'origine urbaine (composts de déchets ménagers, boues de stations d'épuration, déchets alimentaires, invendus de fruits et légumes), d'autres sont issues de l'élevage⁵¹, (déjections animales tels que les lisiers, les fientes, les bouses) et quelques unes d'origine agro-industrielle (la vinasse, la drêche des brasseries).

L'ITAB (2001) considère comme DO la fraction fermentescible des DS et les composts. Ces DO sont définis à la fois par leur consistance (liquide, pâteuse, solide) et par leur composition organique et minérale. Les DO d'origine végétale, comme les composts,

⁵¹ En principe, lorsque les déjections animales font partie intégrante du fonctionnement de l'exploitation agricole, il s'agit de sous-produits qui ne constituent pas des déchets; mais dans cette thèse nous les considérons comme tel.

apportent à la fois de l'humus et des éléments accessibles aux microorganismes et aux plantes ; ce sont les plus intéressantes pour le fonctionnement biologique des sols. Quant aux amendements d'origine animale comme les lisiers et les fumiers, ils agissent plutôt comme un engrais minéral et apportent peu d'humus.

Le tableau 36 montre qu'un DO est considéré comme un amendement organique lorsque sa teneur totale en azote, phosphore et potassium (N,P,K) est inférieure à 3% de la matière brute totale et comme un engrais organique lorsque l'un de ces trois éléments est supérieur à 3% de MB.

Tableau 36 : les catégories de déchets organiques

Catégories	Amendements Organiques	Engrais organiques	Engrais organo – minéraux
Définition	Teneur totale en N et P ₂ O ₅ et K ₂ O < 3 % MB MS % ≥ 30 % de MB MO % ≥ 20 % de MB	Teneur en un des 3 éléments (N ou P ₂ O ₅ ou K ₂ O) > 3 % de MB	Teneur totale en N + P ₂ O ₅ + K ₂ O > 7 % de MB et teneur en N ou P ₂ O ₅ ou K ₂ O > 3 % de MB
Origine	Origine organique, végétale ou végétale + animale Matières organiques peu dégradables constituées surtout de matières végétales compostées	Origine organique, animale ou végétale, ou en mélange	1 % minimum d'azote organique Une partie des éléments N-P-K est d'origine minérale
Rôle	Elles fournissent de l'humus au sol. Elles améliorent les qualités agronomiques du sol : - amélioration de la structure du sol - meilleure rétention en eau - meilleure régulation du stockage et de la fourniture des éléments minéraux à la plante - stimulation de la flore et de la faune du sol	Valeur amendante faible : peu d'influence sur les qualités agronomiques du sol du fait d'une rapide minéralisation du carbone. Elles fertilisent la culture : - apport des éléments minéraux N, P, K (selon les concentrations des matières d'origine) - pour N et P, l'intérêt est double : libération progressive en quelques mois, au fur et à mesure des besoins de la culture, et sous des formes directement assimilables par les plantes	

MS = Matière sèche

MO = Matière organique

MB = Matière brute

Source : Chabaliér et al., (2006)

L'apport de DO a deux rôles : augmenter la teneur en matière organique du sol pour améliorer la fertilité physico-chimique et biologique, et fertiliser les cultures par les éléments apportés. Les DO ont un effet important sur la densité des sols, la perméabilité des sols et leur capacité de rétention.

Selon les normes de l'AFNOR (2006), l'efficacité d'un amendement organique est appréciée à travers :

- la teneur en matière sèche par rapport au produit brut (MS) ;
- la teneur en matière organique par rapport au produit brut (MO) ;
- les teneurs en éléments fertilisants majeurs azote (N), phosphore (P_2O_5) et potasse (K_2O) ;
- les teneurs en éléments fertilisants secondaires oxyde de calcium (CaO) et oxyde de magnésium (MgO) ;
- la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote.

➤ **Caractéristiques**

Les effets des amendements organiques ne se font sentir que sur une longue période⁵² (Tejada et al., 2006). Selon ces mêmes auteurs, lorsqu'épandus régulièrement, ils maintiennent, voire augmentent, le taux de matière organique du sol, et ils améliorent l'état physique du sol et influencent significativement ses propriétés biologiques.

Les amendements organiques sont fortement conseillés pour les cultures sarclées, comme les cultures maraîchères et le maïs. Ils sont indispensables pour compenser les effets négatifs d'un travail du sol intensif, qui a tendance à accélérer la minéralisation

⁵² De 4 à 5 ans. En effet, lors de la décomposition des amendements organiques, d'importantes quantités de phosphore, potassium, calcium, magnésium, cuivre et de zinc sont libérées. La libération de ces éléments est lente et progressive, en harmonie avec les besoins nutritionnels de la plante qui sont échelonnés dans le temps. Le rythme de libération maximum a lieu en saison des pluies lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables à la fois pour l'activité des microorganismes du sol et pour la croissance rapide des cultures.

de la matière organique et à dégrader la structure du sol. En effet selon Mbogning (2000), le fait que les amendements organiques agissent sur les propriétés physiques, chimiques et microbiologiques du sol favorise une meilleure croissance et une augmentation de rendement des cultures.

Cependant, un apport organique trop riche en carbone et fermentescible peut conduire à une activité biologique excessive, provoquant la consommation par les microorganismes d'une partie de l'azote du sol. Il peut alors se passer une compétition entre ce prélèvement d'azote par la microflore et les besoins en N de la plante (par exemple, au moment du démarrage d'une nouvelle culture) : c'est le phénomène de « faim d'azote » de la culture. Ce phénomène est évité en apportant simultanément une fertilisation minérale azotée.

En Espagne, Bustamante et al., (2008) ont testé sur la culture de la laitue 02 co-composts constitués d'un mélange de sous produits agro industriels et des déchets organiques issus de l'élevage. Les résultats de leurs tests montrent que, bien qu'ayant eu un impact positif la masse fraîche, les co-composts n'ont pas eu d'effet significatif sur la germination de la laitue. Les auteurs expliquent ces résultats par l'amélioration de la fertilité du sol qui en résulte suite aux épandages.

Selon Chabalié et al., (2006), la fertilisation organique de la parcelle doit toujours être calculée en fonction du type de matière organique apportée et du type de sol⁵³. Selon ces mêmes auteurs, caractériser les amendements organiques revient à identifier :

⁵³ Exemple de calcul de fertilisation : un apport raisonné de fiente de poule pondeuse permet la fertilisation des cultures en azote, en phosphore et en potassium, ainsi qu'un entretien du sol en calcium. La matière organique apportée par les fientes de poule pondeuse est rapidement minéralisée et ne se maintient donc pas dans le sol. Elle a donc peu d'effet sur l'entretien humique du sol. Ne pas dépasser des apports d'éléments nutritifs correspondant aux besoins des cultures.

Par exemple, 4 t/ha de fiente de poule pondeuse apportent :

- 200 kg/ha d'azote total dont environ 120 kg disponibles pour la culture ;
- 121 kg/ha P₂O₅ dont 79 kg assimilables ;

- le rapport de la teneur en carbone sur la teneur en azote (C/N) qui est un ratio permettant de déterminer le niveau de maturité d'une matière organique et sa rapidité de minéralisation de l'azote. C/N varie de 4 à 6 pour des matières riches en azote et se comportant comme des engrais minéraux, par exemple les boues et les fientes, à plus de 20 pour des fumiers pailleux qui peuvent réorganiser l'azote du sol au détriment de la nutrition de la plante ;
- l'indice de stabilité biochimique (ISB) qui est fondé sur la composition biochimique de la matière organique. Cet indice (en %) permet de déterminer le degré de biodégradation d'une matière organique et sa stabilité au cours du temps. Il ne peut être déterminé que pour des matières organiques à base de végétaux ;
- le potentiel hydrogène (pH) qui est l'indice représentant l'acidité de la matière organique apportée, et pouvant avoir un effet sur le pH du sol et sur les caractéristiques biologiques du sol, en particulier la vie microbienne. Sa valeur varie en théorie entre 01 et 14. Une valeur de 07 correspond à une matière neutre ; une valeur inférieure à 07 indique une matière acide, une valeur supérieure à 07 indique une matière basique ;
- les coefficients d'équivalence engrais pour N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO⁵⁴ qui servent à caractériser l'utilisation réelle par les cultures des éléments fertilisants contenus

- 99 kg/ha K₂O assimilables ;

- 245 kg/ha CaO ;

- 35 kg/ha MgO ;

- 1 820 kg/ha de matière organique fournissant au sol 200 kg/ha d'humus.

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

⁵⁴ Exemple : pour une matière épandue, un coefficient d'équivalence engrais azoté (N) de 0,5 signifie que, l'année de l'épandage, 50 % de la quantité d'azote total apportée par la matière organique aura le même effet qu'un engrais azoté minéral sur la culture. Les 50 % restants sont perdus ou réorganisés au sein de la matière organique du sol. Cette partie non prise en compte dans l'effet direct peut avoir un arrière - effet sur les cultures des cycles suivants.

dans la matière organique. La quantité équivalente d'éléments minéraux assimilables, dite « équivalent - engrais », est divisée par la quantité totale d'éléments de la matière organique. La plupart de ces coefficients sont issus de la bibliographie. Ces coefficients varient de 0 à 100 % ;

- la composition en éléments fertilisants totaux de la matière organique décrite, exprimée en kg par tonne de produit brut (kg/t MS) ;
- la comparaison de la composition de la matière organique décrite aux teneurs moyennes des matières organiques des données de la bibliographie ;
- la composition en éléments traces métalliques de la matière organique décrite (mg/kg de MS).

a₂) L'utilisation des déchets organiques en agriculture

Il est connu que depuis très longtemps, les DO d'origine animale et végétale sont utilisés en agriculture pour améliorer les terres arables. En Afrique, la valorisation agricole des DS est fréquente ; on utilise beaucoup de déchets, y compris des excréments humains en agriculture et en aquaculture (Furedy et al., 2000 ; Asomani-Boateng & Haight, 1999). D'ailleurs, les auteurs comme Sotamenou et al., (2008) et Furedy et al., (2000) montrent que dans bien de villes africaines, les composts issus des DS et les cendres sont utilisés comme fertilisants en AUP. Selon Ganry et al., (2001), l'utilisation des DO combinés avec la fertilisation inorganique peuvent augmenter et stabiliser les rendements. Comme d'autres fertilisants agricoles, les déchets organiques contribuent aux besoins principaux de la plante⁵⁵.

⁵⁵ Selon Harvey & Sauvageau (2006), les plantes ont surtout besoin de trois nutriments : l'azote, le potassium et le phosphore.

L'azote (N) est une source essentielle d'acides aminés et de protéines qui sont nécessaires à la croissance et au rendement des plantes. De plus, l'azote occupe un rôle important dans la production de chlorophylle. La quantité d'azote absorbée détermine le niveau d'absorption des autres éléments. C'est pour cette raison que l'azote est considéré comme le pivot de la culture. Dans la plante, 80 % de l'azote sont sous forme

Vu la composition hétérogène des DS mentionnée en 1.1.1.b, leur utilisation agronomique ne peut être possible qu'après les opérations de récupération et de recyclage afin d'éliminer les risques de contamination par les métaux lourds. D'ailleurs, de nombreux processus de fermentation naturelle permettent la récupération et le recyclage de matières organiques, même à partir des DS qui nous intéressent. Ainsi, l'AUP à travers sa fonction de recyclage des DS joue le rôle de filtre par rapport à l'environnement et de préservation des ressources naturelles de production (Lekane Kembou et al., 2003). Selon Sanchez-Monedero et al., (2004), environ 90% des déjections animales et 68% des résidus de cultures sont retournés au sol aux Etats-Unis,

protéique, le reste étant des acides aminés libres et des acides nucléiques (ADN, ARN). L'azote permet la constitution de réserves protéiques dans les graines. Il est absorbé avec l'eau du sol.

Le phosphore (P) est tout aussi important que l'azote. Il provient des fèces et des pailles, le plus souvent sous des formes organiques (ATP, ADN, phospholipides, Phosphore phytique). Ces formes sont facilement disponibles pour la culture et équivalentes à une forme soluble de phosphate contenue dans un engrais minéral. Il joue particulièrement sur les aspects suivant : la respiration, la photosynthèse, l'accumulation et le transfert d'énergie, le métabolisme des glucides et des protéines, la division et l'allongement des cellules, la structure de l'ADN et finalement, c'est un composant des membranes cellulaires. Le phosphore contenu dans la paille provient surtout des échanges ioniques directs entre la racine et les particules minérales du sol.

Le potassium (K), quant à lui, assume la production de composantes structurelles telles que la lignine et la cellulose. Il influe aussi sur l'absorption de l'eau et du CO₂, de la photosynthèse en plus d'aider l'ouverture des stomates dans les feuilles. Il a bien d'autres rôles dont ceux pour la teneur en sucre et en amidon ainsi que la résistance de la plante face aux insectes et aux maladies. Le potassium provient de la paille et des urines. Il est sous une forme minérale (urée, carbonate, chlorure) totalement soluble et aussi efficace que celui d'un engrais potassique minéral. Dans la plante, on estime que la moitié du potassium vient de l'absorption de l'eau et l'autre moitié des échanges ioniques directs entre la racine et les particules minérales de sol.

En plus d'enrichir le sol, ces engrais ont des effets à long terme, dans le cas des fumiers et des composts, et à court terme, dans le cas du lisier. Ceci est explicable par le fait que le lisier est déjà dans une structure minérale. Les carences et les toxicités sont dues à des déficiences ou à des excès de ces éléments dans le sol. La teneur naturelle du sol, une pollution, des caractéristiques particulières du sol peuvent en être la cause.

car ils sont très riches en azote et en potassium. C'est également le cas à la Réunion où les déchets animaux sont très utilisés en agriculture (Aubry et al., 2006).

Dans un système d'exploitation agricole, les DO utilisés comme fumier au-delà de leur rôle de restitution des éléments nutritifs exportés du sol après récolte jouent d'autres rôles. Ils contribuent par un effet direct à pourvoir les éléments nutritifs à la plante, à maintenir ou à accroître le niveau de matière organique du sol et dans le sol, à accroître les capacités de rétention et d'infiltration d'eau dans le sol. De par ses effets sur les propriétés physiques du sol et la vie des micro-organismes et animaux du sol, les DO, contribuent à l'équilibre du sol, apportent des nutriments et améliorent le rendement de récoltes. Ils contribuent également de moitié aux besoins en azote et potassium des plantes et réduit de près de 25% les dépenses liées à l'achat d'intrants chimiques (Akinbamijo et al., 2002 ; Drechsel & Kunze, 2001). L'utilisation des DO issus des déchets recyclés peuvent donc constituer une alternative (un substitut) crédible pour d'une part assurer la durabilité des exploitations horticoles urbaines et périurbaines et d'autre part réduire la pollution due aux DS et aux engrais minéraux.

Selon Akinbamijo et al., (2002), la récupération est une décision qui milite en faveur de la préservation des ressources naturelles qui circulent et qui peuvent se perdre par imprudence dans l'exploitation ou hors de celle-ci. En cas de perte au détriment des deux composantes de l'agro-écosystème qui soutiennent les productions végétales et animales, la durabilité de l'exploitation devient précaire. La récupération au sein des agro-systèmes préserve l'environnement interne ou externe de l'exploitation ce qui réduit en aval le degré de pollution des DS. La gestion de la récupération interpelle la gestion de la collecte et de la gestion de l'exutoire dans l'exploitation.

Selon Ta (1998), la récupération de matériaux recyclables réduit la quantité de DS à traiter de 20 à 25%. Amadji (2008), Drechsel et al., (1999), soulignent que dans les systèmes d'exploitation agricole, les sous-produits utilisés très souvent comme matière première ou encore comme fumier au-delà de leur rôle de restitution des éléments nutritifs exportés du sol après récolte jouent d'autres rôles. Ils contribuent notamment par un effet direct à pourvoir les éléments nutritifs à la plante, à maintenir

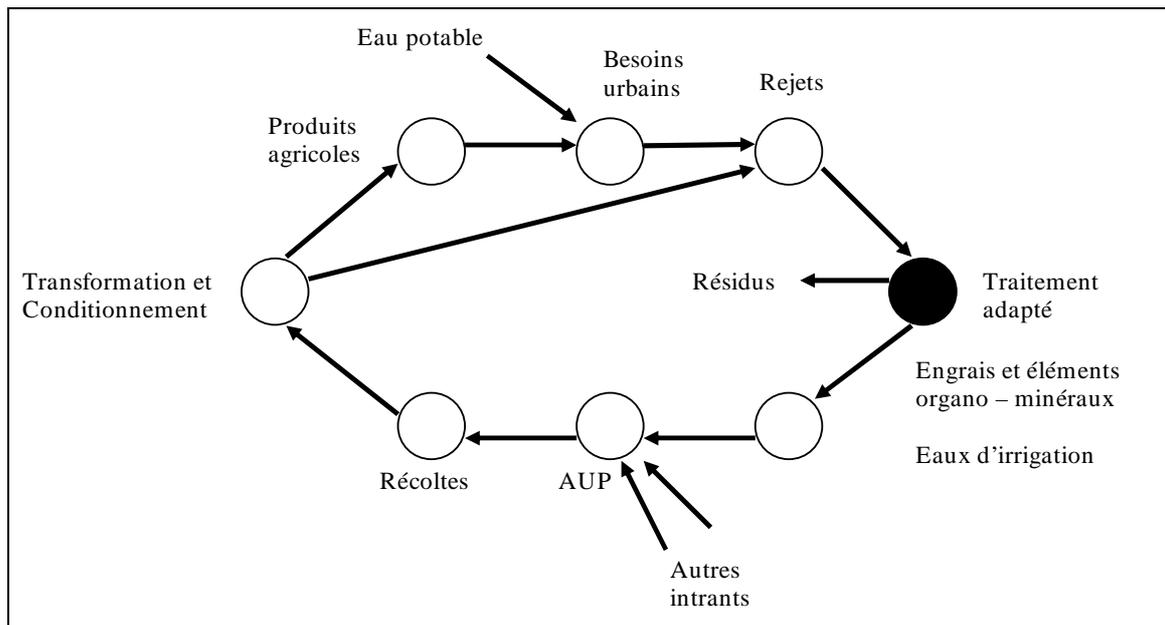
ou à accroître le niveau de matière organique du sol et dans le sol, à accroître les capacités de rétention et d'infiltration d'eau dans le sol. Certaines études montrent que la récupération des excréta humains, lorsqu'elle se fait dans les règles de l'art, constitue une source importante de nitrogène, phosphore et potassium (Cofie et al., 2008 ; USA Composting Council, 2000⁵⁶).

De par ses effets sur les propriétés physiques du sol et la vie des micro-organismes et animaux du sol, ils contribuent à l'équilibre entre la fumure ou la matière organique du sol, l'apport de nutriments, et le rendement de récoltes. Cependant, bien qu'en perte de vitesse en Afrique, le DO le plus utilisé en agriculture reste le compost car selon Mustin (1987), il présente les caractéristiques de l'humus. Selon Smith et al., (2004) il serait difficile de dire au sens propre du terme qu'il y'a un lien étroit entre la gestion des rejets urbains et l'agriculture dans les PED. D'un coté, les villes produisent de grandes quantités de rejets riches en eau, en matières organiques et minérales qui sont rejetés directement dans la nature. De l'autre côté, l'AUP est contrainte à l'intensification, consomme de grandes quantités de fertilisants (le plus souvent importés) et d'eau puisée dans les ressources en eau potable (réseaux, fleuves, nappes).

Une nouvelle stratégie pourrait, au contraire, viser à recréer des liens entre la gestion des rejets urbains et l'agriculture, sans remettre en cause le développement industriel et économique des villes. Cette stratégie repose sur des techniques de traitement des déchets et effluents, qui doivent aboutir à des coproduits facilement utilisables par l'agriculteur, sans dangers pour la santé et avec risque minimum sur le milieu naturel (Figure 15) ; tel est d'ailleurs tout l'enjeu de cette thèse.

⁵⁶ Source : www.compostingcouncil.org

Figure 15 : Le lien entre les rejets urbains et l'agriculture urbaine et périurbaine dans les villes du Sud



Aujourd'hui, l'utilisation des DS en agriculture est au centre des concepts d'agriculture dite durable, intégrée ou raisonnée⁵⁷.

⁵⁷ L'agriculture durable est l'application à l'agriculture des principes du développement durable tels que reconnus par la communauté internationale à Rio de Janeiro en juin 1992. Il s'agit d'un système de production agricole qui vise à assurer une production pérenne de nourriture, de bois et de fibres en respectant les limites écologiques, économiques et sociales qui assurent la maintenance dans le temps de cette production.

Le concept d'agriculture intégrée caractérise des pratiques agricoles menant à des aliments de qualité en utilisant des moyens naturels et des mécanismes régulateurs pour remplacer les apports polluants et pour assurer une agriculture durable. La préservation de la fertilité des sols et d'un environnement diversifié est un aspect essentiel. Les moyens biologiques, techniques et chimiques sont utilisés de manière équilibrée pour prendre en compte la protection de l'environnement, ainsi que les exigences économiques et sociales.

L'agriculture raisonnée quant à elle est un mode de production agricole qui vise à une meilleure prise en compte de l'environnement par les exploitants.. En France, une certification est attribuée aux exploitants agricoles respectant les principes de l'agriculture raisonnée. Pour certains opposants à ce concept, l'agriculture raisonnée est trop exigeante et participe à l'élaboration de futures réglementations plus exigeantes vis-à-vis de l'environnement pour l'agriculture.

Source : http://www.agritechnique.com/agriculture_integree.php

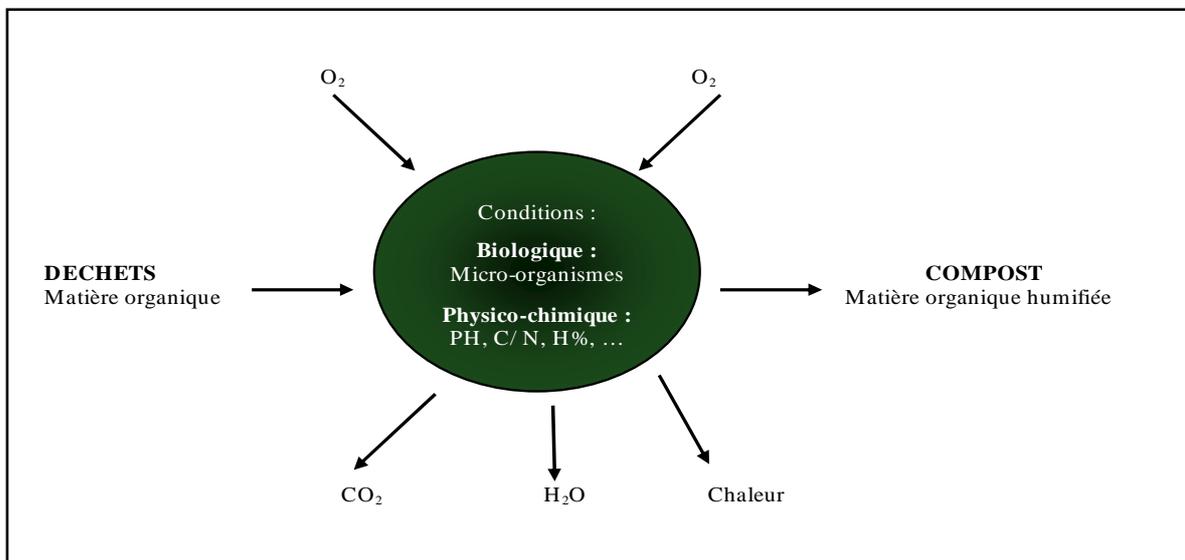
b) Le compostage : un processus contrôlé de dégradation des déchets organiques

Il s'agit maintenant de définir le compostage, de présenter son mode opératoire ainsi que les avantages et les inconvénients du compost.

b,) Définitions et modes opératoires

Selon Charnay (2005), le compostage est un mode de traitement biologique aérobie des déchets. Son principe peut-être schématisé comme le montre la figure 16.

Figure 16 : Le processus de compostage



Source : Charnay (2005)

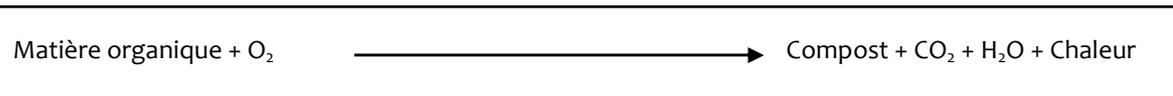
Pour Francou (2003), le compostage est un procédé ancestral de fabrication d'amendement organique. Le terme de compostage est familier à tout un chacun et évoque pour la plupart, un produit organique plus ou moins dégradé provenant d'un tas de déchets organiques au fond du jardin. Bien que ce procédé se réalise de lui-même dans la nature, le compost ainsi obtenu a des caractéristiques et des propriétés différentes en fonction de la nature du substrat et du déroulement de la fermentation. Ces transformations s'accompagnent de modifications physico-chimiques et microbiologiques, qu'il est nécessaire d'identifier afin de mieux les appréhender pour obtenir un compost de qualité ».

Le compostage est considéré par Wolkowski (2003), Eriksen et al., (1999) comme une méthode de traitement des déchets qui permet de mettre à la disposition des agriculteurs un produit moins chère. Le compostage est qualifié de biologique par l'intervention des micro-organismes dans la dégradation de la matière organique contenue dans les DS et d'hygiénique par la montée en température détruisant les germes pathogènes et les virus.

Selon Leclerc (2001), le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée ; le produit ainsi obtenu est appelé compost. Le compostage est également un processus microbiologique de dégradation de la matière organique non synthétique en présence d'oxygène (en aérobiose).

Pour Fritz (1992), le compostage c'est la décomposition des matières organiques et leur transformation en humus par l'action d'un grand nombre de micro-organismes dans un milieu chaud, humide et aéré. Ce processus permet de transformer les déchets organiques en compost, amendement organique très riche en éléments nutritifs.

Son équation globale s'écrit :



Les ingrédients du compost sont⁵⁸ :

- les tontes du gazon ;
- les cendres, sciures et copeaux de bois ;
- les restes de légumes et de fruits sauf s'ils ont été traités ;

⁵⁸ Source : <http://www.univers-nature.com/activites/fabrication-compost.html> 06/

- les végétaux issus des tailles doivent être broyés. En cassant ainsi les fibres du bois, ils seront plus perméables à l'humidité et aux micro-organismes qui sont responsables de la fermentation ;
- les fumiers d'animaux (le meilleur étant celui du cheval). Néanmoins, il ne faut pas utiliser de fumier provenant d'un élevage "industriel", car trop "pollué" par les différents additifs à l'alimentation ;
- la paille de blé ou autre ;
- les mouchoirs en papier ;
- les Essuie-tout ;
- certains tissus en fibres naturelles ;
- les fonds de pots de fleurs ou de jardinières ;
- le marc de café et les filtres papier ;
- les marcs de raisins ;
- les sachets de thé ;
- les litières animales (sans les déjections) ;
- les coquilles d'œufs ;
- la couenne de jambon, les crottes de fromage, ... ;
- les coques des noisettes, cacahuètes, noix, ... ;
- les orties entières avant la floraison ;
- les aiguilles de conifères fournissent un humus acide ;
- les algues marines doivent être au préalable dessalées à la pluie ;
- les cheveux, poils, ongles, plumes, ... ;

- les feuilles saines et les fleurs fanées.

A ne surtout pas composter :

- les plantes malades ;
- la viande et le poisson ;
- les produits laitiers ;
- les excréments d'animaux domestiques (chien, chat) ;
- les « mauvaises herbes » montées à graines.

Selon l'ADEME⁵⁹, la production de compost exige de prendre en compte quelques règles de base :

Mélanger : la plupart des catégories de déchets compostent difficilement seules. Il faut les mélanger pour obtenir un bon rapport carbone/azote, une humidité adéquate et une porosité adaptée facilitant l'aération.

Aérer : Les micro-organismes responsables du compostage ont besoin d'oxygène. Ils sont asphyxiés si l'air ne circule pas dans la masse en compostage. Il est donc recommandé de brasser et de mélanger les déchets organiques pour faciliter l'aération et éviter le pourrissement des déchets. Cela est tout particulièrement important au début du compostage lorsque l'activité des micro-organismes est la plus forte.

Brasser : Le brassage permet non seulement d'aérer la masse en compostage, mais aussi de bien mélanger les déchets afin que le processus de transformation soit en tout point régulier. Cela évite d'avoir des zones gorgées d'eau et d'autres asséchées, des zones bien décomposées et d'autres mal décomposées. C'est la condition pour obtenir un composte de qualité homogène.

⁵⁹ www.ademe.fr

Surveiller l'humidité : Le maintien d'une humidité adéquate est nécessaire au bon déroulement du processus. Si l'humidité est insuffisante, les déchets deviennent secs, les micro-organismes meurent et le processus s'arrête. En cas d'excès d'humidité, il y a asphyxie et dégagement d'odeurs désagréables. Il faut donc surveiller l'humidité et intervenir à temps. Assécher quand c'est trop humide en étalant le compost au soleil pendant quelques heures ou en le mélangeant avec du compost sec ou de la terre sèche.

Tamiser : il permet d'affiner le compost et de l'utiliser plus facilement. Un simple grillage posé sur un cadre de bois permet de séparer les éléments grossiers. Les refus de tamisage sont réutilisables en paillage ou peuvent être recyclés. Ils aident à démarrer le compostage et à améliorer le rapport carbone / azote

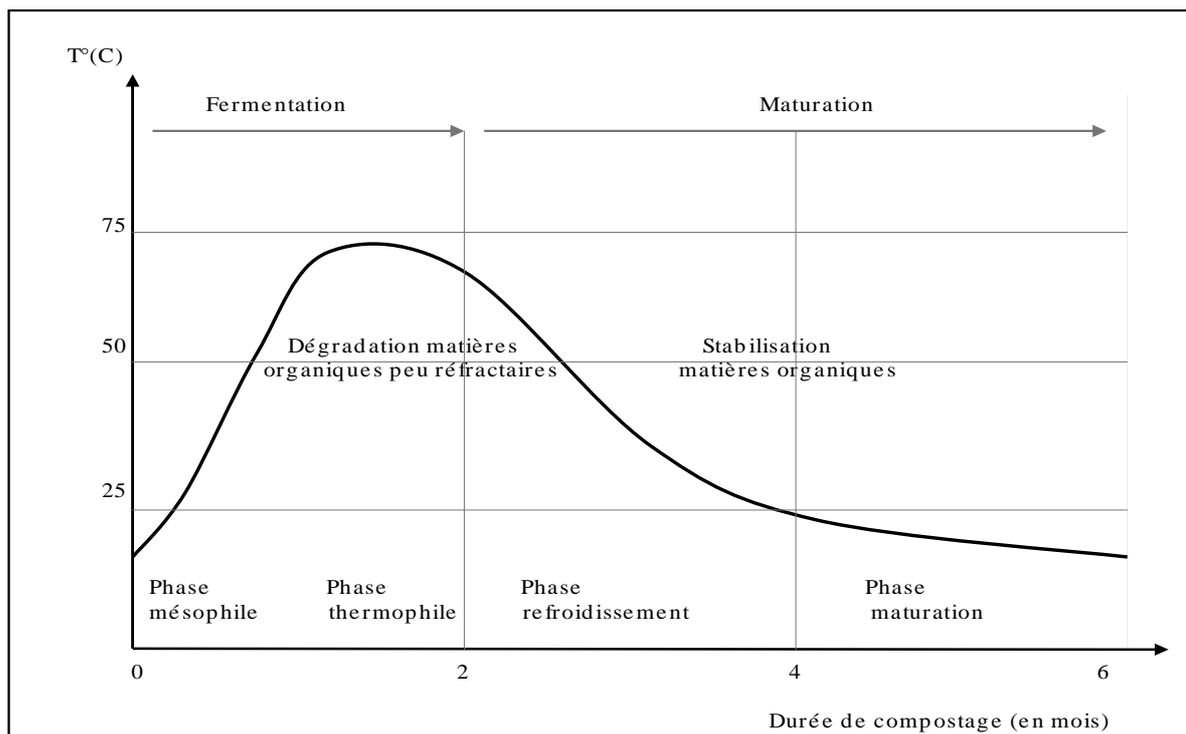
Le compostage est accompagné de production de chaleur. Il est largement admis depuis longtemps que la chaleur générée au sein du compost est essentiellement d'origine biologique, c'est à dire due à l'activité microbienne (Waksman, 1936). Des oxydations chimiques exothermiques peuvent également prendre part à l'échauffement du compost. Mais l'origine abiotique de l'échauffement est considérée négligeable devant l'origine biologique, lorsque les températures n'atteignent pas des valeurs très stressantes pour l'activité microbienne (plus de 80°C) (Miller et al., 1989). L'évolution schématique de la température au sein du compost permet de définir quatre phases au cours du compostage comme le montre la figure 17 (Leclerc, 2001).

La phase mésophile est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours de compostage, la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne (bactéries et champignons) générant une forte production de chaleur et une montée rapide de la température au cœur du compost. Très vite la température atteint des valeurs de 60°C voire 75°C. Cette phase est appelée phase thermophile car seuls les micro-organismes thermorésistants (essentiellement des bactéries) peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé.

A la phase thermophile succède la phase de refroidissement. La diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoque un ralentissement de l'activité microbienne. La chaleur générée par la dégradation microbienne est alors inférieure aux pertes dues aux échanges surfaciques et à l'évaporation, entraînant un refroidissement du compost. Cette phase de refroidissement peut être très progressive ou au contraire très rapide en fonction des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost par exemple. Au cours de cette phase, des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost.

Au cours de la dernière phase appelée phase de maturation, les processus d'humification prédominent, ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation des composts.

Figure 17 : Courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage



Source : Leclerc (2001)

Les deux premières phases qui sont des phases de dégradation des matières organiques sont regroupées sous le nom de fermentation, correspondant à une phase de dégradation intensive de la matière organique. S'il s'agit effectivement de

processus de dégradation de la matière organique, il ne s'agit pas au sens strict d'une fermentation, car par définition, le compost doit évoluer en conditions aérobies. Mais par extension, le terme fermentation définit les modifications chimiques du substrat liées à l'activité microbienne, tant en aérobiose qu'en anaérobiose. Certains auteurs parlent même de fermentation aérobie. Ce terme de fermentation est très utilisé dans le milieu du compostage.

Les principaux paramètres à suivre pendant le procédé de compostage sont les suivants :

pH : Le suivi du pH est un indicateur du degré de décomposition biologique et biochimique. Le pH du compost varie entre 5 et 9 (Damien, 2004).

Température : Selon Venglovsky et al., (2005), une température supérieure à 55°C permet l'hygiénisation, entre 45 et 55°C, elle favorise la biodégradation et entre 35 et 40°C elle améliore la diversité des micro-organismes.

Teneur en humidité : Selon Tiquia & Tam (1998) et Mustin (1987), l'optimum de teneur en eau se situe entre 40% et 60%. La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20%. Au contraire, si elle dépasse 70%, elle empêche les échanges d'oxygène, provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose.

Rapport Carbone/Azote : Les bactéries utilisent le carbone comme source d'énergie et l'azote comme source protéique. Il se situe entre 25 et 45 pour les ordures ménagères hétérogènes (Sadaka & El-Taweel, 2003 ; Eggen & Verthe, 2001).

Teneur en Matière Organique Totale : La minéralisation du compost correspond à une diminution de la M.O.T au cours de la dégradation biologique du substrat (Houot et al., 2002). Cette diminution est variable et dépend des conditions de réalisation du processus de dégradation mais également de la durée du procédé.

Apport d'oxygène: L'oxygène est utilisé par les micro-organismes comme un récepteur terminal d'électrons lors de la respiration aérobie et de l'oxydation des substances organiques (Waas et al., 1996). La présence d'oxygène est indispensable au bon déroulement du compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore.

Granulométrie: La granulométrie est un facteur qui détermine la vitesse de biodégradabilité. Une granulométrie trop fine induit un espace poral trop réduit et diminue l'accès puis la circulation de l'air : « étouffement » du compost. *A contrario* si la granulométrie est trop élevée, les apports en oxygène vont dépasser les teneurs optimales, asséchant le compost, et la montée en température se réalisera difficilement.

Bien que globalement, le compostage se fasse en conditions aérobies, plusieurs travaux ont mis en évidence la présence possible de sites anaérobies durant la phase de dégradation intensive (Beck-Friis et al., 2001; He et al., 2000). De tels sites peuvent s'expliquer par l'intense activité microbienne consommatrice d'oxygène et génératrice de gaz carbonique combinée à un manque d'aération du compost.

L'utilisation du compost en agriculture vient compléter l'utilisation répétée d'engrais minéraux qui très souvent est cause de la rétrogradation des propriétés physiques du sol et de l'inhibition des processus chimico-biologiques. Toutefois une fumure chimique appropriée et supplémentaire possède des mérites absolument incontestables. De Groote (1955) considère la fumure organique (tel que le compost) comme la fumure de base, tandis que la fumure chimique est considérée comme fumure stimulante et secondaire.

b₂) Les avantages et les inconvénients du compostage

➤ Les avantages du compostage

Selon Iglesias-Jimenez & Alvarez (1993), le compost possède des propriétés physico-chimiques, biologiques et améliore la structure des sols.

- Propriétés physico-chimiques :
 - rend plus absorbant les éléments minéraux, ce qui conditionne la croissance végétale ;
 - possède un pouvoir tampon élevé ;
 - arrête l'acidification des sols ;
 - allège les terres argileuses et améliore le drainage ;
 - augmente le pouvoir de rétention du sol vis-à-vis des ions minéraux ou organiques ;
 - modifie le comportement thermique du sol ;
 - améliore le rythme de diffusion des nutriments ;
 - lutte contre l'érosion du sol (pluies, vent) ;
 - action énergétique (oxydation de C et de H)
- Propriétés biologiques
 - apporte l'humus au sol ;
 - nourrit le sol avant de nourrir la plante ;
 - régule les stocks en éléments nutritifs pour la plante ;
 - améliore la fertilité du sol ;
 - améliore la croissance des végétaux ;
 - élimine les maladies chez les végétaux ;
 - aide les végétaux à développer un bon système racinaire ;

- augmente l'activité biologique de micro-organismes divers qui fixe par exemple l'azote de l'air ou rend assimilable par les plantes du soufre, du phosphore, des oligo-éléments,... contenu dans les roches.
- Améliore la qualité du sol :
 - améliore la structure du sol par augmentation des agrégats ;
 - améliore la capacité de rétention d'eau ;
 - réduit l'importance de l'effet du gel, de l'érosion (de l'eau et du vent) et diminution de la dessiccation par ventilation ;
 - améliore l'aération du sol ;
 - augmente la stabilité structurale ;
 - améliore la porosité du sol : facilite la croissance des racines ainsi que le développement de la vie biologique (augmentation de l'activité bactérienne des sols).

Zhang & He (2006), montrent cependant que le compost apporte de meilleurs rendements que lorsqu'il est appliqué à des doses élevées (à plus de 200 tonnes/ha par exemple). Le compostage reste la meilleure façon de traiter les déchets. Il permet de réduire considérablement les masses et les volumes à mettre en décharge (Marchettini et al., 2007). Ces réductions sont dues à la minéralisation des composés organiques, à la perte d'eau et à la modification de la porosité du milieu (Eklind & Kirchmann, 2000). La perte en matière organique entraîne une concentration des éléments minéraux au sein du compost (Kirchmann & Widen, 1994). De par son caractère élevé en matière organique et sa faible densité, le compost a un rendement environnemental très élevé (Marchettini et al., 2007) ; puisqu'il contribue à réduire l'utilisation des engrais minéraux (Hansen et al., 2006 ; Zhang & He, 2006 ; Jakobsen, 1995).

L'augmentation de la température permet la destruction des agents pathogènes contenus dans le compost. D'autres facteurs qui restent à étudier pourraient intervenir. L'action combinée de l'élévation de température et de la libération d'agents inhibiteurs permet la destruction de graines d'adventices (Wiar, 2001). Le compost est une source importante de nourriture pour les végétaux. Elle leur fournit tous les nutriments et minéraux dont ils ont besoin. Cette matière, composée de carbone, d'azote, d'hydrogène ainsi que bien d'autres minéraux, provient de différentes sources. Les animaux, par leurs excréments, produisent ce que l'on appelle le fumier et le lisier. La décomposition de ceux-ci mélangés aux végétaux produit le compost (Harvey & Sauvageau, 2006).

Le compost est présenté également comme une alternative durable et naturelle à l'utilisation des engrais minéraux. En effet, une tonne de fumier de bovins apporte environ 5 kg d'azote, 2,5 kg de phosphore et 6 kg de potassium. Les essais agricoles effectués sur certaines cultures ont montré que l'application de compost à raison de 30 à 40 tonnes/ha permettrait de doubler la production de légumes et salades, d'augmenter le rendement de maïs de 50 à 70% (Ngnikam et al., 1998), des arachides ou du mil de 80% (Cissé & Vachaud, 1988).

Si on suppose qu'il faut apporter 35 tonnes de compost par hectare pour doubler les récoltes, cela signifie qu'à partir d'une tonne de DS qui après compostage donnerait 350 kg de compost, on peut éviter de défricher à rendement égal 175 m² de forêt (Ngnikam et al., 1998). La surface de forêt ainsi préservée permettrait de garder le carbone déjà séquestré dans la biomasse et le sol et de l'oxyde nitreux à raison de 0,026 t/ha.

En ce qui concerne la quantité de carbone séquestrée dans la biomasse et le sol, Nganje & Tiki Manga (1998) estiment la quantité totale de carbone séquestré dans une forêt primaire, à 307 tonnes/ha. Pour les forêts secondaires, cette quantité serait de 230 tonnes/ha. En tenant par exemple compte de l'évolution des différents écosystèmes des villes de Yaoundé, Mbalmayo et Ebolowa au Cameroun, les mêmes auteurs estiment la quantité totale de carbone séquestré dans la zone périurbaine de

Yaoundé à 162 tonnes/ha. Une activité aussi simple que le compostage peut avoir un impact important sur le changement climatique, surtout en tenant compte des millions de gens qui pourraient composter leurs DS au lieu de les transférer dans les sites d'enfouissement. Le compostage prévient donc de la production de gaz à effet de serre⁶⁰.

⁶⁰ Bien utilisé, le compost peut se substituer aux engrais minéraux et donc réduire les émissions de GES.

En 2009, plus de 160 millions de tonnes d'engrais minéraux ont été répandus à la surface de notre planète. En six décennies, le recours à ces substances aura été multiplié par cinq. Elle dépasse les 200 kg/ha en Europe, en Chine, au Japon, en Corée du Sud, elle est de 50 kg en Australie, 10 à 20 kg en Afrique subsaharienne et Asie centrale, de 100 kg en moyenne dans les autres pays. Cela est dû pour partie à l'effondrement des surfaces consacrées aux légumineuses. Sur la saison 2006-2007, la consommation a été de 164 millions de tonnes, dont 98 pour les engrais minéraux, 27 pour la potasse et 39 pour les phosphates.

La Chine est le premier consommateur d'engrais minéraux, avec 49 millions de tonnes, suivi de l'Inde (22 Mt), des Etats-Unis (21 Mt), du Brésil (9 Mt), de l'Indonésie (3,5 Mt) et de la France (3,4 Mt). Depuis 1960, selon les Nations Unies, le nombre de zones mortes dans les mers et les océans a doublé au cours de chaque décennie, notamment à cause des nutriments, tels que l'azote et le phosphore, provenant du ruissellement d'engrais agricoles et de fumier. En 2005, 75% des rivières chinoises étaient contaminées par les fertilisants.

Bien que permettant de booster la production agricole, les engrais minéraux ne sont pas tous absorbés par la plante. Une partie s'écoule dans les fossés et les rivières ou migrent vers les nappes souterraines, une autre se disperse dans l'air et se retrouve en milieu urbain, comme l'attestent les mesures des organismes de suivi de la pollution. Cette pollution atmosphérique concerne, selon les études, 30 à 65% de l'azote minéral épandu, et est liée aux conditions climatiques et pratiques de fertilisation. L'excédent d'azote, couplé avec un excédent de phosphore (pollutions urbaines par les lessives et autres rejets domestiques), provoque une eutrophisation, un étouffement des milieux aquatiques et la production de toxines.

Les phénomènes de dénitrification et de volatilisation de l'ammoniac contenu dans les engrais minéraux génèrent des gaz à effets de serre de 23 fois à 300 fois plus actifs que le CO₂. En effet, le secteur agricole produit, directement ou indirectement, de 17 à 32% de l'ensemble des émissions mondiales de GES causées par les humains. Produire un kilogramme d'engrais nécessite de brûler 1,5 litre de fioul. Et plus du tiers des émissions de l'agriculture provient de sols qui reçoivent trop d'engrais.

Source : www.goodplanet.info

Il stocke le carbone et contribue également à atténuer les fluctuations extrêmes de température et à diminuer la gravité des tempêtes qui sont reliées au changement climatique. Le bilan global des engrais organiques sur l'environnement reste meilleur que celui des engrais minéraux, en particulier en terme d'émission de gaz à effet de serre. Ils constituent un des piliers des méthodes de l'agriculture biologique.

➤ **Les inconvénients du compostage**

Une étude récente sur le compostage au Cameroun et au Mali, montre que le compost est rejeté par les agriculteurs du fait de leur mauvaise qualité due à une séparation inadéquate des DS et la présence des produits dangereux comme les déchets plastiques (Keita, 2003); selon UNEP-IETC (1996) ces matières plastiques hypothèque la demande des agriculteurs en compost. Bien qu'ayant des qualités, le compost est généralement considéré comme une source importante de concentration en sel qui peut nuire à la croissance des plantes et à la structure du sol (Hargreaves et al., 2008). Lorsque la récupération des DS n'est pas fait à la source, le coût du compostage devient très élevé (Agdag, 2008). Selon Chabalier et al., (2006), l'apport des amendements organiques sur les cultures est une pratique de recyclage qui peut être considérée comme durable si elle est réalisée dans le respect des réglementations et du conseil agronomique.

Dans les pratiques agricoles, le « principe de précaution » doit donc être appliqué car il constitue un gage de crédibilité pour la filière de recyclage au sol. Il concerne aussi bien la qualité des matières fertilisantes utilisées que le respect des normes ou l'amélioration des épandages. L'irrespect de ces critères de qualité de la fertilisation organique peut engendrer des risques sanitaires et des risques de pollution de l'environnement. Les risques sanitaires sont liés à une éventuelle contamination des populations humaines, des animaux et de l'environnement par des microorganismes pathogènes contenus dans les matières organiques brutes (c'est-à-dire non hygiénisées). Ces matières organiques brutes, d'origine humaine ou animale peuvent héberger quatre types de microorganismes pathogènes : les parasites, les bactéries, les virus et les champignons.

Les risques de pollution de l'environnement sont les risques de contamination par les nitrates, les phosphates, les éléments traces métalliques (ETM), et les composés traces organiques (CTO) éventuellement présents dans les matières organiques utilisées en agriculture. Ces risques apparaissent en cas de mauvaises pratiques de la fertilisation organique : surdosage, répartition irrégulière sur la parcelle, teneur élevée en contaminants des matières épandues. Ces éléments potentiellement dangereux peuvent polluer l'atmosphère, polluer les sols, être exportés vers la chaîne alimentaire, être transférés vers les nappes d'eau souterraines. Ces pollutions peuvent toucher les trois compartiments de l'environnement : le sol, l'eau et l'air. Elles peuvent être ponctuelles ou diffuses :

- ponctuelles, ou localisées, comme les fuites d'effluents issus des bâtiments d'élevage ;
- diffuses, provoquées par le ruissellement, le lessivage, ou par des dépôts atmosphériques d'éléments dangereux.

Malgré tous les inconvénients liés au compostage, le compostage reste l'alternative de gestion des DS la plus fiable en Afrique (Mbuligwe & Kassenga, 2002).

III.2. Cadre théorique et conceptuel de l'utilisation des déchets en agriculture

L'utilisation des déchets en agriculture s'appuie des théories aussi bien économiques qu'agronomiques. Selon Greene (1984), si l'on tient compte du principe de rationalité, l'implémentation des innovations est généralement censée conduire à une progression et par conséquent, à une amélioration dans l'esprit de l'innovateur. Dans cette section, nous présentons la théorie des innovations agricoles ainsi que tous les développements qui ont été faits sur la valeur agronomique des déchets.

III.2.1. La théorie des innovations agricoles

En économie de la production, l'agriculteur qui décide d'intégrer dans ses activités un intrant qu'il n'utilisait pas par le passé, et l'intègre dans son système de production,

affecte ainsi sa fonction de production. Les déchets recyclés ou organiques pouvant être considérés comme des intrants, l'on peut donc dire qu'un agriculteur qui ne les utilisait pas ou qui n'utilisait que les engrais minéraux par le passé ou même aucun intrant, innove. Nous entrons donc de plein pied dans la théorie des innovations agricoles qui fait appel à la notion d'adoption, d'acceptation et donc d'utilisation.

a) Le cadre conceptuel et théorique des innovations agricoles

Les innovations en agriculture s'inscrivent non seulement dans le cadre de la théorie de l'innovation (Schumpeter, 1935) et de la diffusion des innovations (Rogers, 1983) mais aussi sur la théorie des préférences (Varian, 2003 ; Houthakker, 1950 ; Samuelson, 1938).

a₁) Le cadre conceptuel des innovations agricoles

L'économiste Américain Joseph Aloys Schumpeter est aujourd'hui considéré à juste titre comme étant « le père » de l'analyse de l'innovation dans l'histoire de la pensée économique (Schumpeter, 1935). Selon Selim (1989), dans sa théorie du développement économique et du cycle des affaires, Schumpeter traite les innovations comme des chocs erratiques ou variables exogènes qui assurent l'expansion économique.

Les études sur les innovations agricoles sont devenues populaires dans de nombreux PED lors de la période dite de la « révolution verte » des années 1960 (Eicher & Baker, 1984). En Afrique au sud du Sahara, les « solutions nouvelles » se sont souvent heurtées à la réticence des communautés paysannes à adopter les nouvelles techniques (Johnston, 1985 ; Eicher & Baker, 1984).

Selon Rogers (1983), l'adoption des innovations est centrée sur le cheminement mental de l'individu. Depuis la première information jusqu'à l'adoption, l'individu passe de façon séquentielle par cinq étapes psychologiques :

- il prend conscience de l'existence de l'innovation ;

- il manifeste de l'intérêt à son égard ;
- il évalue les avantages et les inconvénients qu'elle présente ;
- il ménage une période d'essai ;
- il adopte l'innovation.

Selon leur rapidité d'adoption, on distingue dans une même communauté cinq catégories d'adoptants (Rogers, 1983 ; Bodiguel, 1975) :

- les innovateurs qui sont généralement les plus jeunes et les plus informés ;
- les premiers adoptants, plus proches des innovateurs ;
- les individus de la majorité précoce qui sont généralement prudents, réfléchis et bien informés ;
- la majorité tardive qui est constituée essentiellement de sceptiques, leur adhésion est difficile à obtenir ;
- les retardataires qui traditionnellement sont plus âgés et se méfient des vulgarisateurs.

Il ressort de cette classification que la réceptivité et l'accès à l'information sont quelques uns des principaux déterminants de l'adoption/ non adoption d'une innovation (Adesina & Zinnah, 1993).

L'adoption des innovations est généralement influencée par les variables socio-économiques telles que l'âge, le revenu, le niveau d'instruction, ... (Cimmyt, 1993). Selon Rogers (1983) et Bodiguel (1975) l'innovation doit être plus souhaitable que ce qu'elle doit remplacer : elle doit être compatible avec le système de valeur de la collectivité dans laquelle elle est introduite. En fait, elle ne doit pas être complexe et trop difficile à comprendre, mais doit pouvoir être essayée et les résultats doivent être observables. La principale limite des modèles de comportement est qu'ils ne mettent en exergue que deux catégories de facteurs d'adoption d'une innovation : ceux liés

aux caractéristiques de l'innovation et ceux liés aux caractéristiques socio-économiques de l'exploitant. Adesina & Zinnah (1993) montrent que les caractéristiques de la technologie telles que perçues par les agriculteurs conditionnent significativement la décision d'adoption d'une innovation.

a₂) La théorie des préférences révélées

Samuelson (1938) a proposé de déduire les préférences des consommateurs en observant leurs choix. Plutôt que de les questionner sur leurs préférences en proposant plusieurs paniers de biens possibles afin d'obtenir des courbes d'indifférences, la théorie des préférences révélées se limite uniquement à l'observation du comportement des consommateurs; supposons que ces consommateurs soient des agriculteurs. Dans le choix des fertilisants à utiliser, l'agriculteur révèle ses préférences. Supposons que l'agriculteur achète un fertilisant A plutôt qu'un fertilisant B. Si le fertilisant A coûte plus cher ou est aussi cher que le fertilisant B, alors le consommateur révèle qu'il préfère le fertilisant A au fertilisant B. En supposant que ses préférences ne changent pas, il ne faut pas que lors d'un autre achat il révèle le contraire. Pour que son comportement soit cohérent, Samuelson (1938) propose l'axiome faible des préférences révélées suivant : Si A est préféré à B alors B ne doit pas être préféré à A.

Avec cet axiome, il a pu déduire la négativité de l'effet de substitution mais pour faire le lien avec la théorie axiomatique des choix il fallait aussi montrer la symétrie de cet effet. Houthakker (1950) a alors proposé l'axiome fort des préférences révélées suivant : Soit R^D la relation « directement préféré à » et A, B, ..., Z des types de fertilisants. Si $A R^D B R^D C \dots R^D Z$ alors Z ne doit pas être directement préféré à A.

Un axiome plus général est utilisé lorsqu'on admet des courbes d'indifférence seulement convexes et non pas strictement convexes : c'est l'axiome généralisé de la préférence révélée (GARP en anglais). Si $A R^D B R^D C \dots R^D Z$ alors, en prenant les prix lorsque le consommateur achète Z, le fertilisant A doit coûter plus cher ou aussi cher que Z. Un ensemble de données est conforme à la théorie de la maximisation de l'utilité si et seulement si il satisfait l'axiome généralisé de la préférence révélée.

Varian a proposé un algorithme qui permet de vérifier cette conformité. Les expériences effectuées avec les consommateurs révèlent que les comportements sont parfois incohérents (le pourcentage varie entre 30% et 60% selon les études). Selon Varian (2003), l'objectif d'un agriculteur rationnel est la maximisation de son utilité, sous sa contrainte budgétaire (R). Supposons que cet agriculteur consomme une quantité x_1 de déchets organiques et une quantité x_2 d'engrais minéraux, son problème peut donc s'écrire sous la forme :

$$SC \begin{cases} \text{Max } U(x_1, x_2) \\ P_1(x_1) + P_2(x_2) = R \end{cases}$$

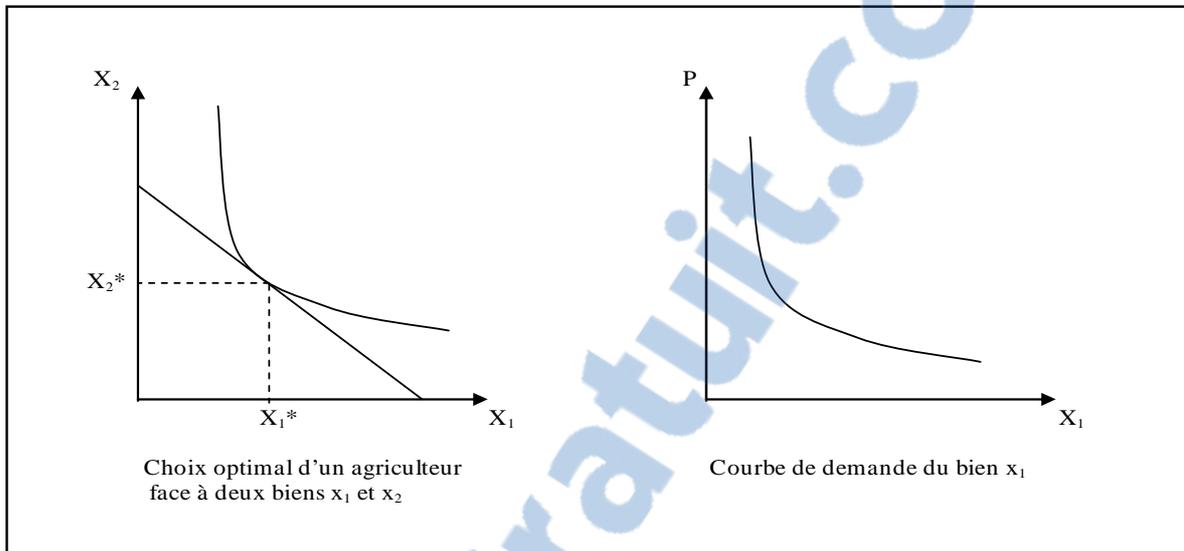
La contrainte budgétaire ou droite de budget définit une droite dans le plan (x_1, x_2) . La résolution de ce programme permet d'obtenir les quantités optimales x_1^* de déchets organiques et x_2^* d'engrais minéraux qui maximisent son utilité ; les quantités optimales étant fonction du prix et du revenu. L'utilité est maximale au point de tangence de la courbe et de la droite de budget, le couple $(x_1^*; x_2^*)$ représente cet optimum. Elle montre aussi que la réduction de la consommation des engrais minéraux se traduit automatiquement par l'augmentation de la consommation de déchets organiques, de sorte que la contrainte budgétaire soit saturée. Cette situation nous permet de définir la fonction de demande de l'un des biens.

La fonction de demande de l'engrais chimique par exemple exprime le choix optimal du consommateur en fonction du prix unitaire et du revenu dont celui-ci dispose. La courbe de demande est donc une relation inverse entre la quantité consommée d'engrais chimique et son prix. La théorie des préférences aléatoires qui soutend cette approche permet d'expliquer et de prévoir la réaction des individus face à plusieurs choix. Graphiquement, cet optimum peut être caractérisé comme le présente la figure 18.

Gourieroux (1989) souligne que la meilleure façon de décrire le comportement de l'individu face à plusieurs alternatives est de supposer que l'individu fait des choix rationnels, représentables par une fonction d'utilité aléatoire. L'utilité aléatoire qui ordonne les préférences de l'individu dans un ensemble de technologies dépend des

caractéristiques spécifiques à l'individu, des attributs associés aux différentes options technologiques, et d'un terme aléatoire.

Figure 18 : Choix optimal d'un agriculteur et courbe de demande du bien x_1 ,



Source : Varian (2003)

La préférence pour l'un ou l'autre intrant en agriculture doit être motivée par les valeurs amendante et fertilisante de ces intrants.

b) La valeur amendante et fertilisante des déchets organiques

La qualité des DO repose d'une part sur leur pouvoir amendant ou humifiant et d'autre part sur leur pouvoir fertilisant.

b₁) La valeur amendante des déchets organiques

La notion de valeur amendante est l'aptitude des DO à entretenir ou augmenter le stock de matière organique (l'humus) du sol. Cette valeur amendante ou humifiante est donc liée à la teneur en matière organique et au niveau de stabilité de cette matière organique. La stabilité de la matière organique (valeur amendante) des DO peut être estimée par des mesures au champ ou par des expérimentations au laboratoire. La mesure au champ consiste à suivre pendant plusieurs années la teneur en matière organique d'un sol ayant reçu un DO et à la comparer avec un sol témoin

non amendé. Ces essais de longue durée sont rares compte tenu de la complexité de leur réalisation (Berry, 2001 ; Houot et al., 2002). Mais ces expérimentations de terrain sur de longues durées, porte sur un produit spécifique et sur un sol donné, et ceci dans des conditions de pratiques agricoles particulières ; une telle méthode est donc inadaptée pour caractériser la valeur amendante d'un grand nombre de DO. Comme expérimentation de laboratoire, on peut réaliser des incubations ou utiliser le fractionnement biochimique (ISB, CBM).

Le fractionnement biochimique permet d'obtenir une évaluation plus rapide et moins contraignante de la proportion de matière organique susceptible de contribuer à l'entretien de la matière organique du sol. Linères & Djakovitch (1993) ont mis au point une méthode reliant le niveau de stabilité de la matière organique à la nature biochimique du matériau. Ils ont alors évalué le taux de carbone restant dans le sol (Tr) à partir de fonctions puissances ajustées aux cinétiques de minéralisation du carbone obtenues lors d'incubations de longues durées (150 jours) de ces matériaux dans du sol. Ils ont ensuite relié par régression multiple les valeurs Tr aux fractions biochimiques suivantes : fraction soluble (SOLU), hémicellulose (HEMI), et lignine (LIGN), obtenues par fractionnement biochimique basé sur la méthode de Van Soest⁶¹, et cellulose brute (CEW) obtenue par fractionnement.

Cette régression a défini un jeu de 4 coefficients permettant le calcul d'un indicateur appelé *Indice de Stabilité Biologique* (ISB). L'ISB d'un produit est donc une détermination du niveau de stabilité biologique d'un produit uniquement à partir de sa composition biochimique.

Egalement basé sur le fractionnement biochimique de la matière organique, Robin (1997) propose une autre modélisation aboutissant à la détermination d'un *taux de carbone restant* dans le sol à long terme, que nous noterons CBM-Tr, à partir de la

⁶¹ Le fractionnement biochimique de la matière organique inspiré du fractionnement Van Soest & Wine (1967) consiste en un fractionnement de la matière organique en quatre familles biochimiques, sur la base de leur solubilisation successive dans des réactifs d'extraction : substances solubles (notées SOLU), hémicellulose (notée HEMI), cellulose (notée CELL) et lignine (notée LIGN).

composition biochimique de la matière du produit. La méthode est la même que celle de l'ISB se différencie par la prise en compte de la fraction minérale dans la régression. La cellulose brute n'intervient pas dans le calcul du CBM-Tr, seul le fractionnement Van Soest est donc nécessaire pour la détermination de ce coefficient.

b.) La valeur fertilisante des déchets organiques

Nous appelons ici valeur fertilisante, l'aptitude des DO à fournir des éléments minéraux (N, P, K, Ca, Mg, ...) aux plantes. Lorsque les DO sont riches en azote minéral par exemple, ceux-ci sont directement absorbés par les plantes. Dans le cas contraire, ce n'est qu'après la minéralisation de la matière organique des DO dans le sol que les éléments minéraux sont absorbés. La connaissance de la valeur azotée des DO est un facteur déterminant de la demande des composts par les agriculteurs (Francou et al., 1999).

La valeur fertilisante quant à elle se mesure donc le plus souvent en fonction de la teneur en azote d'un DO. Il existe trois types d'expérimentations basées sur la mesure de l'azote dans des conditions de plein champ ou au laboratoire :

- les expérimentations au champ permettent d'apprécier les effets des apports de compost sur la dynamique de l'azote du sol, sur sa biodisponibilité et sur la croissance des plantes en conditions similaires aux pratiques agricoles (Sanchez et al., 1997) ;
- les expérimentations avec plantes et en pot permettent également de voir les effets sur les plantes. Elles nécessitent la mise en place d'expérimentations moins lourdes et plus rapides que les expérimentations de terrain, mais s'éloignent des pratiques agricoles (Iglesias-Jimenez & Alvarez, 1993) ;
- Les expérimentations au laboratoire sans plante avec des mélanges contenant du sol et des DO placés en incubations en conditions contrôlées. Bien qu'offrant une plus grande facilité de réalisation, cette méthode s'éloigne des conditions réelles d'utilisation (Eriksen et al., 1999).

De l'azote isotopiquement marqué (N^{15}) est également utilisé dans un certain nombre d'études sur la dynamique de l'azote dans le sol. Un tel traceur permet d'estimer les quantités brutes d'azote immobilisé et minéralisé par la biomasse, ou assimilé par les plantes (Ambus et al., 2002) ou d'étudier le « priming effect » lié à l'incorporation au sol d'une matière exogène (Woods et al., 1987). En plus de l'azote, la plante a besoin du phosphore et du potassium pour assurer sa croissance.

➤ **Le phosphore**

Selon Iglesias-Jimenez & Alvarez (1993), le phosphore représente approximativement 0,2 – 0,5% de la masse sèche des composts d'origine urbaine. Comme pour l'azote, la disponibilité en phosphore est assez faible car difficilement accessible pour les plantes (Ribeiro et al., 2000). Mais pour Erich et al., (2002), l'ajout des DO augmente la quantité de phosphore disponible pour les plantes. Mais l'excès de phosphore est une source contamination et de pollution des eaux de surfaces (McDowell & Sharpley, 2003).

➤ **Le potassium**

Le potassium est présent en concentrations variables et généralement très faibles, plus basses que dans les sols cultivés (moins de 1%) (He et al, 1992). Mais à l'inverse de l'azote et du phosphore sa disponibilité est très grande, puisque pratiquement tout le K est disponible (Jakobsen, 1995). En plus des effets ci-dessus évoqués des DO sur les plantes, les DO agissent également sur les caractéristiques chimiques, biologiques et physiques du sol. Ils augmentent en effet l'activité biologique du sol ; ce qui favorise la fourniture des éléments N, P et K aux cultures. L'augmentation de cette « microflore active » s'oppose au développement d'une « microflore pathogène » (le compost augmente les défenses naturelles du sol et de la plante) (Davet, 1996). L'incorporation de DO à pH basique permet également de réduire l'acidité du sol, et de réduire les risques d'assimilation des métaux lourds par les plantes. L'incorporation des DO au sol s'avère efficace pour lutter contre la dégradation de la surface du sol (Bresson et al., 2001). Une étude au champ de Bazzoffi et al., (1998) portant sur un compost d'ordures ménagères pouvant être considéré comme stabilisé montre une réduction significative

de la densité apparente du sol pour un apport de 60 t/ha durant l'année suivant l'apport. Les composts ayant un pouvoir de rétention en eau supérieur au sol, l'incorporation de composts au sol augmente la capacité de rétention du sol proportionnellement à la dose apportée (Serra-Wittling, 1995).

III.2.2. Les différentes approches de l'adoption des innovations agricoles

Les études sur l'adoption des innovations agricoles utilisent généralement deux approches : l'approche basée sur la fonction de la production et l'approche basée sur la fonction de la demande.

a) L'approche basée sur la fonction de production

L'existence d'une relation fonctionnelle entre niveau de la production et fertilité a depuis longtemps été établie par les travaux de Mitscherlich (Munson & Doll, 1959). Dès lors, plusieurs recherches ont été menées en vue de construire des fonctions de réponse aussi proche de la réalité que possible. Nkamleu (2004), démontre qu'en Afrique Subsaharienne entre 1970 et 2001, la productivité globale des facteurs de production a affiché une bonne évolution. Cette bonne performance du secteur agricole était plutôt attribuable à une bonne progression de l'efficacité technique et non à des progrès technologiques. Son étude souligne également que les facteurs institutionnels et agro-écologiques jouent un rôle déterminant dans la croissance de la productivité agricole.

Mais seulement selon le Forum africain pour la Recherche Agronomique (FARA, 2006) qui a fait une évaluation de la productivité en Afrique sur une période plus longue et de façon plus détaillée, les facteurs tels que la faiblesse du niveau des capacités de production, l'implication insuffisante de l'utilisateur final, les systèmes inefficaces d'appui aux agriculteurs et le caractère parcellaire des éléments des systèmes d'innovation agricole globale (c'est-à-dire entre ces organisations de recherche, de vulgarisation, de formation et de cultivateurs ainsi que le secteur privé, les consommateurs, etc.) sont des traits communs de la plupart des institutions et des activités de productivité agricole en Afrique.

Xu & Jeffrey (1998) utilisent un modèle de frontière de production stochastique pour estimer l'efficacité productive du riz hybride et du riz conventionnel. Il ressort de leur étude qu'il existe des différences d'efficacité considérables dans la production du riz hybride, mais pas dans la production du riz conventionnel. Nkendarh & Temple (2003) utilisent le même modèle pour analyser les possibilités d'accroissement de la production du plantain au Cameroun.

Quelques formes fonctionnelles ont fait l'objet d'une large diffusion pour cerner la réponse des cultures et la rentabilité des engrais. Foster (1978) utilise une série de fonction linéaire pour déterminer l'effet de l'azote et du phosphore sur la production du coton sur différents sols en Ouganda.

Cependant pendant les trois dernières décennies, la majorité des agro – économistes ont suggéré l'utilisation des formes polynomiales pour représenter la réponse des cultures aux engrais. C'est ainsi que Vadlamudi & Thim (1974), sur la base de deux essais conduits en 1968 et 1969 au Kenya, se servent d'une fonction quadratique pour estimer la production du maïs et les doses optimales de fertilisants. Kaboré (1988) quant à lui, pour analyser la contribution des fertilisants sur le petit mil et du sorgho blanc dans trois villages au Burkina Faso, estime une fonction linéaire et une fonction quadratique. C'est également le cas pour Gohin & Chantreuil (1999) qui estiment que pour répondre au problème souvent causé par l'exogénéité des coûts de production, il serait possible de permettre une flexibilité des rendements en fonction des prix.

Cette flexibilité des rendements par rapport aux prix pouvant par exemple être introduite à l'aide d'une fonction quadratique exprimant les rendements en fonction des différentes charges auxquelles l'agriculteur doit faire face. Mais seulement, bien que les formes polynomiales aient le mérite de la parcimonie, elles forcent la substitution des facteurs et surestime la production et les doses optimales, sans oublier les difficultés de calibrage dues au nombre important de paramètres qu'elles nécessitent (Paris & Howitt, 1998 ; Ackello-Ogutu, 1985). Ces critiques ont favorisé l'émergence d'une nouvelle famille de fonctions de production : Les fonctions linéaires

et plateau qui sont basées sur la loi minimum de Von Liebig qui stipule que la production croît avec l'augmentation du facteur limitant (Lanzer & Paris, 1981).

b) L'approche basée sur la fonction de demande

L'estimation des fonctions de demande n'est pas du tout aisée. Après le choix des variables pertinentes, l'un des plus grands problèmes d'estimation des fonctions de demande réside au niveau de la forme fonctionnelle. Chow (1960) remarque que la forme fonctionnelle de la relation entre les paramètres dans un modèle est souvent déterminée par des connaissances empiriques. Les formes linéaires et logarithmiques sont les plus utilisées. Bien souvent, les chercheurs optent pour plusieurs formes fonctionnelles au départ de leurs travaux pour enfin retenir celle qui donne les meilleurs résultats en fonction des critères précisés.

Zhou et al., (2008) utilisent un modèle Logit simple pour déterminer les facteurs qui favorisent l'adoption de la technologie d'économie de l'eau appelée système de culture du riz sous couvert (Ground Cover Rice Production System – GCRPS) et simuler l'impact d'une modification de ces facteurs sur le potentiel d'adoption. Il ressort de leur étude qu'en Chine, l'âge et la taille du ménage n'ont pas d'impact significatif sur la probabilité d'adoption de cette technologie. Par ailleurs, l'appartenance à une association agricole et un revenu élevé de l'agriculteur favorisent l'adoption du GCRPS. En vue de réduire les nuisances dues à l'utilisation des produits phytosanitaires au Ghana et au Bénin, une étude réalisée par l'IITA (2002) s'appuie sur les modèles de prix hédoniques et Probit pour évaluer les potentialités d'un marché de biopesticides pour contrôler les maladies des légumes feuilles. Les résultats montrent que les principaux facteurs qui peuvent affecter l'adoption des biopesticides par les producteurs sont les rendements élevés, une meilleure qualité des produits, une action rapide contre les parasites, un épandage aisé et un large champ d'action.

Des chercheurs comme Zeller et al., (1997) et Eicher & Baker (1984), ont inclus tout un éventail de variables indépendantes pour évaluer les facteurs influençant la décision d'adopter l'engrais. Falusi (1975) en particulier a utilisé un modèle Probit à plusieurs variables pour analyser les facteurs influençant la décision d'utiliser les engrais au

Nigeria. Bamire et al., (2002), quant à eux utilisent un modèle Tobit pour évaluer les déterminants des facteurs d'adoption des fertilisants par les agriculteurs au Nigeria. Selon eux, l'existence de plusieurs variétés de fertilisants, le revenu (intra et extra agricole) de l'agriculteur et la disponibilité de ces fertilisants favorisent leur adoption. Quelques années plus tôt, Zegeye (1990) utilisait le même modèle pour isoler les déterminants de l'adoption et d'intensité d'utilisation des engrais au Nord du Ghana. Dans son étude sur les déterminants de la demande du compost urbain menée dans les villes de Yaoundé et Bafoussam au Cameroun, Nkamleu (1996) utilise un modèle Logit dichotomique ; en 1999 il utilise un modèle Probit bivarié pour analyser les déterminants de la demande des engrais minéraux dans l'agriculture périurbaine au Cameroun et en 2007, il utilise un modèle Logit Multinomial pour identifier les facteurs d'adoption des engrais minéraux et organiques au Cameroun (Nkamleu, 2007).

L'examen de ces travaux permet de dégager deux grandes catégories de facteurs d'adoption des innovations qui sont : La nature même de l'innovation et les caractéristiques socio-économiques des exploitants et du groupe social. La première catégorie comprend la capacité de l'innovation à lever les contraintes du producteur, à réduire le risque, à stabiliser le revenu, à donner de meilleurs résultats. Les facteurs socio-économiques de l'adoption d'une innovation comprennent généralement le revenu, la taille de l'exploitation, l'accès au crédit et à l'information, le niveau d'instruction, l'âge, l'aversion au risque, etc.

Des modèles qualitatifs de type ordonnés (Probit ou Logit ordonnés) ont également fait l'objet de plusieurs études notamment sur les études d'adoption de nouvelles technologies en agriculture (Baidu-Forson et al., 1997 ; Negatu & Parikh, 1999).

A la lumière des travaux ci-dessus évoqués, le choix des méthodes d'analyses des problèmes posés par l'agriculture en Afrique devrait cadrer avec la réalité des modes de production africaines tout en répondant avec rigueur aux exigences scientifiques. Pour notre part l'approche basée sur la fonction de demande semble correspondre au mieux à notre objectif d'identifier les facteurs explicatifs de l'utilisation des fertilisants organiques au Cameroun.

CHAPITRE IV :

UTILISATION DES DECHETS ORGANIQUES EN AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE AU CAMEROUN

Depuis quelques années déjà, l'AUP est devenue la principale source de ravitaillement en légumes et fruits des populations des grandes villes du Cameroun. De par son importance, cette activité à la fois montante et controversée qui s'inscrit plutôt dans un paysage urbain, constitue une source importante de récupération des DS. D'ailleurs, des tonnes de déchets organiques (DO) sont utilisées aussi bien à l'état frais que décomposé toutes les semaines dans les exploitations agricoles urbaines et périurbaines au Cameroun. Ces déchets ont un réel pouvoir fertilisant et leur utilisation en AUP à de fortes doses peuvent constituer un double dividende : ils peuvent servir de substitut ou de complément aux engrais minéraux d'une part et réduire la pollution due aux DS d'autre part. Par ailleurs, il ne suffit pas de produire les DO, mais il faut également qu'ils soient en permanence disponibles et acceptés des agriculteurs. A ce titre, ce chapitre se propose d'apprécier les contours de l'utilisation des DO en AUP au Cameroun. Alors que la première section fait une analyse agro-économique des DO disponibles au Cameroun, la deuxième section quant à elle identifie les facteurs d'utilisation de ces DO en AUP au Cameroun.

IV.1. Analyse agronomique et valeur économique des déchets organiques produits au Cameroun

Sur la base d'une enquête que nous avons réalisée en 2009 sur les déchets organiques utilisés comme intrant au Cameroun, les produits les plus intéressants ou potentiellement intéressants ont été collectés dans les villes de Yaoundé et Bafoussam et font l'objet de cette première section. Il s'agit ici de fournir une base objective de

raisonnement de la valeur marchande des DO utilisées comme intrants au Cameroun et de proposer des solutions permettant d'optimiser cette valeur marchande.

Notre démarche consiste à caractériser les DO disponibles au Cameroun et définir leur valeur marchande.

IV.1.1. Caractérisation des déchets organiques produits au Cameroun

La caractérisation des DO ne peut se faire qu'après un travail minutieux de prélèvement fait en amont. Avant de présenter la méthode utilisée lors du prélèvement de nos échantillons dans les bas fonds de Yaoundé et Bafoussam, il est important de faire l'état des lieux des DO disponibles au Cameroun.

a) Les déchets organiques produits au Cameroun

Ce sont principalement les composts d'ordures ménagères, les fumiers de volaille et les lisiers de porc.

a₁) Le marché des déchets organiques au Cameroun

Au Cameroun, les déchets organiques utilisés dans les exploitations horticoles urbaines et périurbaines comprennent :

- Le fumier de poulet de chair

Le fumier de poulet de chair est un engrais naturel constitué d'un mélange plus ou moins décomposé de litière riche en carbone (essentiellement des copeaux de bois) et de déjections de volailles (fientes). Ce fumier est issu des élevages plus ou moins intensifs de poulets de chair et des établissements avicoles installés dans les périphéries des villes. Le mélange du fumier avec le substrat évolue au fur et à mesure sous les animaux ; ce mélange est ensuite raclé et mis en tas. Le fumier de poulet de chair est beaucoup utilisé au Cameroun, il coûte 1000 FCFA/50 kg (20000 FCFA/t) à Yaoundé et Bafoussam.

- **Les fientes de poules pondeuses**

Les fientes de poules pondeuses sont des déjections de poules pondeuses « fraîches » ou « fermentées ». Ces fientes proviennent d'élevages industriels de poules pondeuses.

Conditionnées dans des sacs de 50 kg, elles coûtent 2000 FCFA (40000 FCFA/t) à Yaoundé et 1200 FCFA (24000 FCFA/t) à Bafoussam.

- **Les lisiers de porc**

Les lisiers de porc, proviennent des porcheries environnantes et des unités d'élevage individuel des paysans. Bien que beaucoup sollicités par les maraîchers, cet amendement organique reste rare à Yaoundé du fait que le cadre institutionnel local ne favorise pas la pratique de l'élevage de porc dans la ville. A Bafoussam par contre, la pratique de l'élevage étant courante, les lisiers de porc sont beaucoup utilisés dans les parcelles agricoles. Les lisiers de porc sont un mélange liquide des fèces et des urines de porc avec quelques déchets d'aliments. Il n'existe pas de marché de lisiers au Cameroun. Généralement seuls les agriculteurs éleveurs de porc en utilisent.

- **Le compost des ordures ménagères**

Le compost des ordures ménagères est une substance fabriquée à partir des déchets de ménage triés et de végétaux, le tout broyé. Il est très peu utilisé au Cameroun du fait, entre autres, de la mauvaise organisation des circuits de distribution et des coûts élevés relatifs à leur transport. D'ailleurs l'un des enjeux majeurs de cette thèse consiste également à trouver des voies et moyens d'accroître la consommation de compost aussi bien en zone urbaine qu'en zone semi rurale semi urbaine. Au Cameroun, il existe très peu de stations de compostage. Le principal point de fabrication et de vente de compost à Yaoundé est situé dans le 2^{ème} arrondissement de la ville ; à Bafoussam, l'ONG CIPCRE a une forte expérience en la matière depuis une dizaine d'année. Lors des enquêtes de terrain, nous avons constaté que bon nombre d'agriculteurs au Cameroun à défaut d'acheter le compost déjà prêt, préfèrent fabriquer eux-mêmes leurs composts de façon artisanale.

Dans les années 1990, le projet de compostage mené par l'ONG FOCARFE à Yaoundé avait été réalisé dans 15 quartiers de la ville. Environ 11 000 tonnes de DS étaient traitées tous les ans pour une production de compost de 3800 tonnes (Ngnikam et al., 1995).

A Bafoussam, le CIPCRE a installé en 1997, 05 unités décentralisées de compostage qui traitaient environ 9000 tonnes de DS par an pour une production de 3200 tonnes de compost (CIPCRE, 1997). Actuellement ces unités de compostage sont défectueuses.

Moins de 30% des agriculteurs utilisent le compost dans leurs exploitations agricoles. Cela signifie que malgré les problèmes de fertilité des sols et de fortes pressions foncières, plus de 70% des agriculteurs doutent de l'efficacité et la rentabilité du compost issu des DS (Sotamenou, 2005 ; Duane, 2004 ; MINAGRI, 2003).

Le compost est vendu à 2500 FCFA/50 kg (50000 FCFA/t) à Yaoundé et coûte 1500 FCFA/50 kg (30000 FCFA/t) à Bafoussam. Ces niveaux de prix élevés selon les agriculteurs camerounais font qu'ils préfèrent utiliser les engrais minéraux qui deviennent d'ailleurs de plus en plus onéreux. Rappelons que la valeur commerciale du compost est fixée de façon aléatoire par les producteurs. Dans la sous-section IV.1.2., nous identifierons la valeur marchande du compost ; c'est-à-dire les niveaux de prix qui reflètent la qualité des DO produits à Yaoundé et Bafoussam. Les engrais minéraux les plus utilisés au Cameroun sont l'engrais de type NPK (20-10-10) et l'urée (46-0-0). L'engrais (20-10-10) est vendu à 16000 FCFA/50 kg (320000 FCFA/t) à Yaoundé et 16500 FCFA/50 kg (330000 FCFA/t) à Bafoussam et l'urée (46-0-0) est vendu à 13500 FCFA/50 kg (270000 FCFA/t) à Yaoundé et 14000 FCFA/50 kg (280000 FCFA/t) à Bafoussam.

Selon Jaza Folefack (2005), le poids du compost, doublé des coûts de transport élevés (40 FCFA/t/km) – et même encore plus aujourd'hui du fait de l'augmentation des prix du pétrole – expliquent la réticence des agriculteurs camerounais face à l'utilisation du compost. Cependant, Jaza Folefack (2009) montre qu'en augmentant la production de compost (ce qui est possible vu les quantités de DS produits au quotidien, 1700 tonnes en moyenne tous les jours à Yaoundé et plus de 12000 tonnes en moyenne sur tout l'étendue du territoire), et en l'utilisant à de fortes doses, le compost peut bien se

substituer aux engrais minéraux, mais cela reste à valider par des essais agronomiques. Dans l'affirmative, cela permettrait de réduire les importations d'engrais minéraux, qui sont estimées au Cameroun à 100000 tonnes en moyenne par an depuis une vingtaine d'année.

Selon Jaza Folefack (2007), à Yaoundé, 86% des agriculteurs n'utilisent pas le compost à cause des prix élevés et 11% à cause des coûts de transport élevés relatifs à leur acheminement vers les exploitations. Par contre, ils sont prêts à l'utiliser si les prix baissent ou si le compost est distribué gratuitement. Mais 03% des non utilisateurs du compost doutent de l'efficacité du compost et estiment qu'ils ne peuvent en aucun cas l'utiliser même s'il est distribué gratuitement ; pour eux les engrais minéraux n'ont pas de substitut à cause de leur forte productivité. Les enquêtes que nous avons effectuées à Bafoussam en 2009 indiquent que seulement 37% des exploitants agricoles utilisent le compost ; pour 90% d'entre eux, le compost améliore la fertilité de leurs parcelles et 10% l'utilisent juste comme moyen d'élimination de leurs DS. Des 63% qui n'utilisent pas le compost, 80% disent avoir peur de l'utiliser et ne savent même pas l'utiliser, 10% disent qu'il n'est pas disponible et le reste estime qu'il n'est pas facile à utiliser du fait de son poids.

FOCARFE (1995) estime la demande potentielle de compost dans la région du Centre au Cameroun à 3348 tonnes par an avec un potentiel de progression annuelle de 4,5%. A partir de cette progression nous estimons que la demande de compost peut à ce jour atteindre les 6000 tonnes par an dans la région. Selon Jaza Folefack (2005), le niveau des prix ne peut que naturellement affecter l'offre et la demande du compost au Cameroun puisque celui-ci est généralement supérieur à la valeur de substitution du compost aux engrais minéraux.

Jaza Folefack (2008) montre que les non utilisateurs de compost sont prêts à l'utiliser s'il est vendu en moyenne à 334 FCFA le sac de 50 kg. Ce qui veut dire qu'une subvention par sac de 50 kg peut encourager l'utilisation massive du compost. FOCARFE (1995) et Ngnikam (2000) indiquent également que moins de la moitié du compost produit à Yaoundé est vendu. Des efforts doivent donc être faits pour

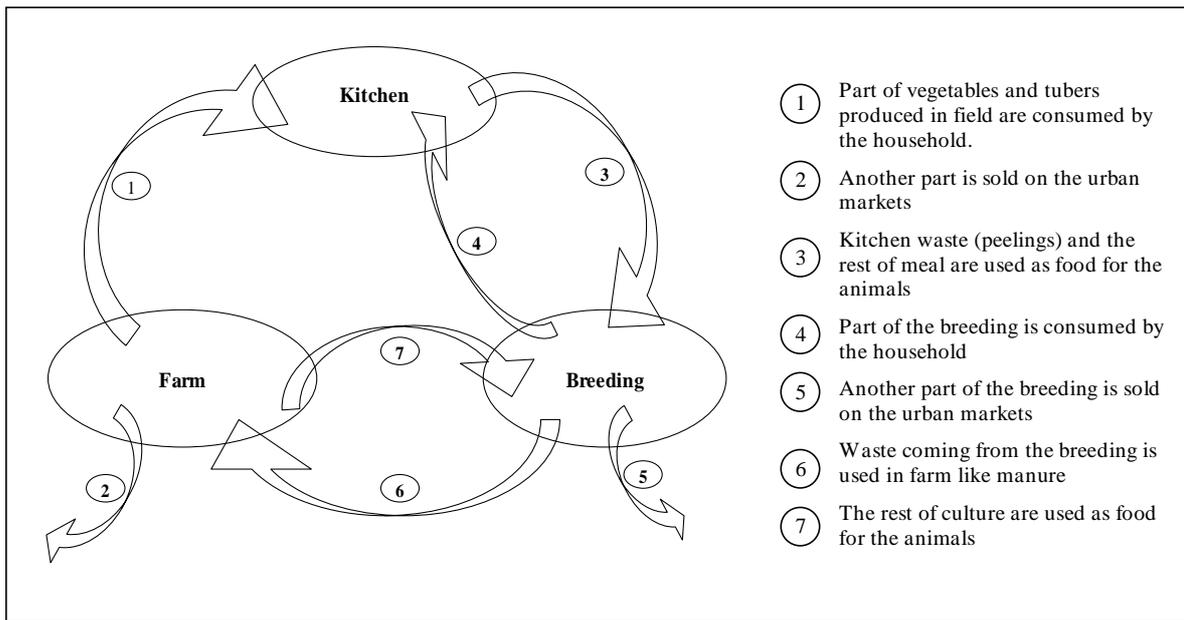
vulgariser le compost et encourager les agriculteurs réticents à l'utiliser, ce qui implique d'en maîtriser la valeur agronomique. En revanche, les fumiers de volailles et les lisiers de porc sont plus appréciés des agriculteurs urbains et périurbains du fait de leur niveau de prix relativement bas ; mais également de leur disponibilité dans les bas-fonds. L'enquête que nous avons effectuée en 2005 dans les bas-fonds de Yaoundé relève que près de 60% des agriculteurs y achètent et utilisent les déchets animaux. Leur utilisation est influencée positivement par leur niveau d'éducation et la surface de leur exploitation et négativement par leur âge et la distance qui sépare leur domicile de leur principale parcelle. Ce résultat indique que l'utilisation des DO sera d'autant plus importante que les agriculteurs habiteront près de leur exploitation (Parrot et al., 2009b).

Toutes les semaines, des quantités importantes de DO sont recyclées dans les bas-fonds des quartiers périurbains au Cameroun. En 2005 par exemple, environ 04 tonnes de compost artisanal ont été produits comme amendement organique chaque semaine dans les principales exploitations agricoles urbaines et périurbaines des bas-fonds de Yaoundé ; soit près de 208 tonnes par an⁶² (Sotamenou, 2005).

Nous avons constaté que dans ces bas-fonds, le cycle des DS diffère selon que l'exploitant agricole est éleveur ou non. En effet, les exploitants éleveurs déversent leurs DS triés tout d'abord dans leurs fermes avant de transférer le fumier obtenu au champ (*Figure 19*). Les exploitants non-éleveurs quant à eux jettent leurs DS triés dans des décharges familiales ; le compost obtenu est ensuite utilisé pour enrichir les pépinières (*Figure 20*).

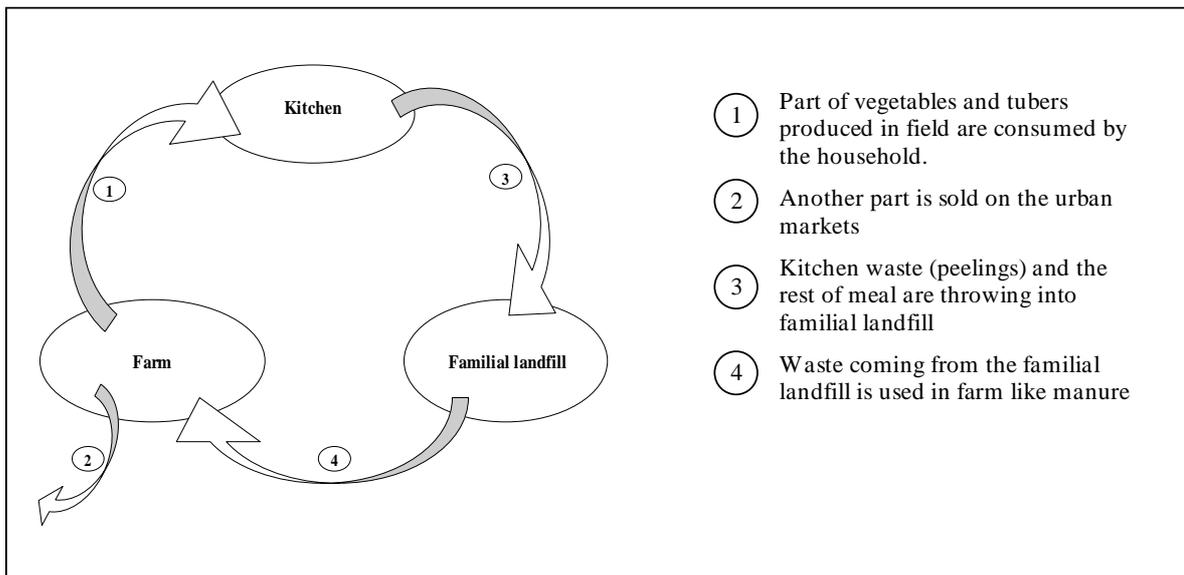
⁶² Cette récupération des déchets urbains par les exploitants des bas-fonds de Yaoundé permettrait à l'Etat de faire des économies liées au transport et à la mise en décharge, de l'ordre de 7000 dollars US par an.

Figure 19 : Cycle des déchets solides chez les agriculteurs – éleveurs dans les bas-fonds du Cameroun



Source : Sotamenou (2005)

Figure 20 : Cycle des déchets solides chez les agriculteurs – éleveurs dans les bas-fonds du Cameroun



Source : Sotamenou (2005)

Cependant le type de ressource organique urbaine qui tarde encore à intéresser les agriculteurs camerounais reste et demeure le compost urbain (qui en réalité est mal composté). Mais la récupération et la valorisation biologique par compostage des DS à l'échelle des quartiers qui ont vu le jour il y a déjà quelques années au Cameroun

laissent envisager un développement conséquent de la production du compost notamment⁶³.

Il devient donc indispensable aujourd'hui de connaître la place de ces futurs composts dans le marché camerounais des déchets organiques. Le marché du compost étant très localisé, l'adéquation entre l'offre et la demande est très dépendante du contexte local. En effet, les besoins en matières organiques en agriculture sont réels.

Au Cameroun, ils sont surtout définis en fonction du type de cultures (maraîchage ou floriculture) et des zones agro-écologiques (urbain et semi rural semi urbain). L'agriculture représente donc un potentiel d'utilisation de masse importante et régulière mais les composts issus des DS restent encore aujourd'hui peu utilisés.

a₂) La méthodologie de prélèvement des échantillons de déchets organiques

La constitution des échantillons de DO à apporter au laboratoire pour les analyses doit se faire selon les règles de l'art. Chabalier et al., (2006) présentent les différentes étapes à observer dans le prélèvement des échantillons des matières organiques, à savoir : l'échantillonnage, l'emballage et la conservation. Selon ces auteurs, un bon échantillonnage est constitué par le mélange et le brassage de plusieurs prélèvements, suivi de la constitution d'un échantillon choisi de manière aléatoire ou par divisions successives et de l'emballage dans des sachets plastiques, des barquettes avec couvercle en matière plastique ou des flacons à large goulot avec couvercle, remplis aux deux tiers du volume, le tout conservé au frais. Dans le cadre de cette étude, nos prélèvements ont été réalisés selon cette procédure dans les villes de Bafoussam et Yaoundé au Cameroun, deux zones aux caractéristiques agro écologiques différentes.

⁶³ A titre d'exemple, depuis 2008 l'ONG CIPRE basée à Yaoundé bénéficie d'un financement du Gouvernement Américain dans le cadre du projet « COMMUNITY BASE WASTE MANAGEMENT » afin de fabriquer du compost.

Afin de satisfaire les exigences de représentativité et de répétition, quatre arrondissements sur les sept que compte la ville de Yaoundé ont été retenus pour la collecte des échantillons. Il s'agit des arrondissements de Yaoundé I, Yaoundé III, Yaoundé IV et Yaoundé VII. Les prélèvements ont été effectués en périphérie de la ville et dans les bas-fonds de ces quartiers, par ailleurs bastions des activités agropastorales à Yaoundé. Au total 79 échantillons de DO ont été prélevés dans les quatre sites comme le présente le tableau 37.

Tableau 37 : Nombre d'échantillon de déchets organiques prélevé par site à Yaoundé

Sites de prélèvement	Code	Nombre d'échantillon collecté
Yaoundé I	Y 1	28
Yaoundé III	Y 3	17
Yaoundé IV	Y 4	19
Yaoundé VII	Y 7	15

A Bafoussam, au total 236 échantillons ont été collectés dans l'arrondissement de Bafoussam I (Tableau 38). De ces échantillons, il en résulte 13 traitements répétés 4 fois ; soit 52 échantillons composites acheminés sur Montpellier. L'annexe 3 présente les traitements expérimentaux par site (Yaoundé et Bafoussam).

Tableau 38 : Nombre d'échantillon de déchets organiques prélevé par site à Bafoussam

Zones	Sites de prélèvement	Code	Nombre d'échantillons collectés
Diembou	Diengso	B1	59
	Diandam	B2	60
Njingah	Bamendzi	B3	66
	Batoukop	B4	51

En résumé, nous avons prélevé 07 types de produits organiques à Yaoundé (assimilés à 07 traitements) et 13 à Bafoussam (assimilés à 13 traitements) dont 05 sont communs aux deux villes (fientes de poudeuses 10 – 12 mois, fientes de poudeuses 5 – 6 mois, fumier de poulets de chair 35 – 45 jours, compost d'ordures ménagères et compost de lisier de porc). Ces prélèvements ont été réalisés dans quatre zones par ville qui

constituent donc 04 répétitions « géographiques ». Chaque échantillon analysé par zone est un composite.

Ce mode de prélèvement a conduit *in fine* à 80 échantillons qui ont été préparés par les laboratoires de l'IRAD (détermination humidité, broyage et ensachage) et du CIRAD (détermination composition chimique et biochimique) en vue d'en estimer la valeur fertilisante et la valeur amendante (Houot, 2005 ; Thuriès et al., 2005). Nous avons défini ces deux valeurs dans le chapitre précédent et indiqué les méthodes utilisées à cet effet.

- **Méthode d'élaboration des traitements expérimentaux**

Les types de déchets prélevés assimilés à des traitements expérimentaux ont été choisis sur la base des caractéristiques des déchets organiques existant sur le terrain ; les contraintes de représentativité et de répétition ont été respectées. Ces traitements sont en réalité des échantillons composites issus des échantillons prélevés sur le terrain.

- **Le matériel utilisé**

Les travaux ont été effectués à l'aide du matériel suivant : une truelle de maçon, des sachets plastiques, des seaux plastiques et des motocyclettes.

- **Prélèvement des échantillons sur le terrain**

Les prélèvements ont été effectués au hasard au champ, en pépinière, dans les dépôts, dans les compostières et dans les fermes avicoles rencontrées dans les sites. Au champ et auprès d'un même paysan, plusieurs prélèvements ont été effectués dans une proportion de 20% au niveau des sacs de déchets organiques dont disposait celui-ci. L'ensemble des prélèvements a été collecté pour donner un échantillon d'environ 500 g représentatif. Le même principe a été respecté dans les dépôts. Dans les fermes les prélèvements ont été effectués en diagonale et à raison d'environ 500 g par échantillon. Dans les compostières les prélèvements ont été effectués à plusieurs

endroits de la compostière et au niveau de plusieurs compostières pour donner un échantillon représentatif par compostière d'environ 500 g.

- **Elaboration des échantillons composites**

Les échantillons présentant les mêmes caractéristiques et issus d'un même site ont été mélangés de manière homogène. Dans ce mélange, un échantillon d'environ 200 g était prélevé. Cet échantillon correspondait alors à un traitement expérimental. Ainsi, sept traitements ont été déterminés par site comme le présente le tableau 36 ; soit 28 échantillons composites conditionnés avant acheminement. Ces échantillons composites se présentent comme suit :

Les fientes de poudeuse : sur la base de la maturité, les fientes de 10 à 12 mois⁶⁴ ont été distinguées de celles de 5 à 6 mois⁶⁵. Celles-ci sont élevées à une densité de 8 à 10 poudeuses par mètre carré ;

Les composts des ordures ménagères : ces composts sont produits de manière artisanale et sont en contact direct avec le sol. Leurs constituants sont variables d'un site à l'autre ;

Les fumiers de poulet de chair : sur la base de la maturité, les fumiers de 35 à 45 jours⁶⁶ ont été distingués de ceux stockés 2 et 7 semaines⁶⁷. Ces fumiers sont constitués d'un mélange de copeau de bois blanc et de déjection des poulets. Ces poulets sont élevés à une densité de 10 à 25 poulets par mètre carré ;

Les composts de lisier de porc : il s'agit des amas de déjections de porc en tas trouvés auprès de quelques fermes.

⁶⁴ Prêt à l'usage, prélevé au champ ou en dépôt.

⁶⁵ Immature, prélevé en fermes agricoles.

⁶⁶ Immature, prélevé en fin d'élevage dans les fermes.

⁶⁷ Prêt à l'usage, prélevé au champ ou en dépôt.

Les analyses statistiques appuyant les résultats d'analyses de laboratoire que nous avons obtenues ont été réalisées à l'aide de l'Add-In d'Excel XLSTAT (Famhy, 2000) et du logiciel CoStat (Cohort Software, 2007).

b) Les résultats d'analyses physico-chimiques et biochimiques des déchets organiques produits au Cameroun

Les analyses des DO disponibles en AUP au Cameroun nous ont permis de les caractériser. Ces échantillons sont tous, par nature, susceptibles de relever de la norme française NF 44-051 (AFNOR, 2006) et peuvent de ce fait être classés sur les critères de cette norme, en trois catégories :

- les déjections animales non transformées (fientes de poules, lisier de porc, croutes de chèvres ou de lapins) « fraîches » ou après divers temps de conservation ;
- les produits résultant de la transformation de ces déjections animales (fumiers de poulets de chair, compost de lisier de porc) eux-mêmes stockés plus ou moins longtemps ;
- les produits résultant directement de l'activité humaine (compost de déchets urbains ou, en zone plus rurale de « déchets ménagers »), pour certains à plusieurs stades de leur évolution.

b₁) La valeur amendante et la valeur fertilisante des déchets organiques analysés

La diversité des DO et notamment leur origine permet d'aborder l'analyse de leur composition sous divers angles mais, à contrario, le nombre limité de répétitions (4) pour chaque « *objet élémentaire* » étudié ici se traduit par la mise en évidence d'une dispersion assez forte des résultats autour de la moyenne.

La figure 21 présente les teneurs en cendres totales, azote total, phosphore, potassium et calcium des DO de Yaoundé et Bafoussam en pourcentage de matière sèche (MS). Les codifications et symboles utilisés dans les graphiques de la figure 22 sont présentés à la figure 21.

Figure 21: Codifications et symboles utilisés dans les graphiques de la figure 22

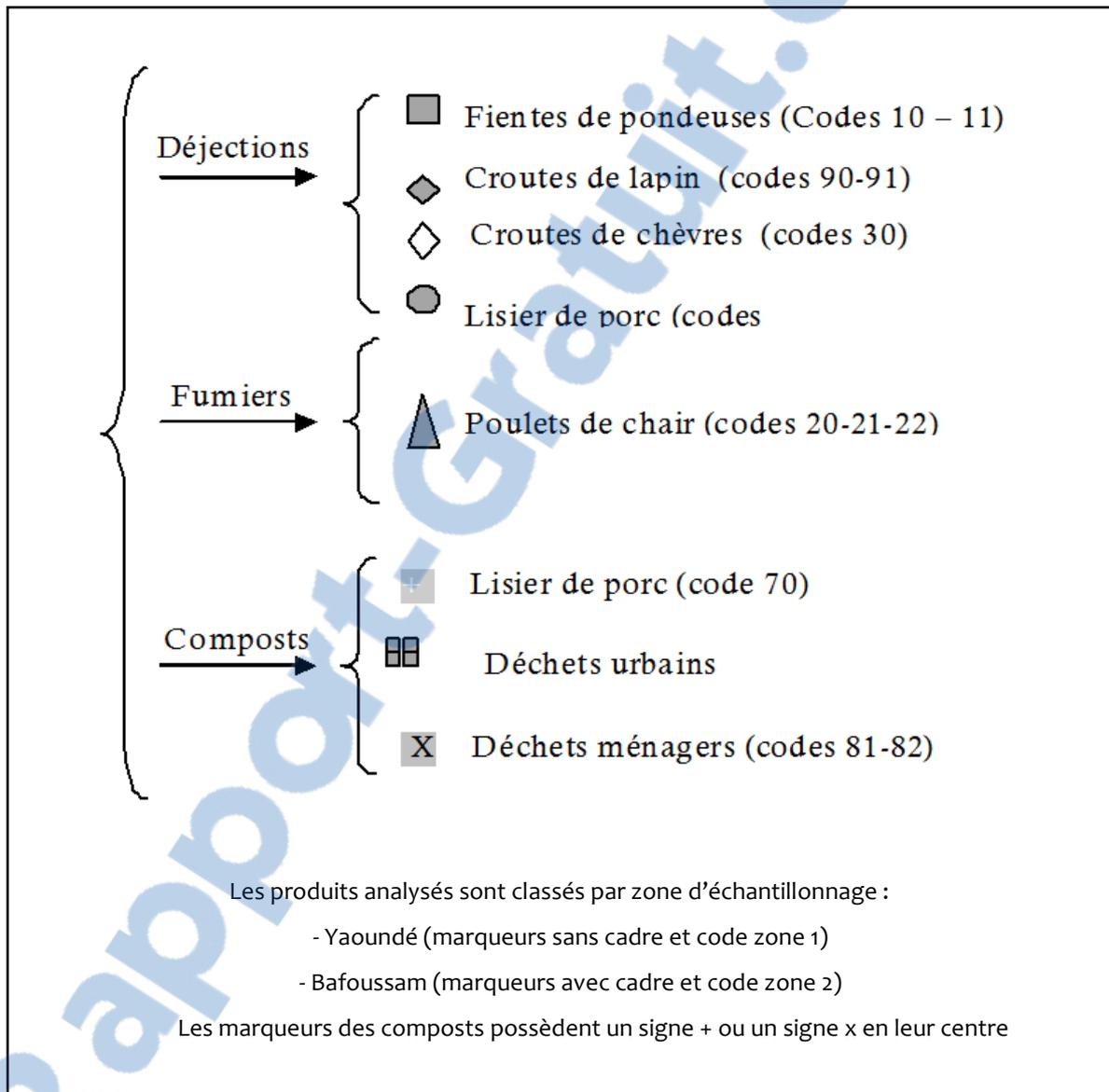
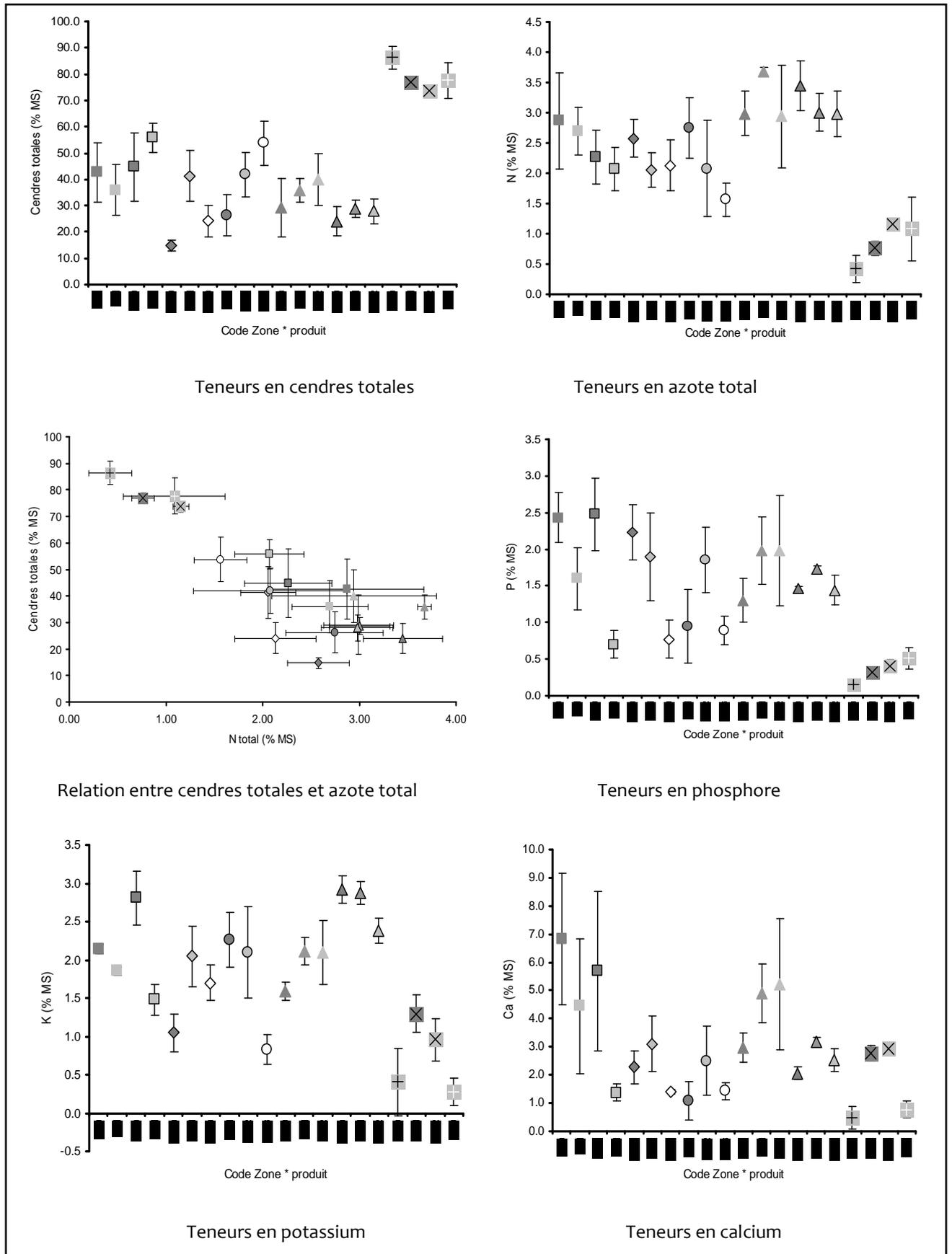


Figure 22 : Les teneurs en cendres totales, azote total, phosphore, potassium et calcium des déchets organiques de Yaoundé et Bafoussam en pourcentage de matière sèche (MS)



Le tableau 39 quant à lui synthétise et présente les valeurs de la composition moyenne des DO disponibles au Cameroun.

Tableau 39 : Composition moyenne des déchets organiques produits au Cameroun

Composant	Unité	Compost ⁶⁸		Fientes de pondeuses ⁶⁹		Fumiers poulets de chair ⁷⁰	
		Yaoundé	Bafoussam	Yaoundé	Bafoussam	Yaoundé	Bafoussam
pH	-	7,16	8,20	7,96	7,60	7,79	7,55
Humidité	%	29,43	42,21	13,85	15,29	17,77	18,39
CBM-Tr	%MS	3,0	0,0	12,70	0,0	22,10	17,10
MO totale (100-Cendres)	%MS	23,60	23,10	64,10	44,20	60,10	72,10
Carbone organique ⁷¹	%MS	11,80	11,50	32,0	22,10	30,0	36,0
N	%MS	0,42	0,76	2,70	2,07	2,94	2,98
N	%MB	0,31	0,44	2,35	1,75	2,41	2,43
Proportion de N dans 1 tonne	Kg/tonne	3,10	4,40	23,50	17,50	24,10	24,30
Rapport C/N	-	28,09	15,13	11,85	10,67	10,20	12,08
P ₂ O ₅	%MS	0,15	0,32	1,60	0,70	1,98	1,44
P ₂ O ₅	%MB	0,10	0,18	1,36	0,60	1,62	1,18
Proportion de P ₂ O ₅ dans 1 tonne	kg / tonne	1,0	1,80	13,60	06,0	16,20	11,80
K ₂ O	%MS	0,40	1,29	1,85	1,48	2,10	2,38
K ₂ O	%MB	0,30	0,74	1,60	1,25	1,72	1,94
Proportion de K ₂ O) dans 1 tonne	kg / tonne	3,0	7,40	16,0	12,50	17,20	19,40
CaO	%MS	0,47	2,77	4,44	1,38	5,23	2,52
CaO	%MB	0,33	1,60	3,69	1,17	4,30	2,06

Source: L'auteur

⁶⁸ Il s'agit ici du compost d'ordures ménagères de Yaoundé et Bafoussam (2-3 mois)

⁶⁹ Il s'agit ici des fientes de poules pondeuses qui ont été stockés pendant 5 à 6 mois à Yaoundé et Bafoussam

⁷⁰ Il s'agit ici des fumiers de poulets de chair stockés pendant 1 mois et 3 semaines à Yaoundé et Bafoussam

⁷¹ La teneur en C organique (C%) est estimée à partir du taux de cendres selon la règle de la norme NFU 44051 par la relation : $C\% = (100 - \text{cendres})/2$

Chaque valeur exprimée en % de matière sèche est la moyenne de 4 répétitions (géographiques). En agronomie, les unités de phosphore, potassium et Calcium sont exprimées en P₂O₅, K₂O et CaO respectivement. Seules les quantités d'azote sont exprimées en N.

Le tableau 40 présente les teneurs en éléments de traces métalliques (ETM) contenues dans les composts urbains.

Tableau 40 : Comparaison internationale de la proportion d'ETM contenue dans les composts urbains

Métaux lourds	Seuil dans les amendements organiques (mg/g MS)	Pourcentage de contamination du compost de Yaoundé (mg/g MS)	Pourcentage de contamination du compost de France (mg/g MS)	Pourcentage de contamination du compost de Cotonou (mg/g MS)
Cd (cadmium)	0,0030	0,0010	0,0040	0,0003
Cr (chrome)	0,1200	0,1490	0,0720	0,0110
Cu (cuivre)	0,3000	0,0580	0,4450	0,0200
Hg (mercure)	0,0020	-	0,0040	-
Ni (nickel)	0,0600	0,0300	0,0590	0,0050
Plomb (plomb)	0,1800	0,1650	0,3940	0,0920
Zn (zinc)	0,6000	0,3140	1,1790	0,1570
Source :	Nouvelle Norme AFNOR (2006)	Composition moyenne de compost produit sur 15 compostières artisanales de Yaoundé (Ngnikam et al., 1995)	Composition moyenne de compost d'ordures ménagères à partir de 37 usines en France (Brula et al., 1995)	Composition moyenne de compost issu d'une compostière artisanale à Cotonou (Waas et al., 1996)

Il ressort de ce tableau montre que le risque de contamination par les métaux lourds contenus dans le compost de Yaoundé n'est pas très important comme au Nord. Hormis une teneur légèrement forte en chrome (0,149), supérieur au seuil critique (0,120), les métaux lourds contenus dans les composts de Yaoundé sont en dessous des seuils critiques de contamination fixés par l'AFNOR (2006) contrairement à ceux de la France. Les risques de contamination des composts dépendent donc fortement du niveau de développement de la zone où sont produits ces composts.

b₂) Discussion des résultats

o La teneur en cendres totales

La teneur en cendres totales est un élément déterminant de la composition chimique dans la mesure où elle discrimine bien les produits à base animale (pauvres) et ceux à base beaucoup plus complexes (riches et même très riches pour certains).

La teneur en Carbone organique (C%) est estimée à partir du taux de cendres selon la règle de la norme NFU 44051 par la relation $[(100 - \text{Cendres})/2]$. Le paramètre 2 du dénominateur résulte de la relation empirique généralement admise $\text{MO}\% = (2 \times \text{Carbone}/100)$.

La teneur en cendres des composts de notre échantillon, de l'ordre de 80% est élevée comparativement à celles trouvée sur des composts urbains en France, qui varient de 50 à 60% par rapport à la MS (Leclerc, 2001). Cela s'explique vraisemblablement par une contamination par des « inertes » (souvent de la terre et ceci à cause du non respect des règles du compostage). Mais pour mesurer précisément l'effet du facteur « inerte » et celui du facteur « degré de maturation » qui tend aussi à augmenter la teneur en cendres totales, une analyse de C s'impose.

o La teneur en azote total

La teneur en N total est fortement corrélée à celle en cendres totales. On distingue deux groupes : les matières organiques d'origine animale (fientes de poudeuses, lisiers de porc et fumier de poulets de chair) d'une part et les matières organiques d'origine végétale (composts) d'autre part. Dans le premier groupe, les teneurs varient de 1,5 à 3,5 % matière sèche (MS) ou 0,7 à 2,7 % matière brute (MB).

D'après Chabalier et al., (2006), ces teneurs en N total relativement à la matière brute sont dans la moyenne des teneurs de la littérature pour les fumiers et fientes de volaille, tandis que celle du lisier de porc et des « croutes de lapin », frais ou surtout stocké, sont plus fortes. Dans le groupe des composts, les teneurs moyennes sont comprises entre 0,5 et 1,0 % MS et inférieures à celles enregistrée en d'autres

situations, de l'ordre de 1,2 % MS pour un compost d'ordure ménagère en France (Leclerc, 2001). La variabilité globale de cette valeur est de 20%. Dans les produits issus de l'élevage aviaire (fientes de volailles ou fumiers de volailles), 05 produits ont une teneur qui dépasse 2,4 % N matière brute. A cet égard, il est intéressant de mentionner de nouveau qu'une teneur minimale de 3% par rapport à la matière brute pourrait permettre de considérer ces produits comme des « engrais organiques » selon la norme NFU- 42001 (AFNOR, 2006).

o **La teneur en phosphore**

La teneur en P des produits étudiés permet de distinguer les deux mêmes groupes que pour l'azote (voir teneur en azote). Le groupe des matières organiques d'origine végétal (composts d'ordures ménagères) présente les teneurs les plus faibles, inférieures à 0,5% P MS. La plage de variation relativement à la matière brute des teneurs moyennes en P des produits est : de 0,8 à 1,6 % pour les fumiers ; de 0,6 à 2,0 % pour les fientes ; de l'ordre de 1,4% pour les croutes de lapin, de 0,2 à 1,2% pour le lisier de porc ; moins de 0,5% pour les composts. Le rapport N/P varie de 1 pour les fientes de poules pondeuses à environ 3 pour le lisier de porc ou les croutes de chèvre.

A titre de comparaison, Chabalié et al., (2006) indiquent pour les fumiers, des teneurs similaires en France (0,7 % pour La Réunion et 1,1 % pour la Métropole), pour les fientes des teneurs également similaires (1,4% pour La Réunion et 1,7% pour la Métropole), pour les croutes de lapin des teneurs identiques (valeur moyenne de 1.2%), des teneurs conformes pour le lisier de porc (1,1% pour La Réunion). Les composts, quelle que soit leur origine, se distinguent par des teneurs faibles en P, très nettement inférieures aux 0,7% indiquées par Leclerc (2001) en France.

o **La teneur en potassium**

Les teneurs en K des produits analysés par rapport à la matière brute, va de 0.27% (compost de lisier de porc) à 2.1% (fiente de poules pondeuses) avec une valeur médiane de 1.23%. Pour cet élément aussi, les produits les plus riches sont ceux issus de l'élevage de volailles et les plus pauvres sont les composts. Toutes ces valeurs se

situent dans la gamme de variation des teneurs observées dans la littérature (Chabalier et al., 2006).

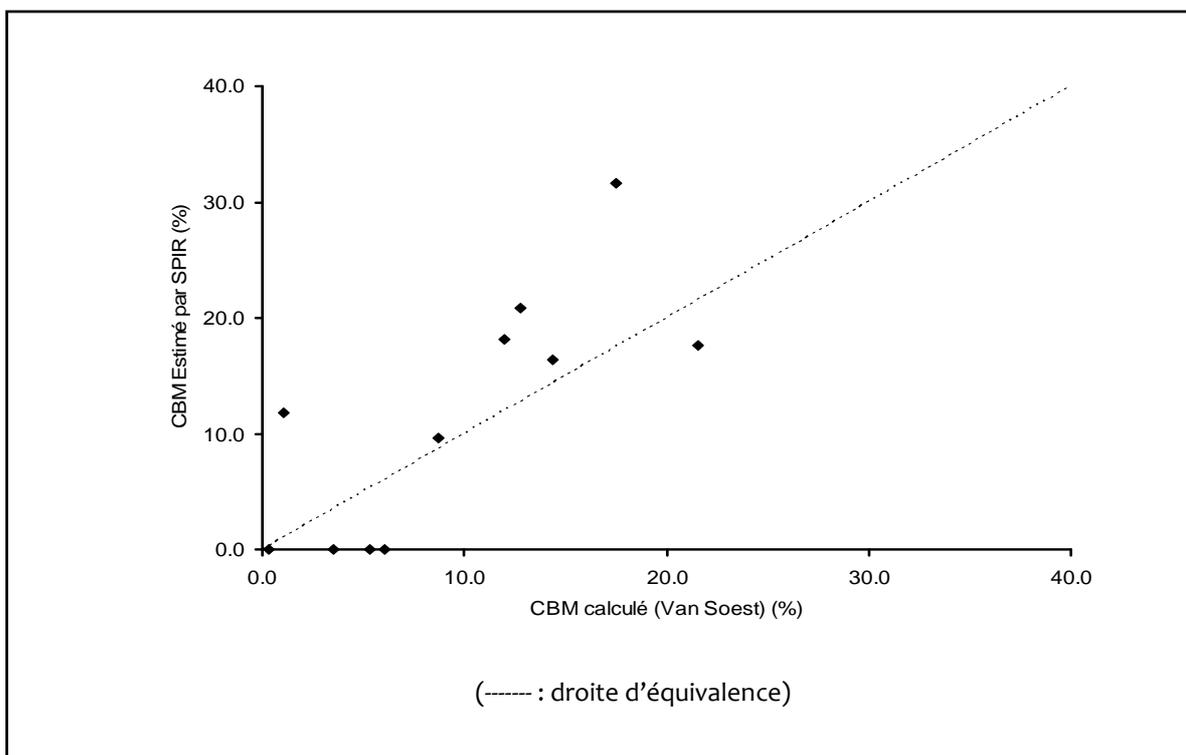
o La teneur en calcium

Les teneurs en Ca des produits analysés paraissent relativement élevées par rapport à celles en K puisque, sauf pour le lisier de porc frais 2 fois plus riche en K qu'en Ca, les teneurs en Ca sont au moins équivalentes sinon 2 à 3 fois plus élevées en Ca que celles en K. Ceci peut être intéressant pour des terres par ailleurs soumises à un risque important d'acidification.

o La teneur en CBM-Tr

La CBM-Tr est la part estimée de la matière organique apportée (MOA) qui contribue à améliorer à long terme le statut organique du sol (voir III.2.1.a₂) ; elle varie de 03% en moyenne pour les composts de façon générale à 13% pour les déjections animales et 22% pour les fumiers (valeurs moyennes par groupes). Concrètement, une CBM-Tr de 22% pour un fumier signifie qu'un apport de 1t/ha MS de ce fumier produira dans le sol 220 kg MS d'humus stable.

Figure 23 : Part estimée de la matière organique (CBM)



Par rapport aux valeurs obtenues en France citées par Chabalier et al., (2006), cette part de la MOA qui va s'humifier est très faible pour les composts (03% contre 20 à 50%), relativement élevée pour les fientes (13% contre 6-10%) et satisfaisante pour les fumiers (22% contre 15 à 25% en France pour un fumier de bovin pailleux). La valeur élevée des fumiers de volailles est due vraisemblablement à leur mélange avec de la sciure de bois.

Rappelons que la valeur amendante d'un DO est sa capacité à améliorer les propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques du sol. La valeur amendante organique joue sur le stock de matière organique du sol et la valeur amendante calcique joue sur le pH du sol. Rappelons que l'indicateur de la valeur amendante est la CBM-Tr.

La valeur amendante organique est satisfaisante par comparaison à ces mêmes produits en France (métropole ou Réunion); elle est même supérieure pour les fientes. En revanche, elle anormalement basse pour les composts. La valeur amendante calcique, en raison de la richesse relative en Ca% des produits (sauf pour le lisier de porc « frais »), et notamment dans le cas des fientes, est intéressante pour une utilisation dans des terres par ailleurs soumises à un risque important d'acidification. Par comparaison aux mêmes produits en France (métropole ou Réunion), la valeur fertilisante est grosso-modo la même pour les fientes et les fumiers; en revanche, pour les composts elle est beaucoup plus faible; la charge importante en « inertes » dans les composts explique probablement cette faible valeur.

La valeur fertilisante des produits organiques collectés est indépendante de leur lieu de provenance sauf pour les composts d'ordures ménagères, mais comme le montre nos résultats, ceux-ci présentent une valeur fertilisante faible. Le tableau 38 montre que le taux d'humidité varie beaucoup en fonction du lieu, de la nature du produit et de la durée du stockage. La durée de stockage (dans le cas du lisier, des croutes de lapin ou du fumier), réduit le taux d'humidité sans altérer la valeur fertilisante, ce qui est un avantage compte tenu des problèmes de transport. En ce qui concerne les fientes, la maturation ne modifie pas l'humidité mais accroît la valeur fertilisante PK du

produit. La non augmentation de N durant la maturation résulte vraisemblablement de la volatilisation de l'azote due au pH basique des fientes.

Pour la dizaine d'échantillons soumis à l'analyse pariétale selon Van-Soest, l'ordre de grandeur de la valeur de CBM-Tr estimée à partir de l'acquisition du spectre proche infrarouge (SPIR) et celle calculée à partir des résultats de l'analyse pariétale ne sont pas en contradiction même si la qualité de la prédiction est relativement faible ($R^2 = 0,60$ pour un ajustement linéaire avec ordonnée à l'origine nulle).

Cette adéquation très moyenne entre les deux séries de données peut être expliquée par la nature large et diverse de la base de données ayant servi à calibrer la relation SPIR vs CBM-Tr par rapport à celle des échantillons effectivement analysés. Cela n'empêche toutefois pas d'utiliser les données issues de ce calcul pour juger de la capacité des divers produits à améliorer de façon durable le statut organique des terres où ils seront utilisés (à des doses convenables pour un rôle d'amendement organique). La plage de variation de la valeur de CBM-Tr (part estimée de l'apport organique qui contribue à améliorer à long terme le statut organique du sol) va de 01% pour les composts de façon générale à 15% pour les déjections animales et 18% pour les fumiers (valeurs médianes par groupes) avec, pour ces derniers, un faible écart autour de cette valeur médiane. Cette part est donc relativement faible mais non négligeable.

Il ressort donc globalement de nos résultats que les DO d'origine animale (fientes de poudeuses surtout) ont une valeur fertilisante bien supérieure à celle des composts d'ordures ménagères dont les méthodes approximatives de compostage sont vraisemblablement à l'origine de leurs faibles teneurs en N, P, K. Il est tout de même intéressant de noter que 5 produits (fientes et fumiers) ont une teneur qui dépasse 2,4 % N matière brute, en sachant qu'une teneur de 3% (seuil minimum) par rapport à la matière brute pourrait permettre de les considérer un « engrais organique » selon la norme NFU-42001 (AFNOR, 2006).

De par leur teneur relativement faible en éléments nutritifs N, P, K, nous allons considérer les DO utilisés au Cameroun comme des « amendements organiques ».

IV.1.2. Valeur économique des amendements organiques produits au Cameroun

Dans l'optique de privilégier l'utilisation des amendements organiques au détriment des engrais minéraux, il est possible de déterminer à valeur nutritive égale, la quantité d'amendement organique qui correspond par exemple à un sac de 50 kg d'engrais minéral. Ceci permet à l'agriculteur qui souhaite utiliser uniquement les amendements organiques de savoir par exemple les proportions exactes de compost qui correspondent à un sac d'engrais de type NPK, tel est l'objet de cette sous-section.

a) Possibilités de substitution des engrais chimiques par le compost au Cameroun

La valeur du compost utilisé en agriculture est fonction de plusieurs paramètres, dont le plus important est la valeur fertilisante potentielle NPK estimée en termes de prix, que nous appellerons valeur marchande ou réelle NPK qui s'oppose à la valeur commerciale qui est la valeur du produit fixé par les producteurs et vendu sur le marché à une période t . La valeur marchande du compost est donc la valeur de substitution de l'engrais minéral par le compost, c'est-à-dire la valeur qu'un agriculteur aurait la volonté ou serait habilité à payer en contrepartie des éléments chimiques contenu dans le compost s'il souhaite substituer l'engrais minéral par le compost. La valeur marchande du compost peut également servir d'indicateur de référence à l'Etat dans la politique de fixation de prix des intrants en général et du compost en particulier.

Dans la présente étude, on fait l'hypothèse que les éléments N, P et K du compost analysé seront mis à la disposition de la culture plante sur un temps plus ou moins long. On calcule alors cette valeur marchande NPK sur la base du contenu en N, P_2O_5 et K_2O de 1 t de matière brut (MB) de compost et du coût de l'unité fertilisante N, P_2O_5 et K_2O enregistré en 2009 dans les villes de Yaoundé et Bafoussam au Cameroun.

a₁) Méthode de calcul de la valeur marchande des composts au Cameroun

Le calcul de la valeur marchande du compost passe par deux étapes :

- premièrement il s'agit de déterminer le prix de substitution des éléments fertilisants ;
- deuxièmement, il s'agit de calculer et de déduire la valeur marchande proprement dite.

o Prix de substitution des éléments fertilisants NPK

A Yaoundé, un sac d'urée coûte 13500 FCFA/50 kg (soit 270 FCFA/kg) et un sac d'engrais NPK (20-10-10) coûte 16 000 FCFA/50kg (soit 320 FCFA/kg). A Bafoussam, un sac d'urée coûte 14000 FCFA/50 kg (soit 280 FCFA/kg) et un sac d'engrais NPK (20-10-10) coûte 16 000 FCFA/50kg (soit 320 FCFA/kg).

La détermination des prix de substitution des éléments fertilisants azote (N), phosphore (P_2O_5) et potassium (K_2O) contenus dans un sac d'engrais NPK (20% de N, 10% de P_2O_5 , 10% de K_2O) et d'urée (46% de N, 0% de P_2O_5 , 0% de K_2O) se fait par les formules suivantes :

Soient : $X = 270$ FCFA le prix d'un kg d'urée et $Y = 320$ FCFA le prix d'un kg d'engrais NPK (20-10-10) à Yaoundé. On peut écrire le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \text{Urée} : 46\% N + 0\% P_2O_5 + 0\% K_2O = X & (5) \\ \text{Engrais} : 20\% N + 10\% P_2O_5 + 10\% K_2O = Y & (6) \end{cases}$$

$$(5) \Rightarrow 0,46 N = 270 \text{ FCFA}$$

$$\Rightarrow N = 587 \text{ FCFA}$$

Le prix d'une unité fertilisante N à Yaoundé coûte donc 587 FCFA à Yaoundé. Le même procédé de calcul montre que le prix d'une unité fertilisante N à Bafoussam coûte 609 FCFA.

$$(6) \Rightarrow 0,20 (587) + 0,10 P_2O_5 + 0,10 K_2O = 320 \text{ FCFA}$$

$$\Rightarrow 0,10 P_2O_5 + 0,10 K_2O = 320 - 0,20 (587)$$

Etant donné que les proportions de P_2O_5 et K_2O contenues dans un sac d'engrais (20-10-10) sont identiques, on peut déduire que :

$$\Rightarrow 0,20 P_2O_5 = 320 - 0,20 (587)$$

$$\Rightarrow 0,20 K_2O = 320 - 0,20 (587)$$

$$\Rightarrow P_2O_5 = K_2O = 1013 \text{ FCFA}$$

Le prix d'une unité fertilisante P_2O_5 et de K_2O coûte donc 1013 FCFA à Yaoundé et 991 FCFA à Bafoussam.

Le tableau 41 résumé les données obtenues :

Tableau 41 : Prix de substitution des unités fertilisantes N (azote), P_2O_5 (phosphore) et K_2O (potassium) au Cameroun

Zones	Yaoundé		Bafoussam	
Engrais	Urée	NPK (20-10-10)	Urée	NPK (20-10-10)
Prix de 50 kg d'engrais	13500 FCFA	16000 FCFA	14000 FCFA	16000 FCFA
Prix de 1kg d'engrais	270 FCFA	320 FCFA	280 FCFA	320 FCFA
Proportion de N	46%	20%	46%	20%
Proportion de P_2O_5	0%	10%	0%	10%
Proportion de K_2O	0%	10%	0%	10%
Prix de 1 kg de N	587 FCFA	587 FCFA	609 FCFA	609 FCFA
Prix de 1 kg de P_2O_5	0 FCFA	1013 FCFA	0 FCFA	991 FCFA
Prix de 1 kg de K_2O	0 FCFA	1013 FCFA	0 FCFA	991 FCFA

a₂) Prix réels et valeur marchande du compost au Cameroun

Il s'agit de déterminer le prix réel, équivalent engrais, du compost au Cameroun; c'est-à-dire la valeur de N, de P₂O₅ et de K₂O contenu dans un sac de 50 kg de compost vendu au Cameroun. Bien évidemment les proportions de ces unités contenues dans le compost au Cameroun sont connues, puisqu'ayant été identifiées au laboratoire.

Selon le tableau 39, le compost qui est actuellement vendu à Yaoundé contient 0,31% de N MB (0,44% de N MB à Bafoussam), 0,10% de P₂O₅ MB (0,18% de P₂O₅ MB à Bafoussam) et 0,30% de K₂O MB (0,74% de K₂O MB à Bafoussam). Cela revient à dire qu'à Yaoundé, 100 kg de compost brut contient 0,31 kg de N (3,1 kg N/t), 0,10 kg de P₂O₅ (1 kg P₂O₅/t) et 0,30 kg de K₂O (3 kg K₂O /t). A Bafoussam, 100 kg de compost brut actuellement vendu contient 0,44 kg de N (4,4 kg/t), 0,18 kg de P₂O₅ (1,8 kg/t de P₂O₅) et 0,74 kg de K₂O (7,4 kg/t de K₂O). Le tableau 41 nous fournit les prix unitaire d'azote, de phosphore et de potassium au Cameroun, d'où le tableau 42.

Il ressort du tableau 42 que la valeur marchande du compost actuellement vendu au Cameroun est estimée à 294 FCFA le sac de 50 kg (5872 FCFA/t) à Yaoundé et 590 FCFA le sac de 50 kg (11797 FCFA/t) à Bafoussam.

La valeur commerciale du compost vendu au Cameroun est donc 8,5 fois supérieure à sa valeur marchande à Yaoundé puisqu'il est vendu à 2500 FCFA/50 kg au lieu de 294 FCFA/50 kg. A Bafoussam, il est vendu à 1500 FCFA/50 kg au lieu de 590 FCFA/50 kg donc la valeur commerciale du compost vendu à Bafoussam est 2,5 fois supérieure à sa valeur marchande. La différence entre la valeur marchande et commerciale du compost de Yaoundé est de 2206 FCFA par sac contre 910 FCFA à Bafoussam, ce qui veut dire que les producteurs de compost fixent leurs prix de façon aléatoire puisque même si l'on prend en compte les coûts de production de compost (main d'œuvre y compris) que nous avons estimé en II.2.2.b₁. A Yaoundé, ce cout de production est de 1255 FCFA/50 kg, donc il existe un surplus de 1245 FCFA par sac de 50 kg qui ne se justifie pas.

Tableau 42 : Valeur marchande du compost vendu au Cameroun

Zones	Yaoundé			Bafoussam		
Valeur commerciale du compost ⁷²	2500 FCFA/50 kg			1500 FCFA/50 kg		
Eléments chimiques	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans le compost (kg/t)	Prix unitaire des éléments chimiques (FCFA)	Valeur de ces éléments dans le compost (FCFA)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans le compost (kg/t)	Prix unitaire des éléments chimiques (FCFA)	Valeur de ces éléments dans le compost (FCFA)
Valeur de l'azote (N)	3,1	587	1820	4,4	609	2679,6
Valeur du phosphore (P ₂ O ₅)	1,0	1013	1013	1,8	991	1783,8
Valeur du potassium (K ₂ O)	3,0	1013	3039	7,4	991	7333,4
Valeur marchande du compost	-	-	294 FCFA/50 kg	-	-	590 FCFA/50 kg

Etant donné que la valeur marchande du compost vendu à Yaoundé est de 294 FCFA/50 kg et que son coût de production est de 1255 FCFA, une subvention de 961 FCFA par sac de 50 kg vendu peut motiver les agriculteurs à les utiliser massivement. Bien évidemment, la mise en œuvre d'une politique de subvention devra être obligatoirement précédée par la mise au point de technique d'amélioration de la valeur fertilisante (et amendante) des composts. La médiocre qualité de ces composts que nous avons mesurée, nous permet d'affirmer que des marges d'amélioration importantes existent, ce qui nous autorise à dire qu'une fois la qualité agronomique optimisée, le différentiel de prix entre valeur marchande et valeur commerciale serait réduit et la subvention requise moindre que celle calculée ici.

⁷² Prix de vente sur le marché en 2009 fixés par les fabricants et producteurs de compost.

b) Possibilités de substitution des engrais chimiques par les fumiers et fientes de volaille au Cameroun

Le principe de calcul est le même que celui du compost. On fait donc l'hypothèse que les éléments N, P et K des fumiers de poulets de chair et des fientes de poudeuses analysés seront mis à la disposition de la culture plante sur un temps plus ou moins long. On calcule alors cette valeur marchande NPK sur la base du contenu en N, P₂O₅ et K₂O de 1 t de matière brut (MB) de fumier et de fiente et du coût de l'unité fertilisante N, P₂O₅ et K₂O enregistré à Yaoundé et Bafoussam en 2009. La méthode de calcul ici est la même que celle utilisé précédemment pour le compost.

b₁) Prix réels et valeur marchande du fumier de poulet de chair au Cameroun

Selon le tableau 39, le fumier de poulet de chair qui est actuellement vendu à Yaoundé à 1000 FCFA/50 kg (même prix à Bafoussam) contient 2,41% de N MB, 1,62% de P₂O₅ MB et 1,72% de K₂O MB. Cela revient à dire qu'à Yaoundé, 100 kg de fumier de poulet de chair brut contiennent 2,41 kg de N (24,1 kg/t), 1,62 kg de P₂O₅ (16,2 kg/t de P₂O₅) et 1,72 kg de K₂O (17,2 kg/t de K₂O). A Bafoussam, 100 kg de fumier de poulet de chair brut contiennent 2,43 kg de N (24,3 kg/t), 1,18 kg de P₂O₅ (11,8 kg/t de P₂O₅) et 1,94 kg de K₂O (19,4 kg/t de K₂O).

Il ressort du tableau 43 que la valeur marchande du fumier de poulet de chair actuellement vendu à Yaoundé est estimée à 2400 FCFA le sac de 50 kg (47981 FCFA/t) contre 2286 FCFA le sac de 50 kg (45718 FCFA/t) à Bafoussam. La valeur commerciale du fumier de poulet de chair vendu à Yaoundé est donc 2,4 fois inférieure à sa valeur marchande puisqu'il est vendu à 1000 FCFA/50 kg seulement au lieu de 2400 FCFA/50 kg.

A Bafoussam, cette valeur commerciale est 2,2 fois inférieure à sa valeur marchande puisqu'il est vendu à 1000 FCFA/50 kg seulement au lieu de 2286 FCFA/50 kg. Ce résultat indique que les agriculteurs paient moins chères les éléments fertilisants contenus dans les fumiers de poulet de chair et doivent donc les acheter et les utiliser

dans leurs exploitations sans hésitation ; du fait que cette pratique est rentable par rapport à la fertilisation minérale, en assurant de plus une fonction d'amendement du sol.

Tableau 43 : Valeur marchande du fumier de poulet de chair vendu au Cameroun

Zones	Yaoundé			Bafoussam		
Valeur commerciale du fumier de poulet de chair ⁷³	1000 FCFA/50 kg			1000 FCFA/50 kg		
Eléments chimiques	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans le fumier de poulet de chair (kg/t)	Prix unitaire des éléments chimiques (FCFA)	Valeur de l'élément dans le fumier (FCFA)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans le fumier de poulet de chair (kg/t)	Prix unitaire des éléments chimiques (FCFA)	Valeur de l'élément dans le fumier (FCFA)
Valeur de l'azote (N)	24,1	587	14146,7	24,3	609	14798,7
Valeur du phosphore (P ₂ O ₅)	16,2	1013	16410,6	11,8	991	11693,8
Valeur du potassium (K ₂ O)	17,2	1013	17423,6	19,4	991	19225,4
Valeur marchande du fumier de poulet de chair	-	-	2400 FCFA/50 kg	-	-	2286 FCFA/50 kg

b₂) Prix réels et valeur marchande des fientes de poules pondeuses au Cameroun

Selon le tableau 39, les fientes de poules pondeuses actuellement vendu à Yaoundé à 2000 FCFA/50 kg (1200 FCFA/50 kg à Bafoussam) contiennent 2,35% de N MB, 1,36% de P₂O₅ MB et 1,60% de K₂O MB. Cela revient à dire qu'à Yaoundé, 100 kg de fientes brutes

⁷³ Prix de vente sur le marché en 2009 fixés par les vendeurs des fumiers de poulet de chair, généralement éleveurs.

contiennent 2,35 kg de N (23,5 kg/t), 1,36 kg de P₂O₅ (13,6 kg/t de P₂O₅) et 1,60 kg de K₂O (16 kg/t de K₂O).

A Bafoussam ces fientes coûtent 1200 FCFA/50 kg et contiennent 1,75% de N MB, 0,60% de P₂O₅ MB et 1,25% de K₂O MB. Cela revient à dire qu'à Bafoussam, 100 kg de fumier de fientes brutes contiennent 1,75 kg de N (17,5 kg/t), 0,60 kg de P₂O₅ (06 kg/t de P₂O₅) et 1,25 kg de K₂O (12,5 kg/t de K₂O).

Il ressort du tableau 44 que la valeur marchande des fientes de poudeuses actuellement vendus à Yaoundé est estimée à 2200 FCFA/50 kg (43779 FCFA/t).

Tableau 44 : Valeur marchande des fientes de poules poudeuses vendues au Cameroun

Zones	Yaoundé			Bafoussam		
Valeur commerciale des fientes de poules poudeuses ⁷⁴	1000 FCFA/50 kg			1000 FCFA/50 kg		
Eléments chimiques	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les fientes (kg/t)	Prix unitaire des éléments chimiques (FCFA)	Valeur de l'élément dans les fientes (FCFA)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les fientes (kg/t)	Prix unitaire des éléments chimiques (FCFA)	Valeur de l'élément dans les fientes (FCFA)
Valeur de l'azote (N)	23,5	587	13794,5	17,5	609	10657,5
Valeur du phosphore (P ₂ O ₅)	13,6	1013	13776,8	06,0	991	5946
Valeur du potassium (K ₂ O)	16,0	1013	16208	12,5	991	12387,5
Valeur marchande des fientes de poules poudeuses	-	-	2200 FCFA/50 kg	-	-	1450 FCFA/50 kg

⁷⁴ Prix de vente sur le marché en 2009 fixés par les vendeurs des fientes de poudeuses, généralement aussi éleveurs.

La valeur commerciale des fientes vendues à Yaoundé est donc 1,1 fois inférieure à la valeur marchande de ces fientes puisqu'elles sont vendues à 2000 FCFA/50 kg seulement au lieu de 2200 FCFA/50 kg. A Bafoussam la valeur marchande des fientes de pondeuses est estimée à 1450 FCFA/50 kg (28991 FCFA/t). Cette valeur est donc 1,2 fois inférieure à la valeur marchande de ces fientes puisqu'elles sont vendues à 1200 FCFA/50 kg seulement au lieu de 1450 FCFA/50 kg.

Ce résultat indique que les agriculteurs camerounais paient également moins chères les éléments fertilisants contenus dans les fientes de pondeuses et doivent donc les acheter et les utiliser dans leurs exploitations sans hésitation. Les tableaux 45 et 46 résument les proportions d'éléments fertilisants contenus dans les engrais minéraux et les amendements organiques à Yaoundé et Bafoussam.

Le tableau 45 indique qu'à valeur fertilisante égale en N par exemple, 1 sac d'urée à Yaoundé = 144 sacs de composts = 19 sacs de fientes = 19 sacs de fumiers, avec l'avantage en faveur des amendements organiques de fournir en plus des unités fertilisantes de P et de K à la plante.

Tableau 45 : Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les engrais minéraux et les amendements organiques à Yaoundé

Eléments fertilisants	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans un sac de 50 kg d'engrais NPK (20-10-10) (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans un sac de 50 kg d'urée (46-0-0) (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans le compost de Yaoundé (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les fientes Yaoundé (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les fumiers de Yaoundé (en kg)
Azote (N)	10	23	0,16	1,18	1,21
Phosphore (P ₂ O ₅)	5	0	0,05	0,68	0,81
Potassium (K ₂ O)	5	0	0,15	0,80	0,86

Le tableau 46 quant à lui indique qu'à valeur fertilisante égale en N par exemple, 1 sac d'urée à Bafoussam = 59 sacs de composts = 26 sacs de fientes = 19 sacs de fumiers

avec l'avantage en faveur des amendements organiques de fournir en plus des unités fertilisantes de P et de K à la plante.

Tableau 46 : Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les engrais minéraux et les amendements organiques à Bafoussam

Eléments fertilisants	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans un sac de 50 kg d'engrais NPK (20-10-10) (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans un sac de 50 kg d'urée (46-0-0) (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans le compost de Bafoussam (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les fientes Bafoussam (en kg)	Proportion d'éléments fertilisants contenus dans les fumiers de Bafoussam (en kg)
Azote (N)	10	23	0,22	0,88	1,22
Phosphore (P ₂ O ₅)	5	0	0,90	0,30	0,59
Potassium (K ₂ O)	5	0	0,37	0,63	0,63

Maintenant que les équivalences engrais des amendements organiques utilisés au Cameroun ont été déterminées, identifions à présent les facteurs qui peuvent motiver les agriculteurs camerounais à les utiliser dans leurs exploitations agricoles.

IV.2. Analyse des déterminants de l'utilisation des amendements organiques au Cameroun

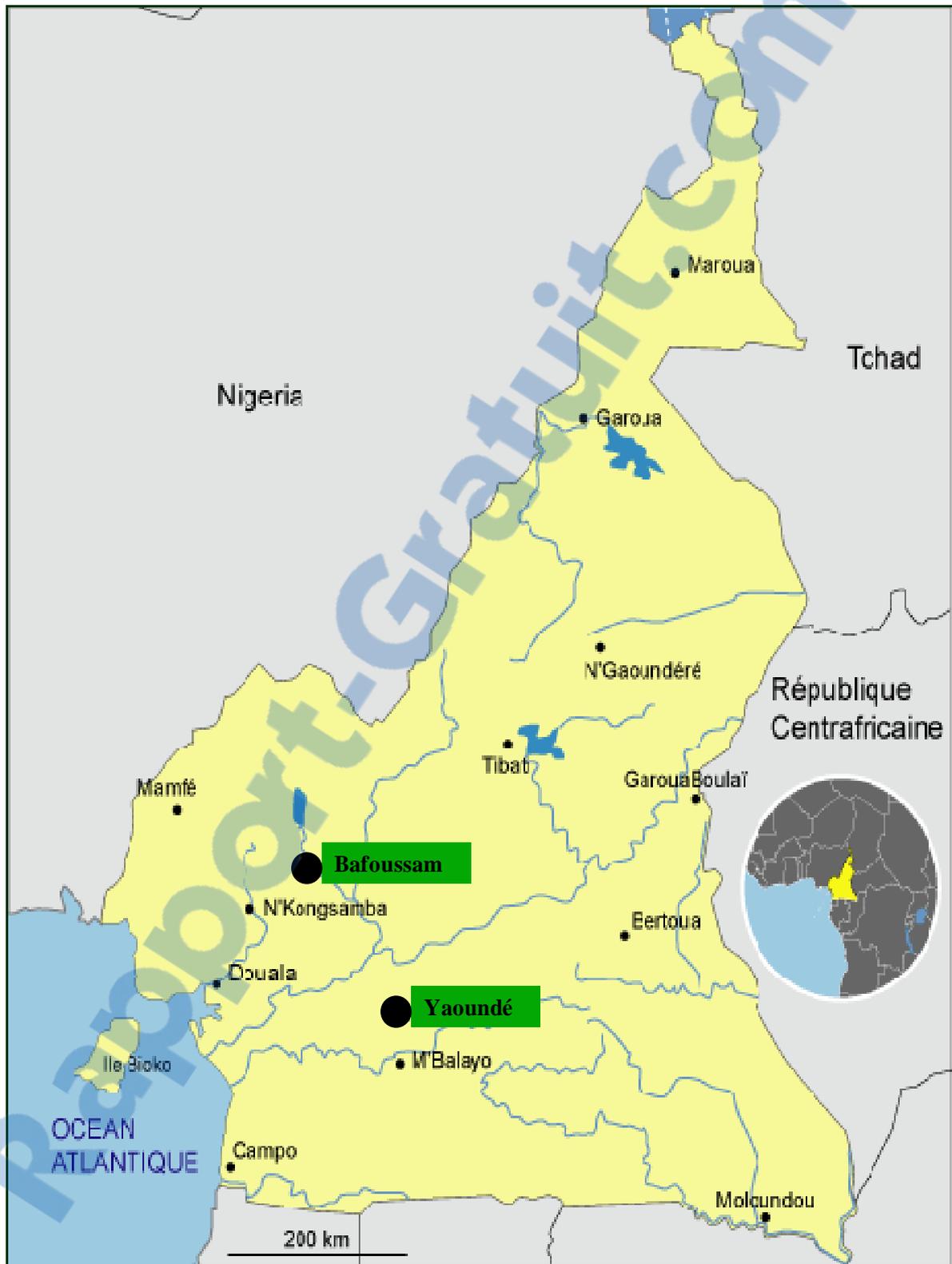
Au Cameroun, le faible lien entre les amendements organiques et l'AUP permet de comprendre en partie, la mauvaise gestion des DS dans les bas-fonds qui sont par ailleurs les bastions de l'activité agricole. Améliorer cette situation reviendrait à favoriser une forte utilisation des amendements organiques dans ces bas-fonds. Sur la base d'une enquête socio-économique réalisée à Yaoundé et Bafoussam, il est question dans cette section d'identifier et d'analyser les facteurs d'utilisation des amendements organiques au Cameroun. Le choix de ces deux villes permet d'observer le comportement et les pratiques agricoles en zone urbaine (Yaoundé) et semi urbaine et semi rurale (Bafoussam). La méthodologie de la recherche est présentée et les résultats des estimations présentés et analysés.

IV.2.1. La méthodologie de la recherche

Pour étudier les facteurs pouvant améliorer l'utilisation des amendements organiques issus des DS recyclés au Cameroun, seule l'analyse des systèmes de culture maraîchère à travers une enquête socio-économique peut fournir les déterminants. Pour cela, les données primaires utilisées dans ce rapport correspondent à deux zones. Les données de Yaoundé dans la région du Centre, ont été collectées en 2005 par le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) dans le cadre d'un programme de valorisation des bas-fonds de Yaoundé initié en partenariat avec le Ministère camerounais de l'Agriculture. Afin de disposer d'une base de données suffisante et de cerner le comportement des agriculteurs exerçant dans deux zones urbaines agro-écologiques différentes, les données de Yaoundé ont été complétées par celles collectées en 2009 à Bafoussam dans la région de l'Ouest.

L'introduction de la variable muette « *ZONE = 0 pour Bafoussam et 1 pour Yaoundé* » dans nos modèles nous permet de fusionner les deux bases de données et d'apprécier si la variable géographique explique le comportement des agriculteurs face aux fertilisants. La figure 24 présente les deux zones d'études.

Figure 24 : Le Cameroun et les deux zones que couvre cette étude (en vert)



a) Les zones d'enquête et l'échantillonnage

Le Cameroun est situé en Afrique Centrale un peu au-dessus de l'Equateur entre le 2^{ème} et le 13^{ème} degré de latitude Nord. D'une superficie de 475 000 km², il est découpé en 10 régions. Le Cameroun qui est ouvert sur l'Océan Atlantique est entouré à l'Ouest par le Nigeria, au Nord par le Tchad, à l'Est par la République Centrafricaine, au Sud par le Gabon, le Congo et la Guinée Equatoriale. Il est divisé en dix (10) régions. Ses principales villes sont : Yaoundé (région du centre), Douala (région du littoral), Bafoussam (région de l'Ouest), Garoua (région du Nord), Bamenda (région du Nord-Ouest), etc. Plusieurs raisons justifient le choix des villes de Yaoundé et de Bafoussam. De par leur fonction administrative, leur poids économique et leur population, Yaoundé et Bafoussam font partie des trois plus grandes villes du Cameroun. De ce fait, la production des DS y sont très importante et depuis quelques années déjà, une intense activité agricole se développe dans et autour de ces villes.

a,) La ville de Yaoundé

La ville de Yaoundé est le siège des institutions de la république du Cameroun. Chef lieu de la Région du Centre, elle est située à 3°5' de Latitude nord et 11°31' de longitude Est à environ 200 km de la côte atlantique. S'étendant sur une superficie totale estimée à 300 km², Yaoundé est subdivisée en Sept arrondissements, son relief est constitué d'un ensemble de collines et de vallées d'altitude variant entre 700 et 1200 m. Son climat, de type subéquatorial tempéré est caractérisé par quatre saisons : une grande saison sèche (Novembre – Mars), une petite saison de pluies (Mars – Juin), une petite saison sèche (Juin – Août) et une grande saison de pluies (Août – Novembre).

Les conditions agro-écologiques de la ville de Yaoundé sont favorables à la production des cultures maraîchères (tomate, salade, céleri, ...), des fruits (mangues, goyaves, ...), des fleurs et des tubercules (Banane plantain, manioc, ...). Yaoundé comprend 17 principales zones de production agricole (Lekane Kembou et al., 2003) et l'agriculture urbaine et périurbaine occupe aujourd'hui de permanente près de 10% de la population de Yaoundé et concerne une gamme variée de denrées agricoles.

Il est important de noter que l'activité agricole à Yaoundé est pratiquée surtout dans les bas-fonds de la ville tels que Nkolondom, Etoug-Ebé et Ekozoa. Dans ces bas-fonds qui hébergent plus de 60% de la population de la capitale, l'habitat n'est pas structuré, ce qui rend difficile la collecte des DS dans ces zones en proie à la pollution (INS, 2002). L'élevage a également connu un développement important ces dernières années, mais il s'agit essentiellement du petit bétail et surtout de la volaille.

Pour cette étude, la base de sondage était constituée par l'ensemble des agriculteurs de la zone urbaine et périurbaine. Une visite exploratoire nous a permis d'identifier les zones de concentration des horticulteurs. Dans les zones qui ont été retenues, le questionnaire (voir annexe) a été administré à toute personne physique qui est chef d'exploitation et qui a accepté de répondre aux questions de l'étude. Tout producteur de légumes et fruits répondant aux critères ci-dessus évoqués et susceptible de nous fournir des informations a été retenu dans les échantillons. L'enquête de Yaoundé couvrait les trois (3) principales zones agricoles périurbaines situées dans trois arrondissements distincts que sont : Nkolondom, Etoug-Ebé et Ekozoa.

Après épuration de la base de données, au final 126 exploitants choisis selon la méthode d'échantillonnage non probabiliste ont été ainsi retenus. La méthode de collecte des données dite de « Transect » ou encore de « sondage à pas d'espace » a été utilisée. Ainsi, à Etoug-Ebé et Nkolondom, le choix des exploitants s'est fait de façon aléatoire sur chaque 100m et 200m respectivement d'un bout à l'autre de la rive; la particularité des bas-fonds de Yaoundé est qu'ils se situent le long d'un cours d'eau. A Ekozoa, par contre tous les exploitants ont été enquêtés.

Le choix des sites a été fonction de plusieurs paramètres parmi lesquels la localisation géographique (centre-ville, périphérie, banlieue), la pression foncière, l'aménagement urbain, l'insalubrité, les projets de développement, la présence des associations paysannes, les innovations, les tensions éventuelles entre pouvoirs publics et agriculteurs

Le bas-fond de Nkolondom est situé entre 8 et 9 km du centre-ville dans un environnement presque rural avec beaucoup moins de pression foncière due à la

pression démographique. Considéré comme une zone périurbaine à accès facile, Nkolondom ravitaille tous les marchés de Yaoundé en condiments (Céleri, Persil, ...). Le bas-fond d'Etoug-Ebe quant à lui est situé à 10 km du centre-ville dans une zone périurbaine relativement pauvre. Etoug-Ebe connaît une forte pression foncière et très souvent inondé après les pluies. L'absence de routes bitumées ne facilite pas l'accès des camions de ramassage des déchets et l'acheminement des produits agricoles (légumes feuilles surtout) vers les marchés de la ville. Ekozoa est situé au centre-ville de Yaoundé. C'est une zone interdite de construction avec un grand risque d'expropriation. Malgré cela, c'est le site le plus important de production des fleurs. Les jardins publics y ont été construits par la communauté urbaine de Yaoundé.

Les problèmes rencontrés par les exploitants de Yaoundé sont : la marginalisation dans les chantiers d'aménagement des jardins publics, l'inondation des parcelles, les menaces d'expropriation, l'urbanisation croissante et rapide et la baisse de la productivité due aux fortes pressions foncières.

a₂) La ville de Bafoussam

La ville de Bafoussam est le chef lieu de la Région de l'Ouest. Ses coordonnées géographiques sont de 5°30' de latitude Nord et 10°25' de Longitude Est. Située à 300 km de Yaoundé dans une zone constituée de chaînes montagneuses, Bafoussam a un climat de type subéquatorial doux et tempéré par l'altitude (1450m). Elle est rythmée par une saison sèche (novembre – mars) et par une saison de pluies (mars – Novembre) avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 1800 mm/an. Les températures y varient entre 19° en juillet et 21°7 en mars. La moyenne est de 20,2°de mousson caractérisé par une longue saison de pluies (Mars – Octobre) et une courte saison sèche (Novembre – mi Mars). Son relief est constitué de chaînes montagneuses (altitude variant de 1500 à 2500m), de plaines et de plateaux.

La délimitation entre la zone urbaine et la zone rurale n'étant pas très nette en périphérie de la ville, les pratiques agricoles y sont semi urbaine semi rurale. L'activité agricole concerne surtout les cultures vivrières (légumes, maïs, tubercules, ...) avec une main d'œuvre familiale. Contrairement à Yaoundé où 70% de la production est

vendue, à Bafoussam 65% de la production est consommée par les agriculteurs eux-mêmes. Néanmoins il existe une exploitation industrielle mais dans le domaine des agro-industries. L'élevage à Bafoussam est essentiellement constitué du petit bétail (porc, bœuf, chevaux, ...) et de la volaille (Poule, canard, pintades, ...); cet élevage est totalement associé à l'agriculture.

A Bafoussam, une visite exploratoire nous a permis d'identifier les zones de concentration des horticulteurs. Ainsi deux (02) zones, Diembou et Njingah situées dans l'arrondissement de Bafoussam I ont été retenues sur la base des critères tels que : la présence des postes agricoles, d'organisations paysannes, l'intensité de la pratique de l'activité agricole, la pratique des cultures maraîchères. Cependant la présence des postes agricoles (créés par le ministère en charge de l'agriculture pour suivre, assister et former les agriculteurs) dans ces deux zones a été le facteur déterminant de notre choix.

Après épuration de la base de données 162 exploitants ont été retenus. Diembou est située à 4 km du Centre ville de Bafoussam dans la zone urbaine. C'est une zone à habitation dense au relief accidenté constitué d'une succession de plaines et de hauts plateaux. Njingah quant à lui est situé à 8 km du Centre ville dans la zone périurbaine. C'est une zone à faible habitation au relief peu accidenté, constitué de légères collines pierreuses. Les principales cultures rencontrées dans ces zones sont : le maïs, le haricot et le chou. Les cultures de rente comme le café y sont également très cultivées. Les problèmes rencontrés par les exploitants de Bafoussam sont : Les difficultés d'accès aux intrants agricoles de qualité, l'absence de matériel agricole adéquat, la baisse de la fertilité des sols, les difficultés d'évacuation des produits des champs, les difficultés d'accès aux intrants pastoraux, le coût élevé des intrants agricoles.

Dans cette étude, en plus des données collectées sur le terrain, les données secondaires proviennent essentiellement de la documentation obtenue dans les centres de recherche tels que la base de données de la FAO en ligne, le CIRAD, l'IRAD et dans les ONG telles que le CIPRE, le CIPCRE et ERA-Cameroun et à l'INS.

Tableau 47 : Récapitulatif des principales caractéristiques des zones enquêtées

Villes	Yaoundé (Région du Centre)	Bafoussam (région de l'Ouest)
Nombre d'exploitants enquêtés	126	162
Zone agro-écologique	Zone urbain et périurbaine au climat de type subéquatorial tempéré caractérisé par 2 saisons sèches et 2 saisons de pluies	Zone semi urbaine semi rurale au climat de type subéquatorial doux et tempéré caractérisé par 1 saison sèche et 1 saison de pluies
Quartiers enquêtés	Nkolondom, Etoug Ebe, Ekozoa	Diembou, Njingah
Principales cultures	Céleri, persil, légumes feuilles, fleurs	Maïs, légumes, tubercules
Production moyenne journalière des déchets	1400 tonnes	210 tonnes
Principaux problèmes des exploitants	Baisse de la fertilité des sols, inondation des parcelles, menaces d'expropriation, fortes pressions foncières dues à la forte urbanisation	baisse de la fertilité des sols, difficultés d'évacuation des produits des champs, coût élevé et rareté des intrants agricoles et semences

Les fiches d'enquête remplies dans le cadre de cette étude ont été intégralement saisies à l'aide du logiciel CPro 2.5. Les logiciels Excel 2003, E-Views 5.0 et STATA 10 nous ont permis de faire les analyses descriptives et économétriques.

b) Les modèles économétriques

Il convient de rappeler que la deuxième partie de cette thèse vise à identifier les facteurs susceptibles de favoriser l'utilisation, par les agriculteurs urbains et périurbains au Cameroun, des amendements organiques dont le compost. Le choix de l'utilisation des fertilisants en agriculture est un choix de type OUI ou NON, ce qui renvoie aux modèles Probit et Logit qui ont été largement développés et utilisés pour étudier les problèmes de choix avec des variables dépendantes multivariées.

Les caractéristiques de la variable dépendante renseignent sur le modèle le plus approprié :

- Scenario 1 : si la variable dépendante est dichotomique, un Logit ou Probit binomial suffit pour identifier les variables qui l'influencent ;
- Scenario 2 : en considérant que les modalités de la variable dépendante (plus de 2 modalités) ont une relation d'ordre entre elles ou encore peuvent être rangées selon une échelle numérique, l'utilisation des modèles Logit ou Probit ordonnés se justifie ;

En considérant les 02 scenarios ci-dessus, spécifions nos variables dépendantes :

- Scenario 1 : La variable dépendante comprend deux modalités ; l'agriculteur fait face à deux choix distincts, utiliser ou ne pas utiliser le compost. Le modèle Logit binomial s'impose dans ce cas.
- Scenario 2 : La variable dépendante comprend quatre modalités susceptibles d'être ordonnées. L'agriculteur peut ordonner ses préférences et estimé que le niveau de fertilisation choisi influence sa production. En effet, il est admis par les spécialistes que le fait de ne pas utiliser les fertilisants agricoles fournit un faible niveau de production, suivi de l'utilisation exclusive du compost, de l'utilisation combinée des deux types de fertilisants et enfin de l'utilisation exclusive des engrais minéraux qui fournit le meilleur niveau de production. Dans ce cas, l'estimation d'un modèle Logit ordonné se justifie.

En résumé, les modèles Logit binomial et Logit ordonné nous permettent d'évaluer respectivement la probabilité qu'un agriculteur utilise exclusivement le compost et le niveau d'utilisation des fertilisants.

b,) La spécification des modèles

Les modèles Logit sont basés sur la théorie de l'utilité (Varian, 2003; Samuelson, 1938). Dans ces modèles, on suppose que l'agriculteur est rationnel et ne fait donc recours qu'au choix qui maximise son utilité. Pour étudier les effets des variables explicatives sur des variables dépendantes, Feder et al., (1985) estiment que les modèles Probit et Logit sont les méthodes les plus appropriées.

Historiquement, les modèles Logit ont été introduits comme des approximations de modèles Probit permettant des calculs plus simples. Dès lors, il n'existe que peu de différences entre ces deux modèles du fait de la proximité des familles de lois logistiques et normales. Mais contrairement aux modèles Probit qui font l'hypothèse d'une distribution cumulative normale centrée réduite, les modèles Logit sont construits sur l'hypothèse des distributions cumulatives logistiques permettant un traitement plus adéquat des données aberrantes. Mais dans la pratique les résultats des deux méthodes sont similaires, sauf sur de très grands échantillons.

➤ Le modèle Logit binomial

Le choix de l'utilisation ou de l'adoption du compost en agriculture est un choix de type OUI ou NON, ce qui renvoie aux modèles Probit et Logit qui ont été largement développés et utilisés pour étudier les problèmes de choix avec des variables dépendantes de type binaire (Mc Fadden, 1968 ; Amemiya, 1981).

La variable expliquée du modèle Logit portant sur l'utilisation du compost au Cameroun est de type binaire. Elle est représentée mathématiquement par une variable aléatoire Y_i . Nous considérons que s'il y'a utilisation du compost alors $Y_i=1$ avec une probabilité d'utilisation notée $p=P(Y_i=1)$. En cas de non utilisation du compost, $Y_i=0$ avec $p=P(Y_i=0)=1-p$.

Théoriquement, le modèle Logit binomial peut être spécifié comme suit :

Soit « Z » le vecteur des variables susceptibles d'influencer l'utilisation du compost, son utilisation par un exploitant lui procure une utilité $U_1(Z) = V_1(Z) + e_1$ et sa non utilisation lui procure une utilité $U_0(Z) = V_0(Z) + e_0$ (V_i et e_i représentent respectivement les composantes déterministes et aléatoires, Z quant à lui représente l'argument). L'agriculteur « rationnel » va choisir l'alternative qui lui procure plus de satisfaction.

La probabilité qu'il utilise le compost s'exprime de la manière suivante :

$$P(Y_i=1) = P[U_1 > U_0] = P[V_1(Z) + e_1 > V_0(Z) + e_0] = P[V_1(Z) - V_0(Z) > e_0 - e_1] \quad (7)$$

En prenant V_i comme fonction linéaire de Z, c'est-à-dire $V_i = \beta_i Z$ on aura :

$$V_1(Z) - V_0(Z) = (\beta_1 - \beta_0) Z.$$

(7) devient : $P(Y_1=1) = P[\beta Z > e] = F(\beta Z)$ avec $\beta = \beta_1 - \beta_0$, le vecteur des paramètres à estimer et $e = e_0 - e_1$ le terme d'erreur.

$F(\beta Z)$ est une fonction de distribution cumulative. Le modèle Logit suppose que F suit une loi logistique. Dans ces conditions, la probabilité qu'un agriculteur donné utilise le compost sera donnée par :

$$P(Y_1 = 1) = \frac{\exp(\beta Z)}{1 + \exp(\beta Z)} \quad (8)$$

Par conséquent, la probabilité de ne pas utiliser le compost sera donnée par :

$$P(Y_1 = 0) = 1 - P(Y_1 = 1) = \frac{1}{1 + \exp(\beta Z)} \quad (9) \quad (\text{avec « exp » la fonction exponentielle}).$$

Notre modèle Logit binomial sera estimé par la méthode du maximum de vraisemblance. Pour évaluer la qualité des ajustements, nous aurons recours au R^2 de Mc Fadden. En outre le pourcentage de bonne prédiction nous permettra de juger du pouvoir prédictif du modèle.

Les coefficients estimés β sont essentiellement des pentes de régression. Un coefficient positif indique qu'un accroissement de la variable explicative accroît la probabilité d'adoption du compost. À l'inverse, un coefficient négatif décroît cette probabilité et, par conséquent, diminue la probabilité d'occurrence de cet événement. Le calcul des effets marginaux encore appelés « rapport des cotes » vise à établir l'effet, sur les probabilités de choix, d'une variation à la marge, de l'une des caractéristiques de l'agriculteur.

➤ Le modèle Logit ordonné

Le niveau d'utilisation des fertilisants en agriculture peut fournir une mesure quantitative de l'ampleur de l'adoption quand il existe plusieurs méthodes de fertilisation. En d'autres termes, l'adoption peut être approximée par une variable pouvant prendre plusieurs valeurs. Une telle manière d'exprimer la variable

dépendante permet, dans le cas de l'utilisation des fertilisants, d'envisager une explication des taux d'adoption. Les modèles multinomiaux ordonnés, appelés aussi modèles polytomiques (*Logit* ordonné, *Probit* ordonné) permettent de modéliser, non pas la probabilité d'adoption, mais plutôt le niveau d'adoption. Le *Logit* ordonné estimé fait appel à k modalités (avec $k > 2$). Ces modalités traduiront les différents intervalles d'adoption des fertilisants.

Le choix du *Logit* ordonné se justifie par le fait que les valeurs de la variable expliquée Y_i peuvent être logiquement ordonnées. Nous supposons ici que le niveau de la production agricole est fonction du niveau de fertilisation choisi.

En effet, les agriculteurs estiment que le fait de ne pas utiliser les fertilisants agricoles fournit un faible niveau de rendement, suivi de l'utilisation exclusive du compost, de l'utilisation combinée des deux types de fertilisants et enfin de l'utilisation exclusive des engrais minéraux qui fournit le meilleur niveau de rendement. Ils estiment que l'utilisation exclusive des engrais minéraux est plus efficace que l'utilisation combinée compost – engrais minéraux pour deux raisons :

- la première raison repose sur le fait que bien que le compost ait des qualités indéniables sur le sol, il n'en demeure pas moins qu'il reste un intrant rare ; et quand bien même il est disponible il n'est pas de bonne qualité puisque mal composté.
- Parce que l'agriculture urbaine et périurbaine telle que pratiquée dans les bas-fonds au Cameroun permet essentiellement de ravitailler les marchés en légumes, les agriculteurs estiment que l'utilisation exclusive des engrais minéraux leur permet de produire de quantités importantes en moins de temps et sur des petites surfaces ; bien que cette pratique expose les consommateurs aux risques sanitaires.

Dans notre modèle *Logit* ordonné, la variable endogène observée Y_i prend quatre modalités :

$$\begin{cases} Y_i = 4 \text{ (Utilisation exclusive des engrais minéraux)} & \text{si } C_3 < Y_i^* \\ Y_i = 3 \text{ (Utilisation combinée du compost et des engrais minéraux)} & \text{si } C_2 \leq Y_i^* < C_3 \\ Y_i = 2 \text{ (Utilisation exclusive du compost)} & \text{si } C_1 \leq Y_i^* < C_2 \\ Y_i = 1 \text{ (Non utilisation des fertilisants)} & \text{si } Y_i^* < C_1 \end{cases} \quad \forall i = 1, \dots, N$$

où C_1 , C_2 et C_3 sont des seuils de fertilisation finis.

La fertilisation Y_i^* est expliquée par l'équation linéaire $Y_i^* = X_i \cdot \beta + u_i$, où X_i est un vecteur de variables explicatives (les déterminants de la fertilisation), β le vecteur des coefficients associés et u_i un terme aléatoire distribué selon la loi logistique. Pour toute modalité j ($j=1, 2, 3$) de la variable Y_i , nous posons $P_{ij} = \Pr(Y_i > j)$.

Il en découle la relation (10):

$$P_{ij} = 1 - \Pr(Y_i = j) = 1 - \Pr(Y_i^* = C_{j+1}) = 1 - \Pr(u_i = C_{j+1} - X_i \cdot \beta) = \frac{1}{1 + \exp(C_{j+1} - X_i \cdot \beta)}$$

Le modèle Logit ordonné est donc défini comme le système de $j-1$ équations :

$$\ln \left(\frac{P_{ij}}{1 - P_{ij}} \right) = -C_{j+1} + X_i \cdot \beta \quad j = 1, 2 \quad (11)$$

Où chaque équation fait intervenir le vecteur des coefficients β , mais comporte une constante spécifique : $-c_{j+1}$. Ainsi formulé, le modèle prédit la probabilité d'être classé dans une catégorie supérieure plutôt qu'inférieure. Comme pour le Logit binomial, notre modèle Logit ordonné sera estimé par la méthode du maximum de vraisemblance.

Le modèle polytomique ordonné utilisé est donc un modèle à choix qualitatif de type Logit ordonné (Negatu & Parikh, 1999 ; Baidu-Forson et al., 1997). Quatre niveaux d'adoption représentant différentes intensités d'adoption ont été distingués. Ils traduisent les situations de faible production agricole (non utilisation de fertilisants),

de production moyenne (utilisation exclusive du compost), de production satisfaisante (utilisation exclusive des engrais minéraux) et de production optimale (utilisation combinée du compost et des engrais minéraux). Bien que le choix des niveaux d'adoption soit arbitraire, les modalités retenues découlent comme nous l'avons souligné plus haut de la perception qu'ont les agriculteurs des différents types de fertilisants agricoles.

A travers cette spécification des niveaux d'adoption on cherche à affiner l'estimation des déterminants de l'adoption. De plus, les rapports de cotes des variables explicatives seront propres à chaque intervalle d'adoption. Le *Logit Ordonné* permet également une prédiction de la probabilité d'appartenance à un intervalle donné d'adoption pour chaque observation.

b₂) Les variables explicatives : nature et effets théoriques attendus

Il existe une spécification empirique pour appréhender le rapport entre l'usage des fertilisants et les variables socio-économiques et techniques. Ici nous faisons un inventaire exhaustif des variables que nous estimons susceptibles d'influencer le choix de d'une méthode de fertilisation dans les exploitations agricoles urbaines et périurbaines. La description de ces variables explicatives est la suivante :

- Les variables sociales :

L'âge de l'agriculteur (AGE) : Avec le temps et l'âge, les agriculteurs accumulent un important capital personnel et se montrent disposés à s'investir dans les innovations. Cependant, les études montrent que les jeunes ont le goût du risque et sont en général les premiers à adopter une nouvelle technologie. Ils ont aussi la force physique de transporter le compost, généralement un peu lourd, dans leurs exploitations (Nkamleu & Coulibaly, 2000 ; Alavalapati et al., 1995).

Le sexe de l'agriculteur (SEXE) : Les femmes utilisent moins le compost à cause du caractère lourd de ceux-ci qui exige d'énormes efforts physiques. Les études montrent également que les femmes sont généralement mises à l'écart en terme d'information

et d'accès aux intrants externes (Dey, 1981). Selon Matlon (1994), les hommes sont plus favorables à adopter le compost que les femmes.

Le niveau d'instruction ou d'éducation (SCHOOL) : Les études montrent que les agriculteurs instruits et bien éduqués sont plus susceptibles d'adopter de nouvelles technologies ; généralement se sont les premiers à prendre le risque (Kebede et al., 1990 ; Rahm & Singh, 1988). Shultz (1975) établit une forte corrélation entre le niveau d'instruction et la productivité et l'efficacité en agriculture. Cette variable a donc une influence positive sur la probabilité d'utiliser le compost mais négative sur la probabilité d'utiliser les engrais minéraux, car les agriculteurs instruits comprennent mieux les avantages agronomiques et environnementaux liés à l'utilisation du compost.

L'appartenance à une association d'agriculteurs (GIC) : Le fait pour un agriculteur d'être membre d'une association influence positivement sa décision d'utiliser les fertilisants. Car il bénéficie souvent au sein de ces associations des formations et des conseils de spécialistes (Adesina et al., 2000).

- **Les variables économiques :**

L'appartenance à une tontine (TONT) : la tontine permet aux agriculteurs d'avoir accès au micro crédit. Généralement, ce crédit « informelle » permet de desserrer les contraintes de liquidité, d'où son influence positive sur la probabilité d'adoption des éléments nutritifs du sol, comme c'est également le cas au Burkina Faso par exemple (Savadogo et al., 1994). Selon Léonard (1990), l'absence de crédit limite significativement l'adoption des innovations agricoles. L'accès au crédit permet de desserrer les contraintes de liquidité, d'où son influence positive sur la probabilité d'adoption de tous les types de fertilisants.

La pratique de l'élevage (ELEV) : Les agriculteurs qui pratiquent en même temps l'élevage sont plus enclins à utiliser les déchets de bétail (lisiers, fientes) et même le compost (Williams et al., 1993). La consommation des engrais minéraux se verra donc réduite.

Le revenu agricole de l'agriculteur (REVAGRI) : Un revenu agricole élevé peut influencer négativement ou positivement l'utilisation des fertilisants. Selon Sotamenou (2005), plus l'agriculteur a un revenu agricole élevé plus il dispose des moyens de se procurer le compost. Mais très souvent, les agriculteurs qui ont un revenu agricole très élevés se tournent le plus vers les engrais minéraux afin de produire d'avantage.

Les dépenses liées à l'achat des engrais minéraux (DEPIM) : Les dépenses en intrants chimiques influencent négativement l'utilisation du compost. En effet, plus l'agriculteur consacre une part importante de son budget à l'achat des engrais minéraux, moins il utilise le compost (Parrot et al., 2009b).

La superficie de l'exploitation (AIRE) : Dans certaines circonstances cette variable peut être considérée comme une approximation de la richesse. Selon certains auteurs, cette variable peut influencer aussi bien positivement que négativement l'adoption des innovations. Pour Kebede et al., (1990), la taille des exploitations est la variable la plus significative dans l'adoption des pesticides et des fertilisants dans la province de Shoa en Ethiopie. Selon Boussard (1987), il n'y a pas raison de croire a priori que l'adoption des innovations va être favorisée par l'effet de grande taille des exploitations. Pour nous, le caractère volumineux et salissant du compost ne permet pas toujours aux propriétaires des grandes surfaces de les utiliser.

- **Les variables techniques :**

Le droit de propriété sur les exploitations exploitées (PROP) : Gillis et al., (1990) souligne que le droit de propriété sur les terres a une incidence positive sur l'intensification de l'agriculture. Par conséquent, nous faisons l'hypothèse que les propriétaires des exploitations (généralement les autochtones) ont beaucoup plus tendance à utiliser le compost parce que leurs actions s'étalent sur plusieurs cycles ; alors que les exploitants qui louent des parcelles ont plus tendance à utiliser les engrais minéraux.

La distance Domicile - Parcelle exploitée (DIST) : Le caractère volumineux et salissant du compost fait que la probabilité de l'utiliser décroît avec la distance domicile-parcelle

de l'exploitant (Sotamenou et al., 2010). Selon Parrot et al. (2008), la variable domicile - parcelle influence généralement négativement l'utilisation des fertilisants.

Le type de culture pratiqué (PCULT) : Le type de fertilisants utilisé est fonction du type de culture pratiquée. Le maraîchage par exemple nécessite une utilisation plus intense de compost contrairement à la floriculture qui nécessitent beaucoup plus l'utilisation d'intrants chimiques du fait du caractère essentiellement commercial de la culture des fleurs par exemple (Sotamenou, 2005).

La variable géographique (ZONE) : Les fortes pressions foncières et la dépendance des agriculteurs de l'Ouest vis-à-vis de leur production fait que ceux-ci sont plus sensibles à utiliser les fertilisants. Yaoundé par contre du fait de la diversité des activités urbaines, les agriculteurs qui y exercent ne produisent pas autant que ceux de Bafoussam, ce qui fait que nous faisons l'hypothèse selon laquelle la probabilité d'adoption des fertilisants est plus élevée à Bafoussam qu'à Yaoundé.

IV.2.2. Les résultats

Nous présenterons tout d'abord les résultats d'analyses statistiques du modèle. Ces résultats statistiques seront suivis par les résultats des estimations économétriques.

a) Les résultats des analyses statistiques

Alors que le tableau 48 présente les résultats des analyses statistiques portant sur les variables explicatives de nos modèles, le tableau 49 présente les résultats statistiques portant sur les variables dépendantes.

a₁) Les caractéristiques des variables explicatives

Il ressort du tableau 48 que l'âge moyen des exploitants agricoles de notre échantillon est de 44 ans et que les agriculteurs dépensent en moyenne 3050 FCFA tous les mois pour l'achat des engrais minéraux.

Tableau 48 : Statistiques descriptives des variables explicatives utilisées

Variables	Modalités	Proportion/ Moyenne	Std. Err. / Std. Dev.
AGE	Age de l'exploitant (en années)	44	13
DEPIM	Dépenses en intrants chimiques (FCFA/mois)	3050	3657
SEXE	0 = Femmes	32%	0,268
	1 = Hommes	68%	0,622
ELEV	0 = Ne pratique pas l'élevage	54%	0,029
	1 = Pratique l'élevage	46%	0,029
GIC	0 = N'appartient pas à un GIC	61%	0,554
	1 = Appartient à un GIC	38%	0,332
PROP	0 = Ne possède pas un droit de propriété sur sa parcelle	22%	0,245
	1 = Possède un droit de propriété sur sa parcelle	78%	0,245
PCULT	0 = Culture des produits de rente	15%	0,208
	1 = Culture des produits maraîchers	85%	0,208
TONT	0 = N'est pas membre d'une tontine	47%	0,407
	1 = Membre d'une tontine	53%	0,476
AIRE	1=Exploitations inférieures à 500 m ²	35%	0,028
	2=Exploitations comprises entre 500 et 4500 m ²	36%	0,028
	3=Exploitations supérieures à 4500 m ²	29%	0,026
DIST	1=Distance domicile parcelle inférieure à 500 m	52%	0,466
	2= Distance domicile parcelle comprise entre 500 et 1000 m	13%	0,089
	3= Distance domicile parcelle comprise entre 1000 et 2000 m	12%	0,080
	4= Distance domicile parcelle supérieure à 2000 m	23%	0,180
SCHOOL	0 = Aucun	17%	0,022
	1 = Niveau primaire	39%	0,028
	2= Niveau secondaire	27%	0,026
	3 = Niveau supérieur	17%	0,022
REVAGRI	1= Revenus agricoles inférieurs à 25000 FCFA	32%	0,027
	2= Revenus agricoles compris entre 25000 et 45000 FCFA	35%	0,028
	3 = Revenus agricoles compris entre 45000 et 100000 FCFA	21%	0,024
	4=Revenus agricoles supérieurs à 100 000 FCFA	12%	0,019
ZONE	0 = Bafoussam	56%	0,505
	1 = Yaoundé	44%	0,379

Le tableau 48 indique également que 68% des exploitants engagés dans l'agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun sont des hommes et 44% des agriculteurs de notre échantillon exercent leurs activités à Yaoundé ; 83% d'entre eux ont au moins un diplôme. Seulement 46% des agriculteurs enquêtés élèvent le petit bétail et 85% de la production agricole est constituée de produits maraîchers. Très peu d'agriculteurs (38% de notre échantillon) sont regroupés au sein d'associations paysannes alors que 53% d'entre eux sont membres d'une tontine.

Malgré les fortes pressions foncières, 78% des exploitants de notre échantillon sont propriétaires de leurs exploitations. Un peu plus de la moitié des exploitants enquêtés (52%) vivent à moins de 500 m de leur domicile. Mais l'étroitesse des surfaces exploitées (4500 m² en moyenne) fait que seulement 12% des exploitants ont un revenu agricole mensuel supérieur à 100000 FCFA.

a₂) Les caractéristiques des variables dépendantes

Les tableaux 49 et 50 présentent respectivement les caractéristiques des variables dépendantes de nos deux modèles : Logit binomial et Logit ordonné.

Selon le tableau 49, 64% des agriculteurs de notre échantillon n'ont pas recours au compost dans leur processus de fertilisation. Les raisons évoquées sont les niveaux de prix élevés, mais aussi la rareté du produit et quand bien même il est disponible il est très souvent de mauvaise qualité.

Tableau 49 : Statistiques de la variable dépendante Y_1 du modèle Logit binomial

Variable	Modalités	Nombre	Prop.	Std. Err.
$Y_1=0$	L'agriculteur n'utilise pas le compost	155	64%	0,283
$Y_1=1$	L'agriculteur utilise le compost	87	36%	0,283

Le tableau 50 quant à lui indique que seulement 15% des agriculteurs utilisent exclusivement le compost, alors que près de la moitié des exploitants enquêtés (41%) ont bien compris l'importance du « mix up » compost – engrais minéraux en agriculture. La proportion de ceux qui n'ont recours à aucune méthode de fertilisation est égale à celle qui utilise exclusivement les engrais minéraux.

Tableau 50 : Statistiques de la variable dépendante Y_2 du modèle Logit ordonné

Variable	Modalités	Nombre	Prop.	Std. Err.
$Y_i=4$	Utilisation exclusive des engrais minéraux	99	41%	0,029
$Y_i=3$	Utilisation combinée du compost et des engrais minéraux	51	21%	0,024
$Y_i=2$	Utilisation exclusive du compost	36	15%	0,020
$Y_i=1$	Non utilisation des fertilisants	56	23%	0,024

b) Les résultats de l'estimation du modèle Logit binomial et du modèle Logit ordonné

Comme mentionné en IV.2.1.b, nous avons tout d'abord estimé un modèle Logit binomial qui porte sur le de choix de l'utilisation du compost au Cameroun.

Nous avons supposé que les agriculteurs ont le choix d'utiliser ou de ne pas utiliser exclusivement le compost. Pour compléter notre analyse, et indépendamment de notre modèle Logit binomial, nous avons estimé un modèle Logit ordonné afin d'évaluer le niveau d'utilisation des amendements organiques.

b.) Résultats de l'estimation du modèle Logit binomial

Le tableau 51 présente les résultats de l'estimation du modèle Logit binomial portant sur un échantillon de 242 agriculteurs, ainsi que le rapport des cotes des variables explicatives sur la variable dépendante. La variable dépendante est la variable dichotomique traduisant le fait qu'il y a ou non utilisation du compost dans les exploitations agricoles urbaines et périurbaines au Cameroun.

Globalement, le modèle est statistiquement valide. En effet, son Khi-Deux (χ^2) (31,573) est significatif à 01 %. Le pseudo- R^2 (0,101) est satisfaisant, il approxime la proportion de la variance expliquée par le modèle. Le pourcentage de bonne prédiction du modèle est également satisfaisant ; ce pourcentage indique que dans 70,25 % de cas notre modèle prédit correctement le comportement des agriculteurs camerounais.

Tableau 51 : Résultats de l'estimation du modèle Logit binomial portant sur l'utilisation du compost au Cameroun

Variables explicatives		Utilisation du compost	Rapport des cotes	Std. Err.
Age de l'exploitant		0,015 (1,060)	0,003	0,003
Sexe de l'exploitant		-0,476 (-1,316)	-0,107	0,083
Pratique de l'élevage		-0,435 (-1,318)	-0,094	0,071
Appartenance à une association paysanne		0,807** (2,282)	0,181	0,079
Possède un droit de propriété sur sa parcelle		0,718* (1,811)	0,144	0,071
Culture des produits maraîchers		0,882* (1,667)	0,169	0,085
Membre d'une tontine		0,144 (0,457)	0,031	0,068
Dépenses en intrants chimiques		0,025 (0,148)	0,005	0,037
Distance domicile-parcelle	Entre 500 et 1000 m	-0,870* (-1,853)	-0,167	0,076
	Entre 1000 et 2000 m	-0,010 (-0,021)	-0,002	0,107
	Plus de 2000 m	-0,124 (-0,285)	-0,026	0,093
Niveau d'éducation	Niveau primaire	0,397 (0,853)	0,088	0,105
	Niveau secondaire	-0,201 (-0,382)	-0,043	0,112
	Niveau supérieur	0,492 (0,846)	0,113	0,139
Niveau des revenus agricoles	Faible niveau de revenus (entre 25000 et 45000 FCFA)	-0,933** (-2,531)	-0,194	0,071
	Revenus agricoles moyens (entre 45000 et 100000 FCFA)	-0,993** (-2,165)	-0,193	0,076
	Revenus agricoles élevés (plus de 100000 FCFA)	-0,757 (-1,508)	-0,147	0,084
Superficie de l'exploitation	Exploitations comprises entre 500 et 4500 m ²	-0,441 (-1,070)	-0,094	0,086
	Exploitations supérieures à 4500 m ²	-0,804 (-1,475)	-0,164	0,102
Yaoundé		-0,432 (-0,878)	-0,094	0,106
Constante		-1,590 (-0,995)		
Number of observations		242		
Log-Likelihood		-140,46		
Chi2		31,573		
Adjusted R2		0,101		

Note:*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Les résultats du tableau 51 révèlent que les variables qui influencent l'utilisation du compost dans les exploitations horticoles urbaines et périurbaines au Cameroun sont : l'appartenance à une association paysanne (GIC), le droit de propriété sur la parcelle exploitée (PROP), la culture des produits maraîchers (PCULT), la distance domicile-parcelle (DIST) et le niveau des revenus agricoles (REVAGRI).

Interprétons à présent la significativité de ces variables :

- La variable GIC :

elle traduit l'appartenance de l'agriculteur à une association paysanne et présente un signe positif. Ce résultat est conforme à l'hypothèse selon laquelle le fait pour un agriculteur d'être membre d'une association influence positivement sa décision d'utiliser le compost puisqu'il bénéficie souvent au sein de ces associations des formations et des conseils de spécialistes (Adesina et al., 2000). La variable GIC est significative au seuil de 05% et le rapport des cotes montrent d'ailleurs que si le pourcentage de ceux qui appartiennent à une association paysanne augmente de 10% alors la probabilité d'utiliser le compost augmente de 18%.

- La variable PROP :

elle traduit le fait pour un agriculteur d'être propriétaire de sa parcelle et présente un signe positif. Ce résultat est conforme à l'hypothèse selon laquelle le droit de propriété sur les terres a une incidence positive sur l'intensification de l'agriculture (Gillis et al., 1990). La variable PROP est significative au seuil de 10% et le rapport des cotes montrent d'ailleurs que si le pourcentage de ceux qui détiennent un droit de propriété sur leur parcelle augmente de 10% alors la probabilité d'utiliser le compost augmente de 14%.

- La variable PCULT :

elle représente le type de culture pratiqué par l'exploitant agricole. Le fait de pratiquer la culture des produits maraîchers présente un signe positif. Conformément à nos attentes, le maraîchage nécessite une utilisation plus intense de compost

contrairement à la culture des produits de rente qui nécessitent beaucoup plus l'utilisation d'intrants chimiques du fait de leur caractère essentiellement commercial (Sotamenou, 2005).

La variable PCULT est significative au seuil de 10% et le rapport des cotes montre que si le pourcentage de ceux qui se consacre à la culture des produits maraîchers augmente de 10% alors la probabilité d'utiliser le compost augmente de 16%.

- La variable DIST :

la modalité « distance domicile-parcelle comprise entre 500 et 1000 m » est significative au seuil de 10% et présente un signe négatif. Ceci confirme la théorie selon laquelle vivre loin de sa parcelle influence négativement l'utilisation du compost du fait de son caractère lourd et salissant (Sotamenou et al., 2010 ; Parrot et al., 2008). Le rapport des cotes montre que si le pourcentage des agriculteurs qui vivent assez loin de leur parcelle augmente de 10% alors la probabilité d'utiliser le compost diminue de 16%.

- La variable REVAGRI :

les modalités « revenus agricoles compris entre 25000 et 45000 FCFA » et « revenus agricoles compris entre 45000 et 100000 FCFA » sont significatives au seuil de 05% et présente un signe négatif conformément à la théorie (Sotamenou, 2005) où un niveau de revenu élevé favoriserait l'utilisation des engrais minéraux au détriment du compost, puisque l'agriculteur veut produire plus pour gagner plus. Le rapport des cotes montrent que si pourcentage de ceux qui gagnent entre 25000 et 45000 FCFA et de ceux qui gagnent entre 45000 et 100000 FCFA augmentent alors la probabilité d'utiliser le compost diminue de 19%.

b₂) Résultats de l'estimation du modèle Logit ordonné

Le modèle Logit ordonné portant sur un échantillon de 242 agriculteurs au Cameroun est statistiquement valide. En effet, son Khi-Deux (χ^2) (148,558) est significatif à 01 % (Tableau 52). Le pseudo-R² (0,253) est satisfaisant car il approxime la proportion de la variance expliquée par le modèle ; c'est un indicateur de la performance du modèle.

Tableau 52 : Résultats de l'estimation du modèle Logit ordonnée portant sur les niveaux d'utilisation des fertilisants au Cameroun

Variables explicatives		Coef/ t
Age de l'exploitant		-0,014 (-1,078)
Sexe de l'exploitant		-0,115 (-0,351)
Pratique de l'élevage		0,033 (0,109)
Appartenance à une association paysanne		-0,493 (-1,559)
Possède un droit de propriété sur sa parcelle		-1,297*** (-3,422)
Culture des produits maraîchers		-1,301** (-2,556)
Membre d'une tontine		0,183 (0,629)
Dépenses en intrants chimiques		1,647*** (8,398)
Distance domicile-parcelle	Entre 500 et 1000 m	1,149*** (2,695)
	Entre 1000 et 2000 m	0,612 (1,216)
	Plus de 2000 m	0,066 (0,165)
Niveau d'éducation	Niveau primaire	-0,595 (-1,361)
	Niveau secondaire	-0,786* (-1,667)
	Niveau supérieur	-0,833 (-1,521)
Niveau des revenus agricoles	Faible niveau de revenus (entre 25000 et 45000 FCFA)	0,614* (1,801)
	Revenus agricoles moyens (entre 45000 et 100000 FCFA)	-0,208 (-0,510)
	Revenus agricoles élevés (plus de 100000 FCFA)	0,410 (0,842)
Superficie de l'exploitation	Exploitations comprises entre 500 et 4500 m ²	0,185 (0,501)
	Exploitations supérieures à 4500 m ²	0,584 (1,194)
Yaoundé		0,704 (1,532)
/ cut1		7,531*** (4,822)
/ cut2		8,560*** (5,343)
/ cut3		10,551*** (6,314)
Number of observations		242
Log-Likelihood		-219,66
chi2		148,558
Adjusted R2		0,253

Note:*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Il ressort du tableau 52 que les variables : droit de propriété (PROP), pratique des cultures maraîchers (PCULT), dépenses en intrants agricoles (DEPIM), distance domicile-parcelle exploitée (DIST), niveau d'éducation (SCHOOL) et niveau des revenus agricoles (REVAGRI) influencent la probabilité d'utiliser les fertilisants agricoles au Cameroun.

Il est à noter que dans nos deux estimations (Logit binomial et Logit ordonné) que la variable muette ZONE (ZONE = 0 pour Bafoussam et 1 pour Yaoundé) n'est pas significative. Cela signifie que la probabilité qu'un agriculteur utilise les fertilisants agricole est indépendante de la zone dans laquelle il se trouve. Les pratiques agricoles vis-à-vis des fertilisants des agriculteurs de l'Ouest Cameroun et ceux du Centre ne diffèrent donc pas significativement.

L'estimation du Logit ordonné permet également de dégager les rapports de cotes des variables explicatives pour chaque modalité, c'est-à-dire pour chaque niveau de fertilisation. Le tableau 53 montre que seules les variables PROP, PCULT, DEPIM et DIST expliquent la fertilisation à tous les niveaux.

Tableau 53 : Rapports des cotes des variables explicatives selon les niveaux d'utilisation des fertilisants

Modalités de la variable expliquée		Non utilisation des fertilisants		Utilisation exclusive du compost		Utilisation combinée du compost et des engrais minéraux		Utilisation exclusive des engrais minéraux	
		dy/dx	P> z	dy/dx	P> z	dy/dx	P> z	dy/dx	P> z
Variables explicatives									
Age de l'exploitant		0,000	0,288	0,001	0,290	0,001	0,296	-0,003	0,281
Sexe de l'exploitant		0,006	0,722	0,008	0,913	0,013	0,731	-0,028	0,726
Pratique de l'élevage		-0,001	0,913	-0,002	0,913	-0,003	0,913	0,008	0,913
Appartenance à une association paysanne		0,029	0,151	0,037	0,139	0,052	0,118	-0,119	0,113
Possède un droit de propriété sur sa parcelle		0,055***	0,001	0,075***	0,001	0,182***	0,003	-0,312***	0,000
Culture des produits maraîchers		0,518***	0,002	0,071***	0,003	0,188***	0,020	-0,312***	0,004
Membre d'une tontine		-0,010	0,534	-0,013	0,535	-0,020	0,528	0,044	0,528
Dépenses en intrants chimiques		-0,094***	0,000	-0,120***	0,000	-0,187***	0,000	0,403***	0,000
Distance domicile-parcelle	Entre 500 et 1000 m	-0,047***	0,002	-0,065***	0,003	-0,165***	0,018	0,278***	0,004
	Entre 1000 et 2000 m	-0,028	0,147	-0,039	0,172	-0,083	0,286	0,151	0,220
	Plus de 2000 m	-0,003	0,867	-0,004	0,868	-0,007	0,871	0,016	0,869
Niveau d'éducation	Niveau primaire	0,036	0,216	0,045	0,203	0,061	0,141	-0,143	0,162
	Niveau secondaire	0,052	0,162	0,061	0,135	0,069 ***	0,040	-0,184*	0,077
	Niveau supérieur	0,062	0,236	0,069	0,176	0,058 ***	0,014	-0,189*	0,091
Niveau des revenus agricoles	Faible niveau de revenus (entre 25000 et 45000 FCFA)	-0,033*	0,070	-0,042 *	0,072	-0,074	0,105	0,150*	0,070
	Revenus agricoles moyens (entre 45000 et 100000 FCFA)	0,012	0,631	0,015	0,624	0,022	0,580	-0,050	0,606
	Revenus agricoles élevés (plus de 100000 FCFA)	-0,020	0,340	-0,027	0,357	-0,053	0,453	0,101	0,402
Superficie de l'exploitation	Exploitations comprises entre 500 et 4500 m ²	-0,010	0,611	-0,013	0,613	-0,021	0,626	0,045	0,617
	Exploitations supérieures à 4500 m ²	-0,030	0,199	-0,039	0,210	-0,073	0,277	0,143	0,231
Yaoundé		-0,039	0,136	-0,050	0,132	-0,081	0,141	0,171	0,120

Note:*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Conclusion de la deuxième partie :

L'objectif de la deuxième partie de cette thèse était d'appréhender la pertinence du compostage dans le dispositif de gestion des DS que nous avons proposé en première partie. Pour cela, nous avons présenté d'une part les contours théoriques de l'utilisation des déchets organiques en agriculture urbaine et périurbaine d'une part, et d'autre part, nous avons apprécié l'utilisation des déchets organiques en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun.

Les concepts d'agriculture urbaine et périurbaine et de compostage ont été explorés. Les fondements théoriques qui ont soutenu notre analyse dans cette partie de la thèse sont : la théorie des préférences (Varian, 2003 ; Houthakker, 1950 ; Samuelson, 1938), la théorie de l'innovation et de la diffusion des innovations (Rogers, 1983 ; Schumpeter, 1935). Nous considérons en effet que le fait pour un agriculteur d'utiliser un intrant (engrais organiques par exemple) qu'il n'utilisait pas par le passé est une innovation. Et comme toutes les innovations en agriculture, la théorie de la diffusion des innovations précisent les conditions dans lesquelles elles sont acceptées et intégrées dans les processus de production agricole.

Au Cameroun les agriculteurs ont recours à des méthodes de fertilisation diverses. Nous avons constaté qu'en plus des engrais minéraux, deux principaux types de déchets organiques sont utilisés en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun : les déchets organiques d'origine animale (fientes et fumiers de volailles) et les amendements organiques d'origine végétale (composts d'ordures ménagères).

L'analyse physico-chimique de ces déchets organiques produits au Cameroun nous a permis d'apprécier la valeur fertilisante et amendante de ceux-ci. Il ressort des analyses de laboratoire que la valeur fertilisante des produits organiques collectés est indépendante de leur lieu de provenance (Yaoundé ou Bafoussam) sauf pour les composts qui présentent une valeur fertilisante faible. De par leur teneur en éléments nutritifs (NPK), les déchets organiques du Cameroun sont considérés comme des amendements organiques.

Bien que du fait des procédés approximatifs de compostage, le compost produit au Cameroun ne soit pas très riche en éléments fertilisant (NPK), des marges d'amélioration importantes existent. Ce qui nous autorise à dire qu'une fois la qualité agronomique optimisée, le compost produit au Cameroun gagnera en qualité. Néanmoins nos résultats montrent que les amendements organiques d'origine animale (fientes de poudeuses et fumiers de poulet de chair) sont bien plus riches que les composts d'ordures ménagères et certains d'ailleurs d'entre eux sont considérés comme des engrais organiques du fait de leur teneur élevée en azote. La seule limite à leur utilisation reste le caractère rare de ces intrants animaux.

Comme nous l'avons précisé, le compostage des ordures ménagères se justifie de par ses enjeux tant socio-économiques qu'environnemental. En effet la mise en place des unités de compostage dans les quartiers est source de création d'emploi. Elle permet également de réduire les coûts de transport des déchets vers la décharge et contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre puisqu'il permet de réduire les quantités de déchets fermentescibles enfouis. Nous avons largement exposé dans cette thèse son importance pour la plante et les sols en agriculture.

Le calcul des valeurs marchandes (prix réels des éléments nutritifs contenus dans les amendements organiques) de ces amendements organiques nous a permis de constater que la valeur commerciale du compost (2500 FCFA à Yaoundé et 1500 FCFA à Bafoussam) est largement supérieure à sa valeur marchande qui est de 294 FCFA à Yaoundé et 590 FCFA à Bafoussam. Une telle différence de prix n'est pas de nature à encourager les agriculteurs à les utiliser. Par contre les valeurs marchandes des fumiers et lisiers aussi bien de Yaoundé que de Bafoussam sont inférieures à leurs valeurs commerciales d'où l'intérêt des agriculteurs pour ces amendements organiques d'origine animale.

Pour rendre le compost compétitif par rapport à l'engrais, il faut agir à deux niveaux :

- augmenter la valeur fertilisante et la valeur amendante du compost (en réalisant un vrai compostage avec phase exothermique ;

- éviter la pollution par de la terre (les résultats des analyses de laboratoire montrent qu'il existe d'énormes quantités de terre dans les composts produits au Cameroun).

Il existe une possibilité de substitution entre les amendements organiques et les engrais minéraux au Cameroun, mais dans de fortes proportions que nous avons déterminées. Par exemple, un agriculteur à Yaoundé qui veut bénéficier du même niveau de fertilisation en azote (N) par exemple qu'un sac d'urée de 50 kg devra soit utiliser 144 sacs de composts soit 19 sacs de fientes ou de fumiers avec l'avantage de fournir en plus quelques éléments de phosphore et de potassium à la plante. Bien que les coûts relatifs à cette substitution soit élevés (13500 FCFA le sac de 50 kg d'urée contre 42236 FCFA en compost et 19 000 FCFA en poulet de chair), les gains relatifs à l'utilisation de ces amendements organiques sont surtout environnementaux (réduction des pollutions dues aux engrais minéraux) mais également agronomique (amélioration de la qualité des sols). Puisque les enjeux pour l'agriculteur se situent au niveau économique (produire plus, et n'importe comment, pour gagner plus), l'Etat doit donc veiller à mettre en place des mécanismes pour favoriser l'utilisation des amendements organiques par les agriculteurs.

Il apparaît de ces premiers résultats que l'offre importante en amendements organiques au Cameroun est possible, tant le gisement est important ; mais à condition que ceux ci soient disponibles et de bonne qualité (surtout pour le compost) puis vendus au prix marchand. Pour que l'offre puisse être soutenue, il faut qu'il y ait une forte demande en face. La demande en amendements organiques correspond aux quantités susceptibles d'être utilisés dans les exploitations agricoles urbaines et périurbaines. L'on est alors en droit de s'interroger sur les facteurs qui peuvent favoriser l'utilisation de ces amendements organiques dans les bas-fonds.

Nous avons ensuite procédé à l'identification des variables pouvant influencer l'utilisation du compost au Cameroun par le biais d'un modèle Logit binomial (Amemiya, 1981 ; Mc Fadden, 1968) et nous avons déterminés les effets de ces

variables sur chaque niveau de fertilisation à l'aide d'un modèle Logit ordonné (Negatu & Parikh, 1999 ; Baidu-Forson et al., 1997).

Nous sommes partis de deux hypothèses respectives :

- les agriculteurs ont le choix d'utiliser ou de ne pas utiliser le compost ;
- les quatre niveaux possibles de fertilisation (non utilisation des fertilisants, utilisation exclusive du compost, utilisation combinée du compost et des engrais minéraux et utilisation exclusive des engrais minéraux) obéissent à une logique d'ordre ; chaque niveau progressif de fertilisation entraînant un niveau de rendement agricole rapide et plus élevé.

A partir des analyses faites sur un échantillon de 268 exploitants agricoles exerçant dans les bas-fonds du Cameroun (126 exploitants à Yaoundé et 162 à Bafoussam), il ressort de nos analyses que seulement 36% des exploitants enquêtés utilise le compost. Par ailleurs, 15% des agriculteurs utilisent exclusivement le compost, alors que 21% des exploitants enquêtés ont bien compris l'importance du « mix up » compost – engrais minéraux en agriculture. La proportion de ceux qui n'ont recours à aucune méthode de fertilisation est de 23% alors que ceux qui utilisent exclusivement les engrais minéraux sont plus nombreux (41%).

Il ressort des estimations du modèle Logit binomial que les variables qui influencent positivement la probabilité d'utiliser le compost sont : l'appartenance à une association paysanne, le droit de propriété sur la parcelle exploitée et la culture des produits maraîchers. Par contre les variables que sont : la distance domicile-parcelle et le faible niveau des revenus agricoles justifient la non utilisation du Compost par les agriculteurs exerçant en zone urbaine et périurbaine au Cameroun.

L'estimation du modèle Logit ordonné montre que les variables : droit de propriété sur la parcelle exploitée, culture des produits maraîchers, dépenses en intrants chimiques et distance domicile parcelle expliquent la fertilisation à tous les niveaux.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de notre étude, il nous semble important de revenir sur les résultats majeurs de cette recherche.

Nous sommes partis du constat selon lequel l'urbanisation et le développement économique ont généralement pour corollaire une augmentation de la production des déchets par habitant et un accroissement des besoins alimentaires.

Cette thèse visait donc globalement à analyser les limites organisationnelles de la gestion publique des déchets solides au Cameroun et à appréhender la pertinence du compostage dans un système alternatif de gestion publique des déchets solides au Cameroun.

Plus spécifiquement, nous souhaitons en première partie de ce travail de recherche, évaluer la performance du système de gestion des déchets solides à Yaoundé et proposer un système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé d'une part. Par système de gestion alternatif nous entendons un système soucieux du développement durable (socio-économique et environnemental) de la ville de Yaoundé. D'autre part, en seconde partie, il fallait appréhender la pertinence du compostage dans le système de gestion alternatif des déchets solides au Cameroun en identifiant les caractéristiques agro-économiques des déchets organiques utilisés au Cameroun dont le compost, ainsi que leurs facteurs d'utilisation en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun.

Il ressort globalement de nos analyses qu'en 2008 en moyenne de 1700 tonnes de déchets solides étaient produits tous les jours à Yaoundé avec un taux de collecte moyen des déchets de 47% entre 1999 et 2008. L'analyse économétrique du taux de collecte révèle que le taux de croissance des quantités produites (12,73) de déchets solides à Yaoundé est largement supérieur au taux de croissance des quantités collectées (11,54); ce qui est préjudiciable sur le long terme si la situation reste inchangée. A partir d'un indicateur composite de performance d'un service public de gestion des déchets solides au Sud que nous avons construits sur la base des principes du développement durable, nous sommes arrivés à la conclusion que le service public

de gestion des déchets solides à Yaoundé est sous-performant, puisque son indice de performance est égale à 05 points sur une échelle de 10 points possibles.

Les raisons de cette sous-performance se justifient par un ensemble de contraintes institutionnelles (non prise en compte des opérations de précollecte et de compostage dans le contrat de gestion des déchets solides), financières (étroitesse de l'assiette budgétaire qui ne permet pas une collecte à l'échelle de toute la ville et un traitement complet des déchets solides collectés), techniques (matériels de collecte inadaptés et absence de plan d'urbanisation) et même contractuelles (contrat de gestion des déchets solides pas assez incomplet et sans objectifs chiffrés).

Dans l'optique de mettre en place à Yaoundé, un système de gestion des déchets solides qui prendrait en compte les préoccupations de développement durable de la ville de Yaoundé, nous avons proposé un système alternatif de gestion des déchets qui comprend les opérations de précollecte, de compostage, de collecte et de transport, d'enfouissement, de traitement des lixiviats et de biogaz. Ce système alternatif vient rompre avec le système classique actuel qui se limite aux opérations de collecte, transport et mise en décharge. Nous avons estimé l'opérationnalité de ce système alternatif à 8 760 000 000 FCFA (13 millions d'euros) soit un budget de 28967 FCFA la tonne de déchets solides mise en décharge ; ce qui est supérieur de 46% au budget actuel qui est de 15600 FCFA/t mise en décharge. Bien qu'onéreux ce système peut s'autofinancer en partie par le biais de redevances sur la précollecte et des revenus issus de la vente de d'objets recyclés, de compost et de méthane issus de la chaîne de traitement des déchets solides.

En fin d'analyse de la première partie, nous avons proposé un contrat type (explicite et incomplet) de gestion des DS qui définit précisément l'objet du service, l'exécution du service, les dispositions techniques et diverses.

En guise de recommandations afin d'améliorer la performance de l'organisation du service public de gestion des déchets solides au Cameroun, il faut :

- veiller à l'incomplétude du contrat de gestion des déchets pour éviter les comportements opportunistes (c'est-à-dire de veiller à écrire un contrat détaillé qui inclut des clauses d'indexation sur l'inflation ou sur le coût de fourniture et prévoit des procédures claires de révision et de recours à l'arbitrage) ;
- évaluer périodiquement le cahier des charges de l'entreprise en charge de la collecte des déchets ;
- sanctionner les pollueurs en élargissant la base fiscale de la TEOM ;
- investir dans la construction des infrastructures de gestion des DS tels que les centres de précollecte/regroupement des déchets dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des DS ;
- institutionnaliser la précollecte et le compostage afin de réduire les externalités négatives liées à l'enfouissement des déchets fermentescibles ;
- créer une redevance mensuelle sur la précollecte de 10 FCFA/jour que l'on va devra indexer sur les factures d'électricité ;
- Construire, au centre de stockage des déchets de Nkolfoulou, de nouveaux bassins de rétention de lixiviat et mettre en place des dispositifs de traitement du biogaz.

De la première partie de cette thèse, il ressort qu'il est impératif de repenser le système de gestion des déchets solides actuel afin d'en améliorer la performance.

De par les caractéristiques des déchets solides produits au Cameroun riches à 70% de matières fermentescibles ou organiques, il apparaît très rapidement que le compostage a un rôle majeur à jouer dans notre nouveau dispositif de gestion des déchets solides. En effet, non seulement il réduit les quantités de déchets fermentescibles à mettre en décharge mais il permet d'améliorer la qualité des terres agricoles.

La deuxième partie de ce travail de recherche a effectivement montré la pertinence du compostage au Cameroun.

Les agriculteurs camerounais ont recours à deux méthodes de fertilisation pour améliorer leur production agricole : la fertilisation minérale (utilisation des engrais minéraux) et/ou la fertilisation organique (utilisation des amendements organiques).

Comme amendements organiques utilisés dans les bas-fonds de Yaoundé et de Bafoussam, nos deux zones d'étude, nous distinguons les fientes et fumiers de volailles et les composts d'ordures ménagères.

L'analyse physico-chimique de ces produits organiques au laboratoire nous a permis d'apprécier la valeur fertilisante et amendante de ceux-ci. Bien que pas très riches en éléments fertilisants, la plage de variation de la part estimée de l'apport organique qui contribue à améliorer à long terme le statut organique du sol va de 01% pour les composts de façon générale à 15% pour les déjections animales et 18% pour les fumiers ; ce qui est non négligeable.

Le compost reste le produit organique le moins attractif au Cameroun. La source de cette non attractivité réside dans les procédés approximatifs de compostage qui expliquent leur faible teneur en éléments fertilisants NPK. Les niveaux de prix élevés des composts sont également l'un des motifs de rejet du compost des ordures ménagères par les agriculteurs camerounais. Nous avons pu démontrer dans cette thèse que la valeur commerciale actuelle (les prix sur le marché) du compost est largement supérieure à sa valeur marchande (prix réels équivalents éléments minéraux contenus dans les engrais chimiques traditionnels que sont l'engrais (20-10-10) et l'Urée). En effet vendu à 2500 FCFA/50 kg à Yaoundé et 1500 FCFA/50 kg à Bafoussam, la valeur marchande du compost de Yaoundé est estimée à 294 FCFA/50 kg et 590 FCFA/50 kg à Bafoussam.

Ces valeurs marchandes nous ont permis d'établir les niveaux de substitution des engrais minéraux par le compost. A Yaoundé par exemple, l'équivalence « azote » d'un sac de 50 kg d'Urée est de 144 sacs de composts, ou 19 sacs de fientes ou de fumiers. A

Bafoussam elle est de 59 sacs de composts, 26 sacs de fientes et 19 sacs de fumiers mais avec chaque fois l'avantage de fournir en plus quelques éléments fertilisants (phosphore et potassium) de plus aux plantes. Bien que les coûts relatifs à cette substitution soit élevés (13500 FCFA le sac de 50 kg d'urée contre 42236 FCFA en compost et 19 000 FCFA en poulet de chair), les gains relatifs à l'utilisation de ces amendements organiques sont surtout environnementaux (réduction des pollutions dues aux engrais minéraux) mais également agronomique (amélioration de la qualité des sols).

Pour rendre le compost compétitif par apport à l'engrais, il faut agir à augmenter la valeur fertilisante et la valeur amendante du compost (en réalisant un vrai compostage avec phase exothermique) et éviter la pollution par de la terre.

Cette possible substitution (et même la complémentarité) des engrais minéraux aux amendements organiques ne peut se faire que si un marché existe. Or les conditions d'existence initiale d'existence d'un marché reposent sur l'offre et la demande. Si le problème d'offre ne se pose pas vu le gisement important de déchets solides produits au Cameroun (en moyenne 12000 tonnes par jour), le problème peut se poser du côté de la demande ; puisqu'il faut que les amendements organiques offerts soient acceptés et utilisés par les agriculteurs.

Sur un échantillon représentatif de 288 exploitants, seulement 36% des exploitants enquêtés ont recours au compost. 41% de ces agriculteurs utilisent exclusivement les engrais minéraux, 21% utilisent de façon combinée le compost et les engrais minéraux et 15% exclusivement le compost. Cependant 23% des agriculteurs exerçant en zone urbaine et périurbaine n'ont recours à aucun type de fertilisants.

Il ressort des estimations du modèle Logit binomial que les variables qui influencent positivement la probabilité d'utiliser le compost sont : l'appartenance à une association paysanne, le droit de propriété sur la parcelle exploitée et la culture des produits maraîchers. Par contre les variables que sont : la distance domicile-parcelle et le faible niveau des revenus agricoles justifient la non utilisation du Compost par les agriculteurs exerçant en zone urbaine et périurbaine au Cameroun.

L'estimation du modèle Logit ordonné montre que les variables : droit de propriété sur la parcelle exploitée, culture des produits maraîchers, dépenses en intrants chimiques et distance domicile parcelle expliquent la fertilisation à tous les niveaux. Alors que le niveau d'éducation explique l'utilisation exclusive des engrais minéraux, il influence négativement l'utilisation combinée du compost et des engrais minéraux. Par contre, un niveau de revenu agricole élevé explique l'utilisation combinée des fertilisants agricoles au Cameroun.

A la lumière des résultats de nos analyses économétriques, les « variables de contrôle » qui peuvent servir de formulation de recommandations de politiques économiques afin d'une part de favoriser l'utilisation des déchets recyclés sont : l'appartenance à une association paysanne (GIC), le droit de propriété sur la parcelle exploitée (PROP), la culture des produits maraîchers (PCULT) et la distance domicile-parcelle (DIST).

- L'appartenance à une association paysanne

Les associations paysannes ont un rôle de sensibilisation et de formation indiscutable. C'est également un moyen d'atteindre le plus grand nombre d'agriculteurs. Car il est toujours plus efficace de se mettre ensemble pour défendre ses droits et pour s'entraider. Hélas depuis que l'Etat camerounais a arrêté, dans les années 1990, la distribution des semences sélectionnées et les activités de vulgarisation de nouvelles techniques agricoles, moins de 40% d'agriculteurs fréquentent encore les milieux associatifs paysans au Cameroun puisque ces associations n'apportent plus de réponses à leurs soucis permanents de productivité et de rentabilité. Il est donc indispensable de promouvoir le regroupement des agriculteurs en organisant de nouveau des séances de vulgarisation et de formation aux techniques de production agricole « propres et nouvelles » tels que l'utilisation efficace du compost.

- Le droit de propriété

Contrairement aux engrais minéraux qui agissent rapidement sur les plantes, le compost agit lentement et contribue d'avantage à améliorer la qualité des sols que de nourrir directement la plante. Ce pouvoir amendant du compost se fait beaucoup plus

sur la durée. Seuls donc les propriétaires des parcelles peuvent prendre facilement l'initiative de les utiliser en importante quantité puisqu'ils ne sont pas tenus par des contraintes liés à la location des parcelles. Il s'agit donc pour l'Etat d'alléger les conditions d'acquisition des titres fonciers qui coutent souvent chers et ne motivent pas les agriculteurs pauvres. Il est aussi important de souligner que l'agriculture urbaine et périurbaine se pratique surtout dans les bas-fonds marécageux des grandes villes au Cameroun. Or ce sont des zones qui relèvent du domaine national et sont donc susceptibles de déguerpissement à tout moment.

Cette crainte ne motive pas les agriculteurs à se lancer dans l'utilisation du compost puisqu'ils risquent en permanence d'être expulsés. Dans la mise en place du plan général d'urbanisation de la ville, l'Etat camerounais doit définir clairement les zones susceptibles d'être exploitées par les agriculteurs sans risque d'être déguerpis. Vu le rôle majeur que joue l'agriculture dans le ravitaillement des marchés urbains dans un contexte de forte urbanisation, il est urgent de se pencher sur la question le plus rapidement possible.

- La pratique des cultures maraichères

L'estimation de nos deux modèles a montré que la culture des légumes et fruits favorise l'utilisation du compost et beaucoup moins l'utilisation combinée des deux types de fertilisants. Cela voudrait dire qu'en favorisant la production maraichère en ville, l'utilisation du compost sera de plus en plus importante puisque qu'utilisé dans de bonnes conditions, le compost expose moins les consommateurs aux risques de contamination généralement dus à l'utilisation des engrais minéraux. L'Etat doit donc encourager les agriculteurs urbains et périurbains à produire d'avantage de produits maraîchers afin de favoriser l'utilisation du compost.

- La proximité du domicile de l'exploitant de sa parcelle

Dans la plupart des études sur les facteurs d'utilisation du compost, comme c'est aussi le cas dans cette étude, un agriculteur qui ne vit pas à proximité de sa parcelle peine à utiliser le compost dans son exploitation. Ceci s'explique entre autres par le poids du

compost et les coûts de transports élevés liés à l'acheminement d'importantes quantités dans les parcelles. En effet, le compost ne produit des effets que lorsqu'il est appliqué à de doses importantes. Par exemple pour améliorer significativement les rendements agricoles sur une superficie de 500 m² au Cameroun, l'agriculteur doit y apporter 2 tonnes de compost (40 tonnes x 500 m²/10000 m²) soit 40 sacs de 50 kg de compost ; ce qui est relativement insupportable par les agriculteurs et justifie d'ailleurs en partie leur hostilité au compost. La question centrale est donc de savoir quelle stratégie mettre en place pour produire le compost à proximité des exploitations agricoles et à moindre coût pour l'agriculteur.

Une solution à ce problème consisterait à produire le compost dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des déchets, près des exploitations agricoles. Mais la faisabilité d'une telle initiative passe par la construction dans les bas-fonds inaccessibles aux camions de ramassage des déchets des centres de précollecte qui devront faciliter le tri et le compostage artisanal des déchets issus de la précollecte journalière. Les agriculteurs pourront ainsi avoir accès à un compost de qualité et à bon prix, les emplois jeunes seront créés et la pollution due aux déchets diminuerait (Sotamenou et al, 2010).

En conclusion, une gestion efficacement sociale et environnementale des déchets solides au Cameroun doit reposer sur une gouvernance participative qui intègre la municipalité, les entreprises de collecte agréées, les associations de quartiers et les ménages. Ce type d'arrangement organisationnel a montré son efficacité dans certains pays africains. En plus de sensibiliser en aval les agriculteurs urbains et périurbains et vulgariser les techniques de compostage individuel à l'échelle du ménage, la précollecte et le compostage des déchets devront être privilégiés en amont de la chaîne du système de gestion des déchets solides. Bien évidemment le traitement des lixiviats et des biogaz qui s'échappent de la décharge est une exigence majeure de l'heure du fait de la destruction des écosystèmes et du réchauffement de la planète. Ce n'est qu'à cette condition que l'on parviendra au double objectif de réduire les pollutions urbaines dues aux déchets solides et favoriser le développement de l'agriculture urbaine et périurbaine dans les bas-fonds du Cameroun.

Aspects novateurs et originalité de la thèse

Notre thèse porte sur l'économie de l'environnement et s'appuie sur une approche institutionnelle, socio-économique et agronomique afin de mieux appréhender les aspects environnementaux relatifs à la gestion des déchets solides.

D'un point de vue agronomique, notre thèse caractérise et étudie à différents niveaux les matières organiques recyclées dans les exploitations agricoles urbaines et périurbaines au Cameroun, leur pouvoir fertilisant et leur pouvoir d'amendement des sols ; c'est d'ailleurs ce qui a justifié un co-encadrement de l'UPR *Recyclage et Risque* du CIRAD. Cette thèse s'inscrit donc de par son approche environnementale et intégrée, à l'interface entre les sciences humaines, sociales et agronomiques.

Sans avoir la prétention d'avoir fait le tour des problèmes relatifs à la gestion publique des déchets solides au Cameroun, cette thèse a au moins le mérite d'être innovante. Pour la première fois dans un travail de recherche :

- un indicateur de performance du service public de gestion des déchets applicables dans les villes du Sud a été proposé ;
- un système de gestion alternatif des déchets solides au Cameroun avec les coûts associés à chaque étape du système a été proposé. Le choix de notre système ne repose pas sur son coût économique, mais sur sa compatibilité avec les préoccupations de développement socio-économique et environnementale des villes du Cameroun ;
- les déchets organiques produits en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun ont été caractérisés.

Cette thèse peut donc servir de document de base/référence pour améliorer le système de gestion publique actuel des déchets solides en Afrique en général et au Cameroun en particulier.

Limites de la thèse et perspectives de recherche

Ce travail apporte certes des éléments de réponses aux préoccupations qui étaient les nôtres au début de cette recherche, mais laisse encore deux points majeurs en suspens et de ce fait, ouvre de nouvelles perspectives de recherche.

- **Les externalités liées au système de gestion des déchets solides actuels au Cameroun n'ont pas été évaluées :**

En effet, il est possible par les méthodes propres à l'économie de l'environnement (méthode d'évaluation contingente notamment) d'évaluer monétairement les effets externes liés au système actuel de gestion des déchets solides à Yaoundé par exemple. Il s'agit d'estimer les coûts externes liés à la collecte et au transport (maladies, blessures, etc....), et au non traitement des déchets enfouis (pertes dues à la pollution des cours d'eau bordant la décharge, dépenses en soin de santé des populations environnantes, coûts externes liés aux émissions de biogaz dans la nature, etc.). Il aurait été intéressant que nous évaluions les effets externes liés au système de gestion alternatif que nous proposons. A chaque maillon du système (précollecte, compostage, collecte et transport, enfouissement, traitement) correspond des coûts et des bénéfices. Par exemple, le traitement des biogaz émis par les déchets enfouis à la décharge nécessite des coûts importants mais également, le méthane récupéré peut être vendu et utilisé comme source d'énergie.

- **Les déchets organiques utilisés en agriculture urbaine et périurbaine au Cameroun n'ont pas fait l'objet de test agronomique**

Dans cette étude, nous avons identifié les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des déchets organiques disponibles au Cameroun ; ce qui nous a permis d'évaluer leur valeur marchande et d'établir les équivalences engrais. Nous avons également identifié les variables socio-économiques et techniques qui influencent leur utilisation dans les bas-fonds. Mais ces produits organiques méritent d'être testés sur le plan agronomique. Des analyses au champ nous renseigneront d'avantage sur les dosages à l'unité et spécifiques aux cultures les plus pratiquées au Cameroun.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achankeng E. 2003. Globalisation, urbanisation and municipal solid waste management in Africa. In *Proc ASAAP: Africa on a global stage*.
- Ackello-Ogututu, 1985. Testing a Von Liebig crop response function against polynomial specifications. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 64, N° 4, pp. 873-880.
- ADEME, 1994. Les déchets en chiffres. *Données et références*, 1994. 146p.
- ADEME, 1999. Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe. *Paris, Coll. Données et Références*. 156 p.
- ADEME, 2001. Rapport annuel sur les prix et la qualité du service public d'élimination des déchets. *Guide de mise en oeuvre*. 2003, *Premier bilan*, Paris.
- ADEME, 2005. La tarification des ordures ménagères liée à la Quantité de déchets : enseignements des Expériences européennes et perspectives pour la France. Janvier 2005, 53p.
- Adesina A. A., Johnson D.E., Heinrichs E.A., 1994. Rice Farmers' Adoption of Chemical Pest Control Technology in Côte D'ivoire: Logit Analysis. *Agricultural Economics*, Elsevier Science Publisher.
- Adesina A.A. & Zinnah M.M., 1993. Technology Characteristics, Farmers' Perceptions and Adoption Decisions: A Tobit Model Application in Sierra Leone. *Agricultural Economics* 9: 297-311.
- Adesina A.A., Mbila D., Nkamleu G.B., Endamana D. 2000. Econometric analysis of the determinants of adoption of alley farming by farmers in the forest zone of Southwest Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 158: 1-11.
- AFNOR, 2006. *Qualité des sols, méthodes de prélèvement d'échantillon de terre*. Norme Française Homologuée. 80p.

- Agdag N. O., 2008. Comparison of old and new municipal solid waste management systems in Denizli, Turkey. *Waste Management*, 2008, (in press)
- AGRO PME ERA, 2000. Evaluation du ramassage des ordures ménagères dans la ville de Yaoundé par HYSACAM, Rapport final. Communauté Urbaine de Yaoundé, décembre 2000. 73 pages.
- Ahmed A.S. & Ali M., 2006. People as partners: Facilitating people's participation in public-private partnerships for solid waste management. *Habitat International* 30 (2006). pp. 781-796
- Akerlof G., 1970. The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism. *Quarterly Journal of Economics*, 1970, n°84, pp. 488-500
- Akinbamijo O. O., Adediran S. A., Nouala S., Fall S. T. & Smith O. B., 2002. Useful wastes in urban agriculture for crop-livestock systems. In Akinbamijo, O. O., Fall, S. T., Smith, O. B. (eds) 2002. *Advances in crop-livestock integration in west Africa cities*, Grafisch Bedrijf ponsen and looijen, the Netherlands. P. 53-68 , 2002.
- Alavalapati J.R., Luckert M.K., Gill D.S., 1995. Adoption of Agroforestry Practices: a Case Study From Andhra Pradesh, India. *Agroforestry systems*, Kluwer academic Publishers.
- Aloueimine S.O., 2006. *Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision*. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 195p.
- Aloueimine S.O., Matejka G., Zurbrugg C. & Sidi Mohamed M.E.O., 2005. Caractérisation des ordures ménagères a Nouakchott – Partie 1: méthode d'échantillonnage. *Déchets Sciences et Techniques* – Soumis.

- Amadji G.L., 2008. Valorisation des ordures ménagères par la production du chou pommé sur sol sableux du littoral, Benin. In Parrot L. (ed.), Njoya A. (ed.), Temple L. (ed.), Assogba-Komlan F. (ed.), Kahane R. (ed.), Ba Diao M. (ed.), Havard M. (ed.). 2008. *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Environnement et enjeux sanitaires*. Paris: L' Harmattan, 203 p.
- Ambus P., Kure L.K, Jensen E.S., 2002. Gross N transformation rates after application of household compost or domestic sewage sludge to agricultural soil. *Agronomie*, 22:723-730.
- Amemiya T., 1981. Qualitative Response Models: A survey. *Journal of Economic Literature*. Vol. 19, N°4, pp. 1483-1536, University of California.
- Arinola O.G. & Arinola A.M., 1995. Solid waste in urban and rural areas of Ibadan, Nigeria: composition, treatment and public health concerns. *Compost Science & Utilization* 3 (3): 80-83.
- Asomani-Boateng R. & Haight M., 1999. Reusing organic solid waste in urban farming in African cities: A challenge for urban planners. In *Agriculture Urbaine en Afrique de l'Ouest. Une contribution à la sécurité alimentaire et à l'assainissement des villes*. (Ed). Olanrewaju B. Smith, CRDI/CTA, 1999, 240p
- Asomani-Boateng R., Haight M., Furedy C., 1996. Community composting in west Africa. *Biocycle* 38 (01): 70-71.
- Aubry C., Paillat J.M. & Guerrin F. 2006. A conceptual representation of animal waste management at the farm scale: The case of the Reunion Island. *Agricultural Systems* 88 (2006) 294–315
- Bah R.D., 2009. *Du partenariat public-privé à la gouvernance participative : cas du secteur des déchets ménagers dans la ville d'Abidjan, Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat, Université de Versailles, Paris, France, octobre 2009

- Baidu-Forson J., Waliya F. & Ntare B.R., 1997. Farmer Preferences for Socioeconomic and Technical Interventions in Groundnut Production System in Niger: Conjoint and Ordered Probit Analyses. *Agricultural Systems*, Vol. 54, No. 4
- Bamire A.S., Fabiyi Y.L. & Manyong V.M., 2002. Adoption pattern of fertilizer technology amount farmers in the ecological zones of South Western Nigeria: a Tobit analysis. *Australian Journal of agricultural Research* (53): 901 – 910.
- Bartone C.R, Leith L., Triche T. & Schertenleid R. 1991. Private Sector Participation in Municipal Solid Waste Service: Experiences in Latin America. *Waste Management and Research* 9: 495-509.
- Baud I, Grafakos S, Hordijk M, Post J., 2001. Quality of life and alliances in solid waste management: Contributions to urban sustainable development. *Cities* 2001; 18 (1):3–12.
- Baumol W.J, Panzer J. & Willig R.D., 1986. *Contestable Markets and Theory of the Industrial Structure*. Harcourt Brace and Jovanovitch Publishers, San Diego, 538p.
- Baumol W.J., 1972. On Taxation and the Control of Externalities. *American Economic Review*, 62 (3), 307-22.
- Bazzoffi P., Pellegrini S, Rocchini A., Morandini M., Grasselli O. 1998. The effect of urban refuses compost and different tractors tyres on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil Tillage Res.*, 48:275-286.
- Beck-Friis B., Smars S., Jonsson H., Kirchmann H. 2001. Structures and Environment: Gaseous Emissions of Carbon Dioxide, Ammonia and Nitrous Oxide from Organic Household Waste in a Compost Reactor under Different Temperature Regimes. *Journal of Agricultural Engineering Research* 78, 423-430.
- Begnaud B., Bergey J.L., Leconte J., Fouilly B. & Cadillon M., 1990. Solutions nationales au Maroc. Le transformeur. *Magazine de l'Agence nationale pour la récupération et l'élimination des déchets* 4: 20-21.

- Bernrath W., 1998. Le Nouveau Management Public : concept, situation en Wallonie, quelques réflexions, visions et conclusions opérationnelles. *Revue OSF*, n°97, Bruxelles, p.92-110.
- Berry, D. 2001. Amendements organiques: recherche stabilité obstinément. *INfos-Ctifl*, 170.
- Bertolini G. 2008. Service public local des déchets ménagers. A la recherche d'indicateurs de performance. *Développement durable et territoires [En ligne]*, Points de vue, mis en ligne le 31 mars 2008, Consulté le 19 novembre 2009.
- Bertolini G., 1990. *Le marché des ordures – Economie et gestion des déchets ménagers* L'harmattan, Paris, 206p
- Beture Environnement, 2001. *Projet Déchets urbains - Egypte*. Paris, France.
- Bodiguel M., 1975. *Les paysans face aux progrès*. Presse de la Fondation Nationale Des Sciences Politiques, Paris.
- Bolaane B. & Ali M., 2004. Sampling household waste at source: Lessons learnt in Gaborone. *Waste Management & Research*, 22, 142–148.
- Bopda A, 2008. A century of urban agriculture in Yaounde (1895 – 2005). In Parrot L. (ed.), Njoya A. (ed.), Temple L. (ed.), Assogba-Komlan F. (ed.), Kahane R. (ed.), Ba Diao M. (ed.), Havard M. (ed.). 2008. *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Gouvernance et Approvisionnement des villes*. Paris: L' Harmattan, 264 p.
- Bopda A., 2003. *Yaoundé et le défi camerounais de l'intégration. A quoi sert une capitale d'Afrique tropicale ?* CNRS Editions, Paris, 420p
- Boulangier P.M., 2004. Les indicateurs de développement durable :un défi scientifique, un enjeu démocratique, *Les séminaires de l'Iddri*, n° 12 Institut pour un développement durable, Belgique, 1 Juillet 2004

- Boussard J.M., 1987. *Economie de l'agriculture*. Paris, Economica
- Bovea M.D., Powell J.C., Gallardo A., Capuz-Rizo S.F., 2007. The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system. *Waste Management* 27(4), 545-553.
- Boyer M., Patry M., Tremblay P.J., 1999. *La gestion déléguée de l'eau: les enjeux*. CIRANO, Ecole Polytechnique de Montréal. 60 p
- Boyer M., Patry M., Tremblay P.J., 2001. *La gestion déléguée de l'eau: les options*. CIRANO, Ecole Polytechnique de Montréal. 53 p
- Bresson L.M., Koch C., Le Bissonnais Y., Barriuso E., Lecomte V., 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. *Soil Sci.Soc.Am J.*, 65:1804-1811.
- Brula P., Naquin P., Perrodin Y. 1995. Etude bibliographique des rejets des différentes techniques de traitement des résidus urbains. *Ademe / Polden*. 36 p.
- Buchanan J.M & Tollison R., 1972. *Theory of Public Choice: Political application of Economics*. The University of Chicago Press.
- Bustamante M.A., Parede C.S, Moral R., Agulló E., Pérez-Murcia M.D., Abad M., 2008. Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resources, Conservation and Recycling* 52: 792-799
- Chabalier P.F., Van de Kerchove V., Saint Macary H., 2006. *Guide de la fertilisation organique à la Reunion*. CIRAD, 304p. www.reunion.chambagri.fr
- Chalmin P. & Gaillochet C., 2009. *Du rare à l'infini, Panorama des déchets 2009*. Economica, 2009

- Chalot F., 2004. *De l'amont vers l'aval : l'émergence d'une filière de gestion des déchets adaptée aux villes africaines. Synthèse et analyse des actions relatives aux déchets.* In *Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain*. Mars 2004, pp. 45-69.
- Chang N.B., Schuler, R.E., Shoemaker, C.A., 1993. Environmental and economic optimization of an integrated solid waste management system. *Journal of Resource Management and Technology* 21, 87–100.
- Charnay F., 2005. *Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost.* Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 277p
- Chow G.C., 1960. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica* 28:591-605, 1960
- Cimmyt, 1993. *The adoption of agricultural technology: A guide of survey design.* Mexico, D. F. CYMMIT.
- CIPCRE, 1997. *Projet pilote de compostage des ordures ménagères dans la ville de Bafoussam : Rapport d'exécution.* p 70.
- CIPRE, 2002. *L'Agriculture Urbaine et Périurbaine à Yaoundé au Cameroun, situation d'une activité montante controversée.* Tome 1, 57 p.
- Coase R., 1937. *The Nature of the Firm.* *Economica*.
- Coase R., 1960, 1992 (traductions Françaises). *Le problème du coût social.* *Revue Française d'Economie*.
- Coase R., 1988. *The Firm, the Market and the Law.* Chicago, University of Chicago Press, Chicago, 217 p.

- Cofie O., Abraham E.M., Olaleye A.O., Larbi T. 2008. Recycling human excreta for urban and periurban agriculture in Ghana. In Parrot L. (ed.), Njoya A. (ed.), Temple L. (ed.), Assogba-Komlan F. (ed.), Kahane R. (ed.), Ba Diao M. (ed.), Havard M. (ed.). 2008. *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Environnement et enjeux sanitaires*. Paris: L' Harmattan, 203 p.
- CoHort Software, 2007. CoStat. Monterey, California. <http://www.cohort.com>
- Cointreau-Levine S., 1982. Environmental Management of Urban Solid Wastes in Developing Countries. *Urban Development Technical Paper no.5*. The World Bank, Washington DC.
- Cointreau-Levine S., 1996. Systèmes de gestion des déchets solides financièrement durables. In *Déchets solides en milieu urbain d'Afrique de l'Ouest et Centrale - Vers une gestion durable*. 14-16 février 1996, Abidjan, Côte d'Ivoire. 29-34.
- Cointreau-Levine S., Gunnerson, C.G., Huls, J.M., Seldman, N.N., 1984. Recycling from Municipal Refuse: A State of the Art Review and Annotated Bibliography. *World Bank Technical Paper No. 30*. The World Bank, Washington, DC.
- Cointreau-Levine S.J. & De Kadt, M. 1991. Living with Garbage: Cities Learn to Recycle. *Development Forum*, Jan-Febr: 12-13.
- Dahlman C.J., 1979. The problem of externality. *The journal of Law and Economics*. Vol. XXII, 1, pp. 141-162.
- Dales J.H., 1968. *Pollution, Property and Prices*. Toronto, Ontario, University of Toronto Press.
- Damien A., 2004. *Guide du traitement des déchets, 3ème édition*. Paris, France, 431p.
- Damodaran N., Robinson A., David E., Kalas-Adams N., 2003. Urban solid waste generation and management in India. In *Ninth International waste management and Landfill Symposium*. 6-10 October 2003, Cagliari, Italy.

- Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA Editions, Paris, 383p.
- Dayal G., Yadav A., Singh R.P., Upadhyay, R., 1993. Impact of Climatic Conditions and Socio-Economic Status on Solid Waste Characteristics: A Case Study. *The Science of the Total Environment* 136, 143–153.
- De Groote R., 1955. Essais récents de l'utilisation en Belgique du compost des villes en horticulture, en culture maraîchère et en agriculture. *Hydrologie, XVII*, 1955
- De Kock R., 1987. The garbage scavengers: Picking up the pieces. *Indicator SA* 4(3), 51–55.
- De la Laurencie T., 2002. Réflexion concertée pour une gestion intégrée de la propreté entre population, puissance publique et opérateur privé : le cas de Fès. *Rapport final, PDM, PSEAU* , 48p
- Defeuilley C., 1996. *Le service public au défi de l'efficacité économique. Les contrats de délégation dans la gestion des déchets ménagers*. Thèse de Doctorat de Sciences Economiques, Université Paris VII.
- Deguenon E., 2008. Problématique foncière et développement de l'agriculture urbaine à Cotonou et ses environs. In Parrot L. (ed.), Njoya A. (ed.), Temple L. (ed.), Assogba-Komlan F. (ed.), Kahane R. (ed.), Ba Diao M. (ed.), Havard M. (ed.). 2008. *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Gouvernance et Approvisionnement des villes*. Paris: L' Harmattan, 264 p.
- Dey J., 1981. Gambian women: unequal partners in rice development projects. *Journal of Dev. Stud.* 17 (3) : 109-122.
- Diaz L. F., 1997. Managing solid waste in marginal areas. *Biocycle* 38 (06): 52.

- Doublier G., 2003. Tri sélectif et valorisation des déchets urbains de la ville de N'djaména (Tchad). *Rapport final, PDM, PSEAU*, février 2003, 70 p.
- Drechsel P. & Kunze D., 2001. *Waste Composting for Urban and Peri-urban Agriculture - Closing the rural-urban nutrient cycle in sub-Saharan Africa*. IWMI/FAO/CABI: Wallingford, 229p.
- Drechsel P., Quansah C., Penning De Vries F., 1999. Urban and periurban Agriculture in West Africa. Characteristics, Challenges, and need for action. In Smith, B. O., 1999. *Urban Agriculture in West Africa. Contribution to food security and urban sanitation*. International Development Research Centre. P. 19-40.
- Duane F., 2004. Using Compost to Reduce Irrigation Costs. *Biocycle*, 45 (12): 33-55.
- EAMAU, 2003. Opportunités et contraintes de la gestion des déchets à Lomé : Les dépotoirs intermédiaires (Togo). *Rapport final, PDM, PSEAU*, 54 p. + Annexes.
- Ebot Manga V., Tening Forton O., Read A.D. 2008. Waste management in Cameroon: A new policy perspective? *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2008) 592–600
- Eicher C.K. & Baker D.C., 1984. *Etude critique de la recherche sur le développement agricole en Afrique Sub-Saharienne*. IDRC, Canada.
- Eklind Y. & Kirchmann H., 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. *Bioresource Technology*, 74:115-124.
- El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W. & Alayli B., 2002. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management* 22: 269-282.
- Erich M. S., Fitzgerald C.B., Porter G.A., 2002. The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 88:79-88.

- Eriksen G.N, Coaleand F.J., Bollero G.A., 1999. Soil nitrogen dynamics and maize production in municipal solid waste amended soil. *Agron. J.*, 91:1009-1016.
- Ezz A.E., 2003. Growth of the environment market of Egypt - Profitable compliance, the carrot not Stick. *EnviroEgypt*: 14.
- Falusi A.O., 1975. Application of Multi-variate Progit to Fertilizer Use Decision: Sample Durvey of Farmers In Three States in Nigeria. *Journal of Rural Economie and Development*, vol. 9, n° 1, PP. 49-66.
- Famhy T. 2000. Add. In Excel XLSTAT version 4.4 <http://www.xlstat.com>
- FAO, 1996. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Les dimensions macroéconomiques de la sécurité alimentaire. *Documents de travail de l'économie agricole et du développement*. 1996
- FARA, 2006. Cadre pour la productivité agricole en Afrique / Framework for African Agricultural Productivity. *Forum Africain pour la recherche Agronomique Accra, Ghana*. 72 pp.
- Farinet J.L. & Niang S., 2004. Le recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine. In *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et méthodes*. Ed.
- Faucheux S. & Noël J.F., 1995. *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*. Paris, Armand Colin.
- Feder G., Just R.E. & Zilberman, D., 1985. Adoption of Innovations in developing countries: A survey. *Economic development and Cultural change*, 33 (1985): 255-98.
- Follea V., Brunet F., Benrabia N., Bourzai M.P., Faucompre P., 2001. *Revue comparative des modes de gestion des déchets urbains adoptés dans différents pays de la ZSP*. Agence française du Développement. Octobre 2001.

- Foster H.L., 1978. The influence of soil fertility on crop performance in Ouganda. *Tropical Agriculture* (Trinidad), Vol. 55, July 1978.
- Franco C., 2003. *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents*. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 296 p.
- Franco C., Houot S., Lineres M., 1999. Relationship between characteristics of various urban composts and their effects on nitrogen availability in Soils. *International Composting Symposium. September 19-23, 1999. Halifax/Dartmouth, Nova scotia, Canada*.
- Fritz I., 1992. *Traitement des déchets solides de la ville de Yaoundé: récupération, recyclage et compostage*. Mémoire de DEA, ENSP, Yaoundé.
- Furedy C, Maclaren V., Whitney J., 2000. Réutilisation des matières organiques pour la production alimentaire dans les villes asiatiques: perspectives sanitaires et économiques. In *Armer les villes contre la faim. Systèmes alimentaires urbains durables*. CRDI, 2000, 260p
- Furedy C. 1994. One World of Waste: Should Countries Like India Deal With Solid Waste Problems Through Source Separation ?". In: Elliot Tepper and Johan Wood (eds). *Enriched by South Asia: Celebrating 25 years of South Asian Studies in Canada, (Volume Two)*. 89-106. Canadian Asian Studies Association, Montreal:
- Furedy C., 1984. Survival strategies of the urban poor-Scavenging and recuperation in Calcutta. *Geo-Journal*, 8(2), 129–136.
- Ganry F., Feller C., Harmand J.M., Guibert H., 2001. Management of soil organic matter in semiarid Africa for annual cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 105–118, 2001

- Garce C., Lafuente A., Pedraja M., Rivera P., 2002. Urban waste recycling behaviour: Antecedents of participation in a selective collection program. *Environmental Management* 30(3), 378–390.
- Gidman P.C., 1995. Public - Private Partnerships in Urban Infrastructure Services. *Habitat Working Paper No. 4*. Urban Management Program, UNDP/UNCHS. The World Bank, Washington DC.
- Gillet R., 1985. *Traité de gestion des déchets solides et son application aux PVD*. Vol.1, Copenhague 1985.
- Gillis M., Perkins D.H., Roemer M., 1990. *Economie Du Développement*. Bruxelles, Nouveaux Horizons 1990; 734p.
- Glachant M., 2004. *Les instruments de la politique environnementale*. CERNA, Ecole des Mines de Paris: 65.
- Gockowski J. & Ndoumbe M., 2004. The adoption of intensive monocrop horticulture in Southern Cameroon. *Agricultural Economics journal* 2002, vol. 30, p.195-202.
- Gohin A. & Chantreuil F., 1999. La programmation mathématique positive dans les modèles d'exploitation agricole : Principes et importance du calibrage. *Cahiers d'économie et sociologie rurales*. n°52, pp. 59-78 (1 p.3/4)
- Gonzalez D.C.C., 1998. Composting has promising future in Mexico. *Biocycle* 39 (12): 76-77.
- Gourieroux C., 1989. *Econométrie Des Variables Qualitatives*. 2e Edition. Economica, Paris, 1989.
- Greene W., 1984. *Encyclopédie d'Economie*. Economica
- Guérin-Schneider L. & Nakhla M., 2003. Les indicateurs de performance : une évolution clef dans la gestion et la régulation des services d'eau et d'assainissement. *FLUX* 2003/2-3, N° 52, p. 55-68.

- Guérin-Schneider L., 2002. L'intérêt des indicateurs de performance dans la fourniture des services d'eau et d'assainissement. *Colloque SHF Paris, septembre 2002.*
- Gunter D., 1996. En point de mire. Répondre aux besoins alimentaires dans le monde du 21^{ème} siècle : défis et nouveau centre d'intérêt. CTA. 10 p.
- Hafid N., El Hadek M., Lguirati A. & Bouamrane A., 2002. Evaluation d'une filière simplifiée de compostage des ordures ménagères. *Déchets Sciences et Techniques*, 25:13-17.
- Hansen T., Bhandar G., Christensen T., Bruun S., Jensen L., 2006. Life cycle modeling of environmental impacts of application of processed organic municipal solid waste on agricultural land (EASEWASTE). *Waste Management Resource*. 124, 153–166.
- Hargreaves J.C., Adl M.S., Warman P.R., 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123 (2008) 1–14
- Harris F., 1996. Intensification of agriculture in semi-arid areas: lessons from the Kano Close-Settled Zone, Nigeria. *Gatekeeper Series 59*. London, UK, International Institute for Environment and Development, London.
- Harvey J. & Sauvageau C., 2006. Combat ultime entre le compost et le fumier. *Expo-Journal, Rapport interne, Programme des Sciences de la nature*, Cégep de Saint-Félicien, Saint-Félicien, 9 pages
- Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cherif M., Boudabous A., 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology* 80: 217- 225.
- He Y., Inamori Y., Mizuochi M., Kong H., Iwami N., Sun T. 2000. Measurements of N₂O and CH₄ from the aerated composting of food waste. *The Science of The Total Environment* 254, 65-74.

- Hebette A. 1996. *Guide pratique de la gestion des déchets solides urbains en Afrique Subsaharienne*. Luxembourg, Lux-Development, 149p.
- Heduit M., 1993. *La filière biogaz dans les pays en voie de développement*. Institut de l’Energie des Pays ayant en commun l’usage du Français (IEPF), Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACTT). Québec - Canada : Collection Études et Filières, oct. 1993, 82 p.
- Helmore K. & Ratta A., 1995. The surprising yields of urban agriculture. In *Choices*. PNUD. New York.
- Henning J., 1997. Cities Feeding People: an overview. Prepared for IDRC Development Forum “*Cities Feeding People, a growth Industry*”. Ottawa.
- Hnatukova P., Benesova L., Cernig B., Kotoulova Z., 2008. Changes in MSW composition in the Czech Republic in period from 1998 and 2008. Charles University in Prague.
- Hodge G. A., 2000. *Privatization. An International Review of Performance*. Monash University Press, Melbourne, Australia.
- Houot S., 2005. Recyclage de déchets sur les sols : valeur agronomique et impacts environnementaux. In : Girard MC, Walter C., Rémy JC, Berthelin J et Morel JL (eds) *Sols et Environnement* (chap 11). Dunod, Paris, pp 262-284
- Houot S., Francou C., Lineres M., Le Villio M., 2002. Gestion de la maturité des composts : conséquence sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote - seconde partie-. *Echo MO* 35: 3-4.
- Houthakker H.S., 1950. Revealed preference and the utility function. *Economica* (New Series), 17, 159-174.

- Huysman M. & Baud I., 1994. Solid waste recovery, reuse and recycling: formal and informal aspects of production and employment in Indian cities. In Isa Baud and Hans Huysman (eds) *Solid Waste Management: Modes, Assessments, Appraisals and Linkages in Bangalore*, Manohar Publishers, New Delhi
- Iglesias-Jimenez E. & Alvarez C., 1993. Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biol. Fert. Soils* 16, 313–318.
- IITA, 2002. Market survey for vegetables biopesticides in Ghana and Benin: assessment of the farmer's and consumer's perceptions and willingness to pay for biopesticides and organic vegetables. *First output, September-October 2002, IITA-DFID*, 25p.
- INS, 2002. Enquête sur le cadre de vie des populations de Yaoundé et de Douala (CAVIE). *République du Cameroun. INS*. 119p.
- ITAB, 2001. *Guide des matières organiques*. Tome 2, 91p.
- Ivens U.I., Ebbeløj N.E., Poulsen O.M., Skov T., 1997. Season, equipment, and job function related to gastrointestinal problems in waste collectors. *Occup. Environ. Med.* 54, 861-867.
- Ivens U.I., Lassen J.H., Kaltoft B.S., Skov T., 1998. Injuries among domestic waste collectors. *Am. J. Ind. Med.* 33, 182-189.
- Jacobs J., 1969. *The economy of cities*. Vintage, New York
- Jakobsen S., 1995. Aerobic decomposition of organic wastes. Value of compost as fertilizer. *Resources Conservation Recycling*. 13, 57–71.
- Jaza Folefack A.J., 2005. *The use of compost from household waste in agriculture: economic and environmental analysis in Cameroon*. Ph.D. dissertation. *Farming and Rural Systems Economics* 73: 1-246. Margraf Publishers, Weikersheim, Germany.

- Jaza Folefack A.J., 2007. The use of compost for the cultivation of foodstuff crops and vegetables in the villages surrounding Yaoundé (Cameroon): descriptive and production function approaches of analysis. *Quarterly Journal of International Agriculture* 46 (2007), No. 3: 221-239
- Jaza Folefack A.J., 2008. Factors influencing the use of compost from household waste in the centre province of Cameroon. *Journal of Human Ecology*, 24 (2): 77 - 83
- Jaza Folefack A.J., 2009. The Substitution of Mineral Fertilizers by Compost from Household Waste in Cameroon: Economic Analysis with a Partial Equilibrium Model. *Journal of Waste Management & Research* 27 (3):207-223.
- Jensen M. & Meckling W.H., 1976. Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure. *Journal of Financial Economics*, (3) october, p. 48
- Johnston J., 1985. *Méthodes Économétriques*. Tome 1 et 2. 3^{ème} édition. Economica, Paris.
- Kaboré P.D., 1988. *Analyse Economique de la gestion de la fertilité des sols au Burkina-Faso*. Thèse de Doctorat, CIREC, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Kapepula K., 2006. *Contribution à l'amélioration de la gestion des déchets ménagers solides dans les villes des pays en développement. Le cas de Dakar au Sénégal*. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique.
- Kapepula K., Colson G., Sabri K., Thonart P. 2007. A multiple criteria analysis for household solid waste management in the urban community of Dakar. *Waste Management* 27 (2007) 1690 – 1705
- Kassim S.M. & Ali M., 2006. Solid waste collection by the private sector: Households' perspective - Findings from a study in Dar es Salaam city, Tanzania. *Habitat International*, 30 (2006) 769–780.
- Kathirvale S., Yunus M.N.M., Sopian K. & Samsuddin A.H., 2003. Energy potential from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable Energy* 29: 559-567.

- Kebede Y., Gunjal K., Coffin G., 1990. Adoption Of New Technologies In Ethiopian Agriculture: The Case Of Tegulet- Bulga District, Shoa Province. *Agricultural Economics*, Vol.4, N°1, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Keita M., 2003. Improving the stakeholder involvement in solid waste collection in Bamako. *CWG Workshop*, Dar es Salaam.
- Korhonen J., Okkonen L., Niutanen V., 2004. Industrial ecosystem indicators – direct and indirect effects of integrated waste- and by product management and energy production. *Clean Technologies and Environmental Policy* 6 (3), 162–173.
- Kouemo F., 2002. Synthèse des travaux de recherche et développement sur l’AUP à Yaoundé. *IRAD*, 31 p.
- Lanzer E.A. & Paris Q., 1981. A new analytical framework for the fertilisation problem. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 63, N° 1, pp. 93-102.
- Leclerc B., 2001. Recyclage des déchets organiques en agriculture biologique. Journée technique, *ITAB Rambouillet*, 8p
- Leibenstein H., 1966. *Economic Theory and Organizational Analysis*. Harper, New-York.
- Leibenstein H., 1978. On the Basic Proposition of X-Efficiency Theory. *American Economic Review*, n°68, vol.2, May, pp.328-332.
- Lekane Kembou H., Tchouamo I. R., David O., Temple, L., 2003. *Les relations maraîchage – élevage dans la récupération et la valorisation des sous-produits de l’agriculture urbaine et périurbaine: cas de la ville de Yaounde*. Mémoire d’Ingénieur Agronome, FASA.
- Lemeilleur S., 2002. Identification des systèmes de production du Bananier dans l’agriculture périurbaine au Cameroun : Cas de la zone périurbaine de Yaoundé. *Rapport de stage de deuxième année ENSAM*.

- Léonard D.C., 1990. Moyen d'Action pour l'Agriculture : les Institutions Agricoles. In Berg R.J. & Col. (Eds), *Stratégies Pour Un Nouveau Développement En Afrique*, Nouveaux Horizons, Paris 1990, 556p.
- Lévêque F., 2000. *La réglementation des externalités*. Intervention à « l'Ecole thématique sur les règles publiques » organisée par l'IEPE - Grenoble, Juillet 2000.
- Linères M. & Djakovitch J.L., 1993. *Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par analyse biochimique. Matières organiques et agriculture*. Actes des 4èmes journées du GEMAS et du 5ème forum du COMIFER. Blois, France. Ed. Decroux et Ignazi, 159-168.
- Mamo M., Rosen C.J., Halbach T.R., 1999. Nitrogen availability and leaching from soil amended with municipal solid waste compost. *Journal of Env. Qual.*, 28:1074-1082.
- Marchettini N., Ridolfi R., Rustici M., 2007. An environmental analysis for comparing waste management options and strategies. *Waste Management* 27 (2007) 562–571.
- Marquis S., 2005. *Diagnostic agraire du village Nkolondom dans la zone de Yaoundé*. Mémoire CNEARC, Montpellier, France, 75p.
- Masocha M., 2006. Informal waste harvesting in Victoria Falls town, Zimbabwe: Socio-economic benefits. *Habitat International* 30 (2006) 838–848.
- Matejka G., De Las Heras F., Klein A., Paquetteau F., Barbier J. & Keke A., 2001. Composting of municipal solid waste in Labé (Guinea): Process optimisation and agronomic development. In *Eight International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. 451- 457.
- Mathieu-Makkaoui R. 2009. *Réflexion sur les formes d'action collective et la gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement*. Thèse de Doctorat, Université Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 283 p.

- Matlon P.J. 1994. Indigenous land use systems and investments in soil fertility in Burkina Faso. pp. 41–69. In: Bruce J.W. & Migot-Adholla S.E. (eds). *Searching for Land Tenure Security in Africa*. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, Iowa, USA.
- Maystre L.Y. & Viret F., 1995. A goal-oriented characterization of urban waste. *Waste Management and Research* 13 (3), 207.
- Mbogning J.B., 2000. *Effet de la fumure organique et minérale sur la croissance et le rendement de trois variétés de morelle noire (Solanum scabrum) à Dschang*. Mémoire d'ingénieur agronome. FASA.
- Mbuligwe S.E. & Kassenga G.R. 2002. Potential and constraints of composting domestic solid waste in developing countries: findings from a pilot scheme in Dar-es-Salaam, Tanzania. *Resources, conservation and recycling* 36(1): 45-59.
- Mbuligwe S.E., 2004. Assessment of performance of solid waste management contractors: a simple techno-social model and its application. *Waste Management* 24 (7), 739–749.
- Mc Fadden D., 1968. The Revealed Preferences of a Government Bureaucracy. *Economic Growth Project, Technical Report n° 17*, Berkeley. (Ce document a été revu et publié en 1976, dans *The Bell Journal of Economic and Management Science*).
- McDowell R.W. & Sharpley A.N. 2003. Variation of phosphorus leached from Pennsylvanian soils amended with manures, composts or organic fertilizer. *Agriculture Ecosystems and Environment*, in press.
- Meade J. E., 1952. External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation. *The Economic Journal*, Vol. 62, No. 245 pp. 54-67
- Medina M., 2003. Serving the unserved: Informal refuse collection in Mexican cities. Paper Presented at the CWG workshop on solid waste collection that benefits the urban poor, 8–14 March 2003, Dar es Salaam.

- Miller F.C., Harper E.R., Macauley B.J., 1989. Field examination of temperature and oxygen relationships in mushroom composting stacks-consideration of stack oxygenation based on utilisation and supply. *Australian J. Exp. Agri.*, 29:741-750.
- MINAGRI (Ministère de l'agriculture, Cameroun), 2003. Marché des engrais: les chiffres et grandes tendances au Cameroun. *Terres Fertiles* 3 (1): 10-19.
- Mishan E.J., 1971. Evaluation of Life and Limb : a theoretical approach. *Journal of Political Economy*. Vol.79, pp. 687-705
- Mohee R., 2002. Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius. *Resources, Conservation and Recycling* 36 (1), 33-43.
- Moldes A. & Cendon Y., 2007. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresource Technology* 98(16): 3069-3075.
- Mosler H.J., Drescher S., Zurbrugg C., Rodriguez T.C. & Miranda O.G., 2006. Formulating waste management strategies based on waste management practices of households in Santiago de Cuba, Cuba. *Habitat International* 30 (2006) 849-862
- Mougeot L., 2000. Notion de sécurité alimentaire en milieu urbain. Autosuffisance alimentaire dans les villes : l'agriculture urbaine dans les pays du Sud à l'ère de la mondialisation. In *Armer les villes contre la faim. Systèmes alimentaires durables*. CRDI, 2000, 260p
- Moustier P. & Mabaye A., 1999. *Agriculture périurbaine en Afrique Subsaharienne*. Montpellier, France, CIRAD
- Moustier P. & Pages J. 1997. Le périurbain en Afrique : une agriculture en marge ? *Economie rurale* 241 : 48-55, IRAD Yaoundé

- Mpakam H.G., Kamgang B.V., Kouam G.R., Tamo T. & Ekodeck E., 2006. L'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans les villes des pays en développement : cas de Bafoussam (Cameroun). *Vertigo (la revue électronique en sciences de l'environnement)*. Vol. 7, n°2
- Munson R.D. & Doll J.P., 1959. The economics of fertilizer use. *Crop Production Adv. Agron.*, 11, pp. 133-69
- Murray W., 1995. *La crise des déchets : les solutions traditionnelles*. Division des sciences et de la technologie. Décembre 1995
- Mustin M., 1987. *Le compost. Gestion de la matière organique*. Ed. F. Dubusc, Paris, 954p
- N'Dienor M., 2006. *Fertilité et gestion de la fertilisation dans les systèmes maraîchers périurbains des pays en développement : intérêts et limites de la valorisation agricole des déchets urbains dans ces systèmes, cas de l'agglomération d'Antananarivo (Madagascar)*. Thèse de doctorat, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, 242p + Annexes
- Navarro A., 1992. Gestion et traitement des déchets. In : *Collection Les techniques de l'ingénieur. Traités Généralités et Construction*. Section A8660 - C4260, 1992, 32 p.
- Negatu W. & Parikh A., 1999. The impact of perception and other factors on the adoption of agricultural technology in the Moret and Jiru Woreda (district) of Ethiopia. *Agricultural Economics* 21 (1999) 205±216
- Nganje M. & Tiki Manga T., 1998. *Building of national greenhouse gas (GHG) inventory. Phase 1: Survey on available data, land use change and forestry*. Ministry of Environment and Forestry. Cameroon climate change program. 21p.
- Ngapayi T. E., 1999. *Contribution à l'étude des jardins ménagers dans les Hauts plateaux de l'Ouest: Inventaire des cultures ménagères et influence de quelques facteurs physiques: cas de la ville de Dschang*. Mémoire de maîtrise en Biologie, Université de Dschang, 53p.

- Ngnikam E. & Tanawa E., 2006. *Les villes d'Afrique face à leurs déchets*. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard. 280p.
- Ngnikam E. 2000. *Evaluation environnementale et économique de systèmes de gestion des déchets solides municipaux : analyse du cas de Yaoundé au Cameroun*. Thèse de Doctorat, INSA, Lyon, France.
- Ngnikam E. 2003. Mise en place des structures de précollecte et de traitement des déchets solides urbains dans une capitale tropicale, Yaoundé (Cameroun). *Rapport final, PDM, PSEAU*, janvier 2003, 186 p. + Annexes.
- Ngnikam E., Ndoumbe N., Wethe J., 1995. Mise en place de dix compostières dans les quartiers de Yaoundé: Animation et participation de la population. *Réseau africain du compost, compte rendu de la première conférence*. Dakar, p.60.
- Ngnikam E., Riedacker A.E., Tanawa E., Wethe J., 1998. Evaluation du potentiel technique des émissions de gaz à effet de serre pour divers traitement des déchets ménagers sous les tropiques humides: application au cas de Yaoundé. *Bulletin Africain Bioressources, Energie, Développement, Environnement*, N°10, Dakar, Octobre 1998, pp. 12-24.
- Ngnikam E., Vermande P., Tanawa E., Wethe J., 1997. Une démarche intégrée pour la maîtrise de la gestion des déchets solides au Cameroun. *Déchets, Sciences et Techniques*. N° 5, pp. 22-34.
- Ngnikam E., Vermande P., Wethe J., 1995. Une méthode d'évaluation de la production des déchets dans les marchés des villes africaines : l'exemple de Douala et de Yaoundé au Cameroun. *Bulletin africain Bioressources. Énergie Développement et Environnement*, 1995, n° 4, p. 11-18.

- Ngnikam E., Wethe J., Tanawa E., Riedacker A., 1998. Composting of household waste to clean streets and increase crop yields in Yaounde: a solution for poor African cities. In John Pacione (eds). *Sustainable Agriculture for Food and Industry*. James & James (Science Publisher), William Road, London, NW1, 3ER, UK, Paper N°B
- Nguegang A.P., 2008. *L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé: Analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie*. Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 200p
- Niang S., 1996. Utilisation des eaux usées domestiques en maraîchage périurbain à Dakar, Sénégal. *Sécheresse*, 7(3), 217–223, (CRDI 900153).
- Nielsen E.M., Breum N.O., Nielsen B.H., Wurtz H., Poulsen O.M., Midtgaard U., 1997. Bioaerosol exposure in waste collection: A comparative study of the significance of collection equipment, type of waste and seasonal variation. *Ann. Occup. Hyg.* 41, 325-344.
- Nizet J. & Pichault F., 2007. *Les performances des organisations africaines. Pratiques de gestion en contexte incertain*. Postface de P.Louart, Paris, L'Harmattan, col. « Conception et dynamique des organisations ».
- Nizet J. & Pinault F. (2007). *Les performances des organisations africaines – Pratique de gestion en contexte incertain*. Editions l'Harmattan, Paris, 297 pages
- Nkamleu G.B. & Coulibaly O., 2000. Les déterminants du choix des méthodes de lutttes contre les pestes dans les plantations de cacao et café du Sud - Cameroun. *Revue Economie Rurale*, N° 259, Sept. – Oct. 2000, P. 75-85
- Nkamleu G.B., 1996. *Analyse Economique de l'utilisation des déchets urbains dans les exploitations agricoles périurbaine: Cas des ordures ménagères de Yaoundé et Bafoussam (Cameroun)*. Thèse de Doctorat, CIRES, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 163p.

- Nkamleu G.B., 2004. Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in African Agriculture. *African Development Review*, vol. 16, n°1, p. 203-222.
- Nkamleu G.B., 2007. Modeling farmer's decisions on integrated soil nutrient management in sub-Saharan Africa: A multinomial Logit analysis in Cameroon. In Bationo A., B.S. Waswa, J. Kihara, and Kimetu J. (Eds): *Advances in integrated soil fertility management in sub Saharan Africa: challenges and opportunities*, Springer, Berlin, 1091 p.
- Nkendah R. & Temple L. 2003. Pression démographique et efficacité technique des producteurs de banane plantain de l'Ouest-Cameroun. *Cahiers Agricultures*. Vol. 12, N° 5, 333-9, Septembre 2003.
- Nugent R., 2000. The Impact of Urban Agriculture on the Household and Local Economies. In *Growing Cities, Growing Food*.
- OECD, 2008. *Données sur l'environnement 2006 – 2008*. Direction de l'environnement
- Ould Tuorad M. & Ould Moulaye Z.S., 2003. Projet d'appui aux petits transporteurs des déchets solides du quartier Basra à Nouakchott (Mauritanie). *Rapport final, PDM, PSEAU*, janvier 2003, 84p.
- Padilla M., 2004. Approvisionnement alimentaire des villes Méditerranéennes et Agriculture Urbaine. In *Interfaces : agricultures et villes à l'Est et au Sud de la Méditerranée*. Ed. Nasr J et Padilla M, Delta/Ifpo, 2004: 79-94
- Palczynski R.J., 2002. Study on solid waste management options for Africa. Project Report for the *African Development Bank – Sustainable Development & Poverty Reduction Unit*. Abidjan, Côte d'Ivoire; 2002.
- Papandreou A., 1994. *Externalities and institutions*. Oxford, Clarendon Press, 1994
- Paris Q. & Howitt R.E., 1998. An analysis of Ill-Posed production problems using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics*. 80, pp. 124-138.

- Parrot L., Dongmo C., Ndoumbé M. & Poubom C. 2008. Horticulture, livelihoods, and urban transition in Africa: evidence from South-West Cameroon. *Agricultural Economics*, 39:2, pp. 245-56.
- Parrot L., Kahane, R., Nounamo L., Nantchouang A., 2006. Prospering Peri-Urban Horticulture: Evidence from South-west Cameroon between 1995 and 2004. *Acta Horticulturae*. N° 699, p. 349-56.
- Parrot L., Sotamenou J., Kamgnia Dia, B., 2009 (a). Municipal solid waste management in Africa: strategies and livelihoods in Yaounde, Cameroon. *Waste management* 29 (2009), 986 – 995.
- Parrot L., Sotamenou J., Kamgnia Dia, B., Nantchouang A. 2009 (b). Determinants of domestic waste input use in urban agriculture lowland systems in Africa. *Habitat International* 33:4, pp. 357-64.
- PDM (Partenariat pour le développement municipal), 2003. *Annuaire de la gestion des déchets solides en Afrique de l'Ouest et du Centre*. Cotonou (Bénin), février 2003, 95 p.
- Peavy H.S., Rove D.R., Tchobanoglous G., 1985. *Environmental Engineering*. McGraw Hill Publishing Company, New York, USA.
- Pichat P., 1995. *La gestion des déchets*. Évreux, Dominos Flammarion 124 pages.
- Pigou A.C., 1932. *The Economics of Welfare*, London, MacMillan, 4th edition.
- Popel F., 1955. Aperçu des procédés de compostage d'ordures Ménagères appliquées en Europe. *Hydrologie XVIII*, novembre 1955.
- Pratt J., & Zeckhauser, 1992. *Principals and Agents*. The Structure of Business, Harvard: Havard Business School Press.

- Pratt J.W. & Zeckhauser R.J., 1991. Principals and Agents: an overview. In Pratt J.W. & Zeckhauser R.J. (éds), *Principals and Agents: the structure of business*. Harvard Business School Press, Boston, pp. 1-36.
- Rahm T. & Singh R.D, 1988. Farm households in rural Burkina Faso: Some evidence on allocative and direct returns to schooling, and male-female labor productivity differentials. *World Development*, Vol 16(3): 419-424.
- Read A.D & Wilson D.C., 2003. The strategic planning guide for solid waste management—an interactive toolkit for environmentally developing countries. In: *Proceedings of the Sardinia Waste Symposium 2003*, October; 2003.
- Rees W.E., 1997. Why urban Agriculture? Notes for the IDRC Development Forum “*Cities Feeding People, a growth Industry*”, Vancouver.
- Reyburn S., 2006. *Evaluation de la contribution de l’agriculture urbaine communautaire montréalaise à l’amélioration du cadre de vie*. Thèse de PhD, Université du Québec à Montréal, 248 p.
- Ribeiro H.M., Vasconcelos E., dos Santos J.Q., 2000. Fertilization of potted geranium with municipal solid waste compost. *Bioresource Technology*, 73:247-249.
- Ripatti R. & Savolainen I., 1996. Role of energy production in the control of greenhouse gaz emission from waste managment. *Energy, Conservation and Management*, Vol. 37, n°68, pp. 1105 – 1110.
- Roberston, T. (1922). *La théorie économique de la firme*. Paris, Dalloz.
- Rogers E. M., 1983. *Diffusion of Innovations*. Third Edition. Collier MacMillan Publishers, London.
- Rotich K. H., Yonsheng Z., Jun D., 2006. Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan study. *Waste management 2006*, vol. 26, pp. 92-100.

- Roux J.C., Proust F., Clin F., 1988. Valorisation agricole des déchets ménagers de la ville de Louga (Sénégal). In *Colloque Interne ISTED*". 20 - 22/ 09/1988, Lyon. 421 - 428.
- Samuelson P., 1938. A Note on the Pure Theory of Consumers' Behaviour. *Economica*, New Series, Vol. 5, No. 17 (Feb., 1938), pp. 61-71
- Sanchez L., Diez J.A., Polo A., Roman R., 1997. Effect of timing of application of municipal solid waste compost on N availability for crops in central Spain. *Biol. Fertil. Soils*, 25:136-141.
- Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Cegarra J., 2004. Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost Science and Utilization* 12 (2), 161–168.
- Sanders J.H., Shapiro B.I., Ramaswamy S. 1996. *The Economics of Agricultural Technology in Semi-arid Sub-Saharan Africa*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Sané Y. 2002. La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution. *AJEAM / RAGÉE* 2002; Vol. 4 No. 1; 13-22
- Sangodoyin A.Y. & Olorunfemi A.I., 1996. Nutrient benefits and environmental aspects of land disposal of livestock waste. *Environmental Management and Health* 7 (1), 33–38.
- Savadogo K., Reardon T., Petiola K., 1994. Determinants of farm productivity in Burkina Faso: Implications for policy action to sustain long-term food security. *Staff paper No.94-79, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing, Michigan. USA, November 1994*
- Schilter C. 1991. *L'agriculture urbaine à Lomé*. Karthala, Paris, 334 p.
- Schumpeter J. 1935. *Théorie de l'évolution économique*. Paris: Librairie Dalloz. 371p.
- Selim A., 1989. *Lexique d'économie*. 3^{ème} édition, Dalloz, Paris.

- Serra-Wittling C., 1995. *Valorisation de composts d'ordures ménagères en protection des cultures: Influence de l'apport de composts sur le développement des maladies d'origine tellurique et le comportement de pesticides dans un sol*. Thèse de Doctorat, INA-PG, 220p.
- Shafiul A.A. & Mansoor A., 2004. Partnerships for solid waste management in developing countries: linking theories to practices. *Habitat International* 28, 467–479.
- Shamsi S. & Ahmed R., 1996. Community Participation in Urban Solid Waste Management in Karachi (Pakistan). *Case study report, Waste UWEP*, October 1996
- Sharholy M., Ahmad K., Vaishya R.C., Gupta R.D., 2007. Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India. *Waste Management*, 27 (2007) 490–496.
- Shin H.S., Hwang E.J. & Gee C.S., 1997. Food residuals management in Korea. *Biocycle* 38 (10): 69-71.
- Shultz T.W. 1975. The value of ability to deal with disequilibria. *Journal of Economic Literature* 13: 827–846.
- Smit J., 1996. Urban Agriculture, Progress and Prospect: 1975-2005. Cities Feeding People Series. Report N° 18, IDRC, “Urban Agriculture Notes. City Farmer, Canada’s Office of Urban Agriculture”, Canada.
- Smith O.B., Moustier P., Mougeot L., J.A., Fall A. 2004. *Développement durable de l’agriculture urbaine en Afrique francophone*. CIRAD, CRDI, 173 p. 2004
- Soclo H.H., Aguewe M., Adjahossou B.C., Houngue T., Azontonde A.H., 1999. Recherche de compost type et toxicité résiduelle au Bénin. *TSM* 9: 68-76.
- Sotamenou J. 2005. *Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Yaoundé au Cameroun*. Mémoire de DEA-PTCI en Economie, Université de Yaoundé II, Cameroun, 144p.

- Sotamenou J., 2006. *La décentralisation de la gestion des déchets : Pour une gestion durable des déchets solides municipaux à Yaoundé au Cameroun*. Communication présentée au Deuxième Colloque International CIDEGEF / Ville – Management sur “*La gestion démocratique des biens collectifs*». Douala, Cameroun, Novembre 2006.
- Sotamenou J., 2010_a. *The delegation of public service of solid waste management in Africa: in search of performance indicators*. Paper presented at the 9th International conference of Territorial Intelligence, «*Ecological and Social Innovation*». Strasbourg, France, November 2010.
- Sotamenou J., 2010_b. *Les déterminants de l'utilisation des déchets urbains organiques au Cameroun : Une analyse économétrique*. AERC, Final Report, Working Paper.
- Sotamenou J., Ganry F., Montange D., Parrot L., Simon S., 2010. *Transfer Stations for Sustainable Municipal Solid Waste Management in Africa: Evidence from Cameroon*. In: “*Solid Waste Management and Environmental Remediation*”. Chapter 5. Timo Faerber & Johann Herzog (eds). Nova Science Publishers, Inc.
- Sotamenou J., Parrot L., Kamgnia Dia, B. 2008. *Gestion des déchets ménagers et agriculture dans les bas-fonds de Yaounde au Cameroun*. In Parrot L. (ed.), Njoya A. (ed.), Temple L. (ed.), Assogba-Komlan F. (ed.), Kahane R. (ed.), Ba Diao M. (ed.), Havard M. (ed.). 2008. *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Environnement et enjeux sanitaires*. Paris: L' Harmattan, 203 p.
- Stavins R. N., 2004. *L'approche économique de la protection de l'environnement*. *Problèmes économiques*, N° 2863 du 24 novembre 2004.
- Ta T.T., 1998. *Pour une gestion efficiente des déchets dans les villes africaines, les mutations à conduire*. Les cahiers PDM, 59 p.
- Talpon J., 2008. *La Chine en avance*. *Le journal des énergies renouvelables*, Juillet/Août 2008: Page 42.

- Tanawa E., Djeuda Tchapnga H.B., Ngnikam E., Wethe J., 2002. La propreté urbaine dans une grande ville d'Afrique centrale : le cas de Yaoundé au Cameroun. In : Bota H., Barbier C. et Deleuil J.M. (eds) "Enjeu de la propreté urbaine", Presse Polytechniques et Universitaires Romanes, Lausanne, janvier 2002. Chapitre 8, page 123 à 141.
- Tawee S. & Ismail M., 2003. Solid waste management in Malaysia: its problems and solution. In *Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*. 6-10 Octobre 2003, Cagliari, Italy.
- Tchouamo I.R., 2000. Genre et développement des racines et tubercules. In Bell A., Muck, O. & Schuler, B.(eds). *DES/ZEL/GTZ-Foldafing Eschborn*, Annexe I.
- Tech-Dev, 2003. Maîtrise de l'amont de la filière déchets solides dans la ville de Cotonou (Bénin) Précollecte et valorisation. *Rapport final*, PDM, PSEAU, 2002, 129p
- Tejada M., Hernandez M.T., Garcia C., 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J. Environ. Qual.* 35, p. 1010 – 1017.
- Temple L. & Moustier M., 2004. Les fonctions et contraintes de l'agriculture périurbaine de quelques villes africaines (Yaoundé, Cotonou, Dakar). *Cahiers Agricultures*. Vol.13, n°1 : 15-22, Janvier – Février, 2004. *L'alimentation des villes*.
- Temple-Boyer E., 2002. *Dynamique de l'emprise spatiale et foncière de l'agriculture urbaine et périurbaine dans les bas-fonds de Yaounde*. Mémoire de DEA en Géographie, Université de Paris I UFR de Géographie, 2002.
- Tezanou J., Koulidiati J., Proust M., Sougoti M., Goudeau J.C., Kafando P., Rogaume T., 2001. *Caractérisation des déchets ménagers de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)*.

- Thuriès L., Bastianelli D., Davrieux F., Bonnal L., Oliver R., Pansu M. & Feller C. 2005. Prediction by NIRS of the composition of plant raw materials from the organic fertiliser industry and of crop residues from tropical agrosystems. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 13, 187-199
- Tini A., 2003. *La gestion des déchets solides ménagers à Niamey au Niger: Essai pour une stratégie de gestion durable*. Thèse de Doctorat, INSA, Lyon.
- Tinmaz E. & Demir I., 2006. Research on solid waste management system: to improve existing situation in Corlu town of Turkey. *Waste Management* 26 (3), 307–314.
- Tirole J., 1990. L'économie politique de la réglementation. *Revue d'analyse économique*, vol. 66, n° 3, septembre 1990
- Tirole J., 1999. Concession de services publics : quel contrat l'Etat doit-il passer pour garantir un service optimal ? *Problèmes Economiques*, 2 460 : 10-16.
- Turvey R., 1963. On Divergences between Social Cost and Private Cost. *Economica*, 30 : 309-313.
- UNEP, 1991. *Environmental Data Report 1991/92*. United Nations Environment Program. Basil Blackwell, Oxford, UK.
- UNEP, 1994. *Environmental Data Report 1993/94. A Report for the Global Environment Monitoring System*. United Nations Environment Programme. Basil Blackwell, Oxford, UK.
- UNEP, 2004. *Les enjeux du millénaire urbain*. United Nations Environment Programme.
- UNEP-IETC, 1996. *International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Management*. Osaka/Shiga, UNEP International Environmental Technology Centre.

- Vadlamudi R.Y. & Thim, H.U., 1974. Economic analysis of fertilizer trials conducted in Kenya on maize. *East African Agricultural and Forestry Journal*, Vol. 40, N° 2, PP. 189-201.
- Van Beukering P., Sehker M., Gerlagh R., Kumar V. 1999. Analysing urban solid waste in developing countries: A perspective of Bangalore, India. *CREED Working Paper No. 24*. Amsterdam.
- Van Eerd M., 1995. Gender Related Labour Market Fragmentation in the Informal Recycling Sector: A Study in Bangalore (India). *University of Amsterdam, Netherlands*.
- Van Soest P. J. & Wine R.H., 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of A.O.A.C.*, 50, 1:50-55.
- Varian H.R., 2003. *Introduction à l'analyse Microéconomique*. Nouveaux Horizons, Paris, France.
- Venkateswaran S., 1994. The Wealth of Waste: Waste Pickers, Solid Wastes and Urban Development. *Friedrich - Ebert - Stigtung*, New Delhi.
- Vermande P., 1992. Impact des ordures ménagères sur l'environnement. *Communication au séminaire : Environnement et développement urbain*. Décembre 1992, Douala Cameroun
- Waas E., 1990. Déchets urbains, déchets pluriels. *Environnement Africain* N° 29-30, vol. VIII, 1, 2, Dakar – Sénégal
- Waas E., Adjademe N., Bideaux A., 1996. *Valorisation des déchets organiques dans les quartiers populaires des villes africaines*. SKAT/Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management/Saint Galle, Suisse. 143 p.
- Waksman S.A., 1936. *Humus*. Baillière (eds), Baltimore.

- Wei Y.S., Fan Y.B., Wang M.J., Wang J.S., 2000. Composting and compost application in China. *Resources, Conservation and Recycling* 30 (2000) 277 – 300.
- Weitzman M.L., 1974. Prices Versus Quantities. *Review of Economic Studies*, 477-91.
- WHO, 1992. Our Planet, Our Health: Report of the WHO Commission on Health and the Environment. *World Health Organisation*, Geneva.
- Wiat J., 2001. Éléments indésirables dans les déchets organiques: agir sur la qualité des matières premières. In *Recyclage des déchets organiques en agriculture biologique*. Journée technique, ITAB Rambouillet, 8p
- Wicker A., 2000. Gestion des déchets. In *Statistiques pour la politique de l'environnement*. 27-28 novembre 2000, Munich.
- Williams T.O., Powell J.M., Fernandez-Rivera S. 1993. Manure utilization, drought cycles and herd dynamics in the Sahel: Implications for cropland productivity. pp. 89–113. In: Powell J.M., Fernandez-Rivera Williams T.O. and Renard C.(eds). *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of Sub-Saharan Africa, Vol. II: Technical Papers*. International Livestock Center for Africa, Addis Ababa, Ethiopia.
- Wilson D.C., Velis C., Cheeseman C., 2006. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International* 30(4), 797-808.
- Wolkowski R.P., 2003. Nitrogen management considerations for landspreading municipal solid waste compost. *J. Environ. Qual.*, 32:1844-1850.
- Woods L. E., Cole C.V., Porter L.K., Coleman D.C., 1987. Transformations of added and indigenous nitrogen in gnotobiotic soil: a comment on the priming effect. *Soil Biol.Biochem*, 19, 6:673-678.
- Xu X. & Jeffrey S.R., 1998. Efficiency and technical progress in traditional and modern agriculture: evidence from rice production in China. *Agricultural Economics* 18 (1998) 157-165

- Yang C., Chang W., Chuang H., Tsai S., Wu T., Sung F. 2001. Adverse Health Effects among Household Waste Collectors in Taiwan. *Environmental Research. Section A* 85, 195-199
- Yaya H.S., 2005. Les partenariats privé-public comme nouvelle forme de gouvernance et alternative au dirigisme étatique: ancrages théoriques et influences conceptuelles. *La Revue de l'innovation dans le secteur public*, Volume 10 (3), 2005, article numéro 1
- Yhdego M., 1991. Scavenging solid wastes in Dar es Salaam, Tanzania. *Waste Management Research* 9, 259–265.
- Youssouf S., 2002. La gestion des déchets à Abidjan : un problème récurrent et apparemment sans solution. *AJEAM/RAGÉE* 2002; Vol. 4 No. 1; 13-22
- Zahanari F., 2006. *Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets dans les pays en développement. Application à deux CSD : Nkolfoulou (Yaoundé) et Essaouira (Maroc)*. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 269 p.
- Zegeye H. 1990. The adoption of modern Farm Practices in African Agriculture: Empirical Evidence About the Impacts of Household Characteristics and Input Supply Systems in the Northern Region of Ghana. *Nyankpala Agricultural research report*.
- Zeller M., Schrieder G., Braun V., Heidhues F., 1997. Rural finance for food security for the poor: Implications for research and policy. *Food policy Review* n°4, IFPRI, Washington DC.
- Zhang Y. & He Y., 2006. Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technology* 97, 2024-2031.
- Zhou S., Herzfeld T., Glauben T., Zhang Y., Hu B., 2008. Factors Affecting Chinese Farmers' Decisions to Adopt a Water-Saving Technology. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 56 (2008) 51–61

Ziadat A.H. & Mott H., 2005. Assessing solid waste recycling opportunities for closed campuses. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 16 (3), 250–256.

Zurbrugg C., Drescher S., Patel A.H., Sharatchandra H.C., Hayhurst R.D., 2003. Decentralised composting solutions for Indian Cities. EAWAG, SANDEC. August 2003.

ANNEXES

Annexe 1 : Les accords internationaux relatifs à l'environnement ratifiés par le Cameroun

Alors que les accords internationaux régissent surtout la gestion des déchets dangereux et nucléaires, les déchets solides sont très souvent réglementés à l'échelle nationale. La communauté internationale reconnaît que les problèmes liés à la pollution n'ont pas de frontières. C'est pour cela que depuis quelques décennies, un certain nombre de Conventions ont été signées.

Les plus pertinentes sont les suivantes :

o Convention de l'OCDE

Des Conventions qui régissent les mouvements transfrontaliers des déchets destinés à la récupération ont été institués en 2001 par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). En effet, de 1984 à 1992, le conseil de l'OCDE a adopté huit (08) actes touchant l'étiquetage, la définition et le contrôle des mouvements transfrontaliers des déchets. Le but ultime étant d'établir un système global de contrôle des mouvements des déchets. Ce système vise à faciliter le commerce rentable et écologique des produits recyclables grâce à une procédure simplifiée et assortie d'une approche fondée sur l'évaluation du risque. Il faut noter que cette procédure simplifiée ne concerne pas les déchets exportés pour récupération ou élimination finale vers les pays non membre de l'OCDE. Le système de contrôle de l'OCDE repose sur deux types de procédures : la procédure de contrôle « verte » concerne les déchets qui ne constituent qu'une faible menace pour la santé humaine et l'environnement et qui ne sont assujettis qu'aux contrôles appliqués aux transactions commerciales ; et la procédure de contrôle « orange » qui concerne les déchets présentant un risque majeur pour la santé humaine et l'environnement justifiant de ce fait un contrôle stricte. Les expéditions des déchets sont contrôlées par les autorités nationales compétentes et les bureaux de douane.

o Convention de Londres

La Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets et autres matières est un accord mondial adopté en 1972 à la

conférence intergouvernementale sur la Convention relative à l'immersion des déchets en mer tenue à Londres. L'article premier de cette Convention qui est entrée en vigueur en 1975, stipule que la Convention de Londres a pour objectif d'«empêcher la pollution des mers par l'immersion des déchets et autres matières susceptibles de mettre en danger la santé humaine, de nuire aux ressources biologiques, à la faune et à la flore maritime, de porter atteinte aux agréments ou de gêner toutes autres utilisations légitimes de la mer». En 1993, les parties contractantes ont entrepris un examen détaillé de la Convention, qui a débouché en 1996 sur l'adoption du protocole de 1996 à la Convention de Londres de 1972. Dès son entrée en vigueur, le protocole s'est substitué à la Convention de Londres. Au 31 mai 2002, 78 Etats étaient parties à la Convention.



- **Convention MARPOL**

La Convention internationale de 1973 sur la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) est la principale Convention sur la pollution de l'environnement marin due à l'exploitation des navires ou des accidents en mer. Elle combine deux traités adoptés respectivement en 1973 et en 1978. Cette Convention a été adoptée en 1978 par l'Organisation Maritime Internationale. Entrée en vigueur en 1983, cette Convention a pour principaux objectifs d'éliminer la pollution en mer par le pétrole, les produits chimiques et d'autres substances nocives transportées sous conditionnement, pouvant être déversé lors des opérations et de réduire au minimum les déversements accidentels de pétrole par les navires et les plates forme fixes ou mobiles. Au 31 mai 2002, 121 Etats étaient parties à la Convention. A la fin des années 1980, le durcissement des réglementations environnementales a entraîné une augmentation considérable des coûts de traitement des déchets dangereux. Ceci a contraint certains pays industrialisés à expédier leurs déchets « toxiques » vers certains pays du Sud et d'Europe de l'Est. Ces agissements, une fois mis au jour, ont amené la communauté internationale à juguler ces activités à travers plusieurs conventions.

- **Convention de Bâle**

La convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et leur élimination touche les problèmes et les défis que posent les déchets dangereux. Les principaux objectifs de la convention de Bâle sont de réduire au minimum la production des déchets dangereux aussi bien sur le plan de la dangerosité que sur le plan de la quantité et de détruire ces déchets aussi près que possible du lieu de leur production et de limiter leur mouvement. De ce fait les mouvements transfrontaliers des déchets ne peuvent avoir lieu que sur préavis écrit par l'Etat exportateur aux autorités compétentes de l'Etat importateur et au cas échéant de l'Etat de transit. Les expéditions de déchets dangereux sans documentation sont illégales. Entre 2000 et 2010, la convention devait s'appuyer sur le cadre établi dans les années 1989 à 1999 pour assurer la mise en œuvre et l'application intégrale des engagements pris en vertu des traités. L'action devra porter également sur la réduction de la production des déchets dangereux. 151 Etats étaient parties à la convention au 1^{er} juillet 2002.

- **Conventions de Bamako et de Waigani**

La convention de Bâle a clairement liée aux régimes régionaux de réglementation des déchets dangereux, et particulièrement à la convention de Bamako (adoptée en 1991, mais entrée en vigueur en 1998) et la convention de Waigani (adoptée en 1995, mais entrée en vigueur en 2001). La convention de Bamako interdit l'importation des déchets dangereux en Afrique et la convention de Waigani interdit l'importation des déchets dangereux dans les pays en développement des îles du Pacifique. Ces régimes régionaux ont été établis en partie suite à l'échec initial de la convention de Bâle d'éliminer les exportations du Nord vers le Sud. Le secrétariat de la convention de Bâle collabore avec le secrétariat de ces régimes régionaux, avec qui il échange de l'information sur les procédures et fonctions des diverses institutions.

- **Convention commune sur la sûreté de la gestion du combustible usé et sur la sûreté de la gestion des déchets radioactifs**

Cette convention a été le premier instrument législatif à traiter de ces questions à l'échelle mondiale. Elle est entrée en vigueur le 18 juin 2001 et au 26 novembre 2002, 29 Etats étaient partie à la convention. L'article premier du premier chapitre de cette convention mentionne que cette convention a pour objectifs entre autres d'atteindre et de maintenir un haut niveau de sûreté dans le monde entier en matière de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs grâce au renforcement des mesures nationales et de la coopération internationale (y compris la coopération technique en matière de sûreté, au besoin). La convention a aussi pour objectif de prévenir les accidents ayant des conséquences radiologiques et atténuer ces conséquences au cas où de tels accidents se produiraient.

Au niveau africain, nous avons la **déclaration d'Abidjan** : Entre le 14 et le 16 février 1996, 120 participants, membres du réseau « AFRICAN WASTE NET » au séminaire d'Abidjan sur la gestion des DS ont adopté un « *Plan d'action pour une gestion durable des déchets solides en milieu urbain d'Afrique de l'Ouest et Centrale* » dit « *Déclaration d'Abidjan* ». Le réseau a pour objectif majeur de contribuer à l'élaboration des nouvelles politiques africaines des déchets.

Autre accord :

Décret no 2001-203 du 27 février 2001 portant accord la France et la Cameroun sur le transfert transfrontière des déchets dangereux

Article 1er

Le présent Accord s'applique exclusivement aux déchets, substances et articles contenant, consistant en ou contaminés par des PCB dont le Gouvernement de la République du Cameroun garantit qu'ils ont été produits sur le territoire camerounais et dont l'élimination est prévue dans une installation sise sur le territoire de la République française.

Article 2

Les mouvements transfrontières des déchets visés à l'article 1er du présent Accord entre la zone relevant de la compétence nationale de la République du Cameroun et la zone relevant de la compétence nationale de la République française sont effectués conformément aux principes de gestion écologique rationnelle tels que définis dans les dispositions pertinentes de la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, et notamment dans les articles visés dans le Préambule du présent Accord. En particulier, les procédures d'instruction des demandes d'autorisation d'importation sont celles prévues par la réglementation française applicable.

Article 3

Le Gouvernement de la République du Cameroun s'engage à mettre en place la réglementation nécessaire pour assurer, conformément aux articles pertinents de la Convention de Bâle et du Règlement (CEE) 259/93, des conditions de transfert qui ne nuisent ni à la santé humaine, ni à l'environnement.

Article 4

Le Gouvernement de la République du Cameroun se conformera aux dispositions de l'article 27 du Règlement (CEE) 259/93 en faisant souscrire des polices d'assurance couvrant les incidents pouvant survenir lors du transfert desdits déchets jusqu'au lieu de leur élimination.

Article 5

Dans le cadre du présent Accord, le Gouvernement de la République du Cameroun met en place un régime d'autorisation d'exportation. Il désigne le ministre chargé de l'environnement comme autorité compétente pour la gestion des autorisations d'exportation de déchets, substances et articles contenant, consistant en ou contaminés par des PCB, vers une des installations sises sur le territoire de la République française, conformément aux procédures prévues à l'article 2 du présent Accord.

Article 6

Le présent Accord, pris en application de l'article 11 de la Convention de Bâle, sera limité à une période d'un an courant à partir de son entrée en vigueur. Son renouvellement dépendra notamment des progrès accomplis par la République du Cameroun en vue d'adhérer à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination.

Article 7

Le présent Accord sera notifié par la Partie française au secrétariat de la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, conformément aux dispositions de l'article 11, paragraphe 2, de ladite Convention.

Article 8

Tout litige pouvant survenir dans l'exécution de la présente Convention sera réglé à l'amiable, d'accords-parties.

Article 9

Le présent Accord entrera en vigueur à la date de sa signature.

Fait en double exemplaire en langue française, à Paris, le 25 avril 2000.

Annexe 2 : Exemple de contrat type de gestion des déchets solides

Chapitre I — Objet du service

Article 1^{er} — Formation du contrat

La communauté urbaine de Yaoundé (CUY), a décidé par délibération en date du [...], de confier l'exploitation de son service de collecte et d'évacuation des ordures ménagères à la société Hygiène et Salubrité du Cameroun (HYSACAM).

La CUY collectivité, par délibération en date du [...], a autorisé HYSACAM à signer le présent contrat.

La société HYSACAM, ci-après dénommée l'entrepreneur, représentée par M. [...] (titres et pouvoirs) accepte de prendre en charge l'exploitation du service dans les conditions du présent contrat.

Article 2 — Définition du service à assurer

Le service régi par le présent contrat a pour objet la collecte des ordures ménagères, leur évacuation jusqu'à la décharge municipale.

La collecte est à exécuter sur toutes les voies publiques ou privées ouvertes à la circulation, accessibles en marche normale aux camions automobiles et bacs à ordures suivant les règles du Code de la route.

Article 3 — Durée du contrat

La durée du présent contrat est fixée à 7 ans.

Le contrat prend effet à compter du [...].

Article 4 — Définition du périmètre du service

L'exploitation du service est assurée sur la totalité du territoire de la CUY.

Article 5 — Définition des ordures ménagères

Sont compris dans la dénomination d'ordures ménagères pour l'application du présent contrat :

- a) Les déchets ordinaires (déchets d'aliments et du nettoyage normal des habitations, les débris de verre ou de vaisselle, etc.).
- b) Les résidus et déchets ménagers en provenance du nettoyage des voies et places publiques, ainsi que les déchets ménagers des collectivités groupés sur des emplacements déterminés ou contenus dans des récipients.
- c) les déchets provenant des établissements artisanaux, petits commerces, bureaux et administrations présentés dans les mêmes conditions que les déchets ordinaires.
- d) Les déchets végétaux provenant de l'élagage ou de la tonte effectuée dans les concessions publiques ou privées.
- e) Le cas échéant tous objets abandonnés sur la voie publique, ainsi que les cadavres des petits animaux.

HYSACAM a également l'obligation de collecter tous les déchets issus de la précollecte dans les bas-fonds inaccessibles à ses camions de ramassage.

Cette énumération n'est pas limitative et des matières non dénommées pourront être assimilées par l'autorité municipale aux catégories spécifiées ci-dessus.

Ne sont pas compris dans la dénomination d'ordures ménagères pour l'application du présent contrat :

- a) les débris provenant des travaux publics.
- b) Tous les résidus provenant d'une exploitation industrielle ou commerciale.
- c) Les déchets anatomiques ou infectieux provenant des hôpitaux ou cliniques, ainsi que les déchets en provenance d'abattoirs.
- d) Les déchets industriels.

Chapitre II — Exécution du service

Article 6 — Obligations de l'entrepreneur

Pendant toute la durée du contrat, l'entrepreneur est seul responsable à l'égard des tiers des conséquences des actes du personnel d'enlèvement et de l'usage du matériel et aux

relevés de compteurs des véhicules et des installations de pesage lorsqu'elles lui appartiennent. Il donne à cet effet libre accès dans ses garages, ateliers et magasins, aux agents qualifiés de la CUY.

Il élit domicile à Yaoundé où sont faites toutes les notifications relatives à son contrat.

L'entrepreneur est tenu de se prêter aux visites de contrôle de l'entretien du matériel et aux relevés de compteurs des véhicules et des installations de pesage lorsqu'elles lui appartiennent. Il donne à cet effet libre accès dans ses garages, ateliers et magasins, aux agents qualifiés de la CUY.

Il lui est interdit de céder ou sous-traiter tout ou partie du présent service sans y être expressément autorisé par délibération de la CUY. En tout état de cause, il reste solidairement responsable avec le concessionnaire ou le sous-traitant envers la CUY du parfait accomplissement de toutes les clauses et conditions du contrat.

En cas d'interruption imprévue du service, même partielle, l'entrepreneur doit aviser la CUY dans les délais les plus courts, au plus tard dans les 24 heures, et prendre, en accord avec elle, les mesures nécessaires.

Article 7 — Conditions générales d'exécution

La collecte et l'évacuation des ordures ménagères sont exécutées par véhicules automobiles en nombre suffisant, l'entrepreneur devant justifier qu'il pourra disposer des véhicules nécessaires pour parer à tout incident d'exploitation.

Les véhicules doivent avoir le Logo et les couleurs de HYSACAM en plus des plaques d'immatriculation réglementaires.

Les agents de l'entrepreneur doivent saisir les récipients avec précaution. Ils doivent éviter tout dégagement de poussière et toute projection de détritits ailleurs que dans la benne. Ils doivent veiller à débarrasser entièrement de leur contenu poubelles et bacs.

Les ordures ménagères qui auraient pu être déversées accidentellement sur la voie publique sont chargées à la pelle dans la benne. Les récipients vidés sont ensuite déposés sur leur fond, à l'emplacement même où ils se trouvaient avant la collecte.

Toutes ces opérations sont à effectuer en évitant le bruit et toute détérioration des récipients.

Il est interdit au personnel chargé de la collecte de repousser à l'égout ou au ruisseau tout ou partie des détritiques éventuellement tombés sur la voie publique.

Article 8 — Récipients

Les récipients dans lesquels les ordures ménagères sont présentées à la collecte sont les sacs et seaux poubelles.

La sortie des récipients des maisons, leur dépôt près du bord du trottoir pour la collecte et leur rentrée après vidange sont effectués par les ménages.

Article 9 — Fréquences, horaires et itinéraires

Les opérations prévues aux articles 1 à 8 pour la collecte et l'évacuation des ordures ménagères contenues dans les récipients ou déposées sur la voie publique sont exécutées 24h/24.

Les fréquences de collecte pourront être modifiées, par décision de la CUY, sans que l'entrepreneur puisse s'y opposer.

Dans ce cas il peut être fait application des dispositions de l'article 18.

La collectivité peut, l'entrepreneur entendu, modifier les horaires normaux, temporairement, pour tenir compte de circonstances extraordinaires, ou définitivement, en cas de transformation des conditions d'existence de tout ou partie de la population ou en vue d'une amélioration de l'hygiène publique, ou en raison de modification de la durée légale du travail sans que l'entrepreneur puisse prétendre à une indemnité ou à une augmentation de sa rémunération, à moins que l'équilibre du contrat ne s'en trouve affecté ; dans ce cas il peut être fait application des dispositions de l'article 18.

La collecte est à exécuter au cours des tournées suivant les itinéraires qui sont fixés par la CUY, l'entrepreneur entendu, de telle sorte que chaque véhicule soit chargé complètement, mais sans excès et que les horaires soient respectés. Des tolérances sont accordées en temps de fortes pluies.

Tout véhicule accidenté ou mis hors d'état de fonctionner pendant la collecte est à remplacer sans délai par un autre véhicule.

Sauf le cas de force majeure, les tournées seront, chaque jour, commencées au même point et l'itinéraire adopté devra être maintenu afin d'éviter des variations dans les heures de collecte.

Article 10 — Produits du nettoyage des voies publiques, foires, marchés, etc.

La collecte et l'évacuation des produits du nettoyage des voies publiques ou assimilées, des halles, foires et marchés sont à exécuter pour l'entrepreneur dans les mêmes conditions que celles des autres ordures ménagères, quand ces produits ont été préalablement rassemblés dans des récipients par les soins de la collectivité.

L'enlèvement des autres produits du nettoyage, rassemblés et mis en tas par les soins de la collectivité, est à la charge de l'entrepreneur et l'emplacement des tas est à balayer soigneusement, de façon à qu'il ne subsiste plus aucun détritrus sur le sol après cette opération.

Il est procédé de même pour l'enlèvement de tout dépôt constaté sur la voie publique.

Article 11 — Personnel chargé des opérations de collecte et d'évacuation

Dans un délai de six mois à partir de la date où le service aura commencé à fonctionner avec un personnel approprié aux besoins, l'entrepreneur devra communiquer à la collectivité le statut applicable à ce personnel.

Les agents de l'entrepreneur sont rémunérés par l'entrepreneur et pourvus par ses soins de vêtements de travail, dans les conditions prévues aux conventions collectives.

Il leur est interdit de se livrer au chiffonnage.

En cas de résiliation ou à l'expiration du contrat, la collectivité et l'entrepreneur conviennent de se rapprocher pour examiner la situation des personnels concernés.

Article 12 — Évacuation et déchargement

Les véhicules chargés sont dirigés vers la décharge municipale. L'évacuation est à exécuter par un itinéraire agréé par la CUY sans aucun stationnement intermédiaire.

Arrivées au lieu de déchargement, les bennes sont à vider mécaniquement dans les fosses réservées ou aux emplacements désignés à cet effet. Des voies d'accès praticables doivent être ménagées par la CUY, de manière qu'il n'en résulte pas de dégradations anormales aux véhicules de collecte, qui doivent y circuler avec précaution.

Le poids du chargement des véhicules sera déterminé et la tare vérifiée quand la CUY le jugera utile, dans les conditions prévues à l'article 16.

Chapitre III — Dispositions techniques

Article 13 — Acceptation du matériel

L'entrepreneur est tenu de fournir à la collectivité tous documents utiles sur le véhicule qu'il se propose d'utiliser. En outre, il doit lui présenter le prototype du véhicule de collecte pour acceptation, après constatation de sa conformité aux dispositions du présent contrat. Malgré cette acceptation, l'entrepreneur reste responsable du fonctionnement de son matériel et de son maintien en conformité.

Article 14 — Entretien et réparation

L'entrepreneur doit maintenir les véhicules en bon état de fonctionnement et assurer à cet effet toutes les opérations d'entretien, de réparation et de remise en état nécessaires pour quelque cause que ce soit. Les bennes doivent être lavées chaque jour après la collecte tant intérieurement qu'extérieurement. Le lavage des bennes ne doit pas entraîner de pollution pour le milieu et le voisinage. La peinture doit être renouvelée en tant que de besoin.

En outre, l'entrepreneur est chargé de l'entretien des récipients qui doivent rester constamment adaptables aux orifices de chargement ; il répare ou remplace les récipients qui viendraient à être détériorés ou à cesser d'être étanches et normalement utilisables.

Article 15 — Garage des véhicules

L'entrepreneur doit se procurer les emplacements et locaux nécessaires au garage de ses véhicules.

La situation de ces emplacements et locaux doit être agréée par la CUY.

Tous les frais afférents au garage des véhicules, y compris notamment l'assurance, sont à la charge de l'entrepreneur.

Chapitre IV — Dispositions financières

Article 16 — Rémunération due par la CUY

L'entrepreneur est rémunéré, par la collectivité, de la totalité des prestations définies aux chapitres précédents.

La rémunération annuelle est fixée au vu, notamment, d'un devis prévisionnel établi par l'entrepreneur et joint au présent contrat.

Les éléments de cette rémunération sont fixés en fonction des tonnages. Ils sont évalués hors taxe à la date de passation du contrat.

La rémunération R que l'entrepreneur reçoit de la CUY est exclusivement composée de :

- 13089 FCFA au titre des frais de transfert (collecte, transport, enfouissement) vers la décharge d'une tonne d'ordures ménagères collectées ;
- 290 FCFA au titre des frais de traitement d'une tonne de lixiviat débitée
- 32750 FCFA au titre des frais de récupération du biogaz émis par les déchets enfouis

Les tonnages sont déterminés par le pesage de *tous les chargements*.

Les quantités de déchets à collecter et à traiter par HYSACAM sont déterminées par la CUY.

Article 17 — Modalités de paiement

Le montant de la rémunération sera payable semestriellement sur la base du tonnage mise en décharge à la fin de chaque mois.

Article 18 — Réexamen des prix

Pour tenir compte de l'évolution des conditions économiques et techniques, et pour s'assurer que le niveau de la rémunération demeure bien représentatif des coûts réels, toute initiative de réexamen des prix peut être soumise par l'une ou l'autre partie, dans les cas suivants :

- 1. En cas de révision du périmètre du service.

- 2. En cas de modification du lieu de déchargement.
- 3. En cas de modification des fréquences de collecte.
- 4. En cas de modifications importantes de la consistance et des conditions d'exécution du service (collecte sélective, modifications des horaires, des itinéraires, variation du nombre de bennes nécessaires) ;
- 5. Si le montant des impôts à la charge de l'entrepreneur, autres que ceux frappant les résultats de l'entreprise, varie de façon significative.

L'entrepreneur sera tenu de produire les justifications nécessaires et notamment le compte rendu d'exploitation prévu à l'article 21.

La procédure de révision n'entraînera pas l'interruption de la méthode de rémunération, qui continuera à être appliquée jusqu'à l'achèvement de cette procédure.

Si, dans les trois mois à compter de la demande de révision, un accord entre les parties n'est pas intervenu, il sera procédé à cette révision par une commission composée de trois membres, dont l'un sera désigné par la CUY l'autre par l'entrepreneur et le troisième par les deux premiers. Faute à ceux-ci de s'entendre dans un délai de quinze jours, la désignation du troisième membre sera faite par le président du tribunal administratif. Il en sera de même pour les membres qui n'auraient pas été désignés par les parties à compter de l'expiration de la période des trois mois ci-dessus.

Article 19 — Impôts

Tous les impôts ou taxes établis par l'État, le département ou la commune, y compris les impôts relatifs aux immeubles du service, seront à la charge de l'entrepreneur.

Les rémunérations visées à l'article 16 ci-dessus sont réputées correspondre aux impôts et taxes en vigueur à l'origine du contrat ou lors de l'adoption de nouveaux taux établis en application de l'article 18 ci-dessus.

Article 20 — Cautionnement

Dans un délai d'un mois après l'approbation du présent contrat, l'entrepreneur déposera soit à la Caisse des dépôts et consignations, soit à la caisse du receveur municipal une somme de [...] FCFA en numéraire ou en rentes sur l'État, en obligations garanties par

l'État ou en bons du Trésor, dans les conditions prévues par les lois et règlements pour les cautionnements en matière de travaux publics. En particulier, le cautionnement pourra être constitué par un dépôt de titres choisis dans la liste établie à cet effet par arrêté du ministre de l'Économie, avec possibilité permanente de substitution d'un titre à un autre.

La somme ainsi versée, qui ne pourra être inférieure à 2 % du montant des recettes annuelles prévisionnelles de l'entrepreneur, formera le cautionnement. L'entrepreneur pourra être dispensé de ce versement s'il fournit une caution personnelle et solidaire.

Seront prélevés sur le cautionnement le montant des pénalités et les dépenses faites en raison des mesures prises, aux frais de l'entrepreneur, pour assurer la sécurité ou la salubrité publique, ou la reprise de l'exploitation en cas de mise en régie provisoire.

Toutes les fois qu'une somme quelconque aura été prélevée sur le cautionnement, l'entrepreneur devra la compléter à nouveau dans un délai de quinze jours.

La non-reconstitution du cautionnement, après une mise en demeure restée sans effet pendant un mois, ouvrira droit pour la collectivité à une résiliation sans indemnité.

Chapitre V — Dispositions diverses

Article 21 — Compte rendu annuel de l'état de la collecte et du traitement des déchets

Chaque année, conformément l'entrepreneur produit à l'autorité délégante un rapport comportant les comptes retraçant la totalité des opérations afférentes au service, ainsi qu'une analyse de la qualité du service et une annexe permettant d'apprécier les conditions d'exécution du service public.

L'analyse de la qualité du service comporte :

- un compte rendu technique ;
- un compte rendu financier ;
- un bilan environnemental ;
- un état des réclamations des usagers.

La CUY aura le droit de contrôler les renseignements donnés dans ce rapport. À cet effet, ses agents accrédités pourront se faire présenter toutes pièces de comptabilité nécessaires à leurs vérifications. Ils pourront procéder à toutes vérifications utiles pour s'assurer que le service est exploité dans les conditions du présent contrat et prendre connaissance de tous documents techniques et autres, nécessaires à l'accomplissement de leur mission. L'annexe doit notamment fournir les éléments chiffrés permettant de vérifier les informations données dans le rapport.

Au titre du compte rendu technique, il sera fourni au moins les indications suivantes :

- évolution générale des ouvrages ;
- effectifs du service, qualification des agents ;
- récapitulation des renseignements notés sur le journal de marche ;
- flux entrant des déchets, flux sortants (lixiviats et biogaz), consommations ;
- travaux de gros entretien et de renouvellement à effectuer ;
- journal des pannes et interventions ;
- compte rendu des contrôles obligatoires effectués par les organismes agréés.

Le compte rendu financier doit préciser, selon les modalités arrêtées entre les parties :

- en dépenses, à l'appui du compte rendu technique visé ci-dessus, le détail des dépenses et leur évolution par rapport à l'exercice antérieur ;
- les travaux de gros entretien et renouvellement réalisés pendant l'année écoulée (dates, nature des travaux, montants, durées d'amortissement) et à réaliser ;
- en recettes, le détail des recettes de l'exploitation. Toute évolution des frais généraux par rapport au coût initial devra être justifiée.

Article 22 — Résiliation

L'entrepreneur encourra la résiliation si, après [...] mois de délégation du service, il n'est pas en mesure de demander sa cessation et s'il n'a pas repris ses activités.

En cas de décès de l'entrepreneur, le contrat est résilié de plein droit sans indemnité, sauf si le représentant légal de la collectivité, statuant par son assemblée délibérante, accepte les offres qui peuvent être faites par les héritiers pour la continuation du service.

Le contrat est également résilié de plein droit sans indemnité :

- en cas de faillite de l'entrepreneur ou de liquidation de biens, sauf si le représentant légal de la collectivité statuant par son assemblée délibérante, accepte dans l'éventualité où le syndic aurait été autorisé par le tribunal à continuer l'exploitation du service, les offres qui peuvent être faites par le dit syndic pour la continuation du service ;
- en cas de règlement judiciaire si l'entrepreneur n'est pas autorisé à continuer l'exploitation de son service.

Article 23 — Pénalités

Toute infraction au présent contrat donne lieu à l'application d'une pénalité dont le montant est évalué comme suit.

Dans l'hypothèse où la collecte ne serait pas effectuée sur tout ou partie de la zone à desservir pour des raisons inhérentes à l'entrepreneur, et sauf en cas de grève du personnel ou de conditions exceptionnelles rendant la collecte impossible ou anormalement dangereuse, l'entrepreneur devra une indemnité journalière à la collectivité égale à : [...].

Les pénalités que l'entrepreneur a encourues sont déduites du plus prochain règlement à lui effectuer ou prélevées sur le cautionnement. L'entrepreneur a un délai de quinze jours pour formuler ses observations.

[Date]

[Signatures]

Annexe 3: Les traitements expérimentaux par site à Yaoundé et à Bafoussam

Site	Traitement expérimental	Code	Nombre d'échantillon prélevé
Yaoundé I	Fiente de poudeuse de 10 à 12 mois	Y1T1	3
	Fiente de poudeuse de 5 à 6 mois	Y1T2	4
	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	Y1T3	7
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	Y1T4	2
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	Y1T5	5
	Compost de déchets solides	Y1T6	6
	Compost de lisier de porc	Y1T7	1
Yaoundé III	Fiente de poudeuse de 10 à 12 mois	Y2T1	2
	Fiente de poudeuse de 5 à 6 mois	Y2T2	4
	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	Y2T3	3
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	Y2T4	2
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	Y2T5	2
	Compost de d'ordures ménagères	Y2T6	3
	Compost de lisier de porc	Y2T7	1
Yaoundé IV	Fiente de poudeuse de 10 à 12 mois	Y3T1	4
	Fiente de poudeuse de 5 à 6 mois	Y3T2	2
	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	Y3T3	5
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	Y3T4	2
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	Y3T5	2
	Compost de d'ordures ménagères	Y3T6	3
	Compost de lisier de porc	Y3T7	1
Yaoundé VII	Fiente de poudeuse de 10 à 12 mois	Y4T1	3
	Fiente de poudeuse de 5 à 6 mois	Y4T2	2
	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	Y4T3	2
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	Y4T4	3
	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	Y4T5	2
	Compost de d'ordures ménagères	Y4T6	2
	Compost de lisier de porc	Y4T7	1

Composition des traitements à Bafoussam	DIENGSO (Répétition 1)		DIANDAM (Répétition 2)		BAMENDZI (Répétition 3)		BATOUKOP (Répétition 4)	
	Code	Nbre échant.	Code	Nbre échant.	Code	Nbre échant.	Code	Nbre échant.
Fiente poudeuse 10-12 mois	B1T1	3	B2T1	5	B3T1	4	B4T1	7
Fiente poudeuse 5-6 mois	B1T2	4	B2T2	3	B3T2	6	B4T2	4
Fumier chair 35-45 jours	B1T3	4	B2T3	5	B3T3	5	B4T3	3
Fumier chair 60-70 jours (2 semaines stockage après élevage)	B1T4	3	B2T4	4	B3T4	7	B4T4	4
Fumier chair 90-100 jours (7 semaines stockage après élevage)	B1T5	6	B2T5	5	B3T5	6	B4T5	2
Compost ordures ménagères 2-3 mois	B1T6	2	B2T6	3	B3T6	1	B4T6	3
Compost ordures ménagères 4-6 mois	B1T7	2	B2T7	3	B3T7	1	B4T7	3
Lisier de porc 1 jour	B1T8	8	B2T8	6	B3T8	9	B4T8	5
Compost de lisiers de porc	B1T9	7	B2T9	9	B3T9	6	B4T9	4
Lisier de porc plus de 90 jours	B1T10	5	B2T10	7	B3T10	8	B4T10	6
Crotte de lapin 1 jour	B1T11	7	B2T11	4	B3T11	5	B4T11	3
Crotte de lapin plus de 90 jours	B1T12	6	B2T12	5	B3T12	6	B4T12	4
Crotte de chèvre 2-7 jours	B1T13	2	B2T13	1	B3T13	2	B4T13	3
	TOTAL 1	59	TOTAL 2	60	TOTAL 3	66	TOTAL 4	51

Annexe 4 : Résultats d'analyses de laboratoire de tous les échantillons prélevés à Yaoundé (Y_xT_x) et Bafoussam

(B_xT_x)

N°	Identité	Humidité	Cendres	N	P	K	Ca	pH	V_NPK_sec	V_NPK_brut	C_estimé
Y1T1	Fiente de poudeuse de 10 à 12 mois	17,83	53,06	2,137	2,750	2,161	9,040	8,04	206,16	169,40	27,29
Y1T2	Fiente de poudeuse de 5 à 6 mois	23,22	45,32	2,478	2,230	1,926	7,990	7,86	185,13	142,14	30,28
Y1T3	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	41,96	31,22	3,402	1,510	1,578	2,679	6,77	164,81	95,66	35,74
Y1T4	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	30,3	37,42	3,749	2,130	2,140	4,527	7,42	204,59	142,60	33,34
Y1T5	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	19,81	25,32	3,292	1,650	2,313	3,353	7,54	170,12	136,42	38,02
Y1T6	Compost de déchets urbains	25,28	91,50	0,229	0,231	0,204	0,364	7,13	34,84	26,03	12,41
Y1T7	Compost de lisier de porc	33,71	81,88	0,672	0,468	0,151	0,682	6,54	56,10	37,19	16,13
Y7T1	Fiente de poudeuse de 10 à 12 mois	15,63	33,74	3,767	2,340	2,162	5,008	7,66	216,12	182,34	34,76
Y7T2	Fiente de poudeuse de 5 à 6 mois	4,08	24,46	3,059	1,470	1,800	2,856	7,88	155,99	149,63	38,35
Y7T3	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	31,49	24,92	3,109	1,420	1,742	3,742	7,23	154,30	105,71	38,18
Y7T4	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	31,81	37,50	3,619	2,120	2,110	4,801	7,47	201,52	137,42	33,31
Y7T5	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	17,58	43,44	3,798	2,620	2,281	6,750	7,84	231,63	190,91	31,01
Y7T6	Compost de déchets urbains	20,19	84,54	0,741	0,067	1,056	0,117	6,75	36,09	28,80	15,10
Y7T7	Compost de lisier de porc	36,85	83,84	1,778	0,386	0,538	0,460	6,49	73,30	46,29	15,37

Y3T1	Fiente de pondeuse de 10 à 12 mois	17,94	52,00	2,277	2,640	2,060	8,600	8,09	203,04	166,61	27,70
Y3T2	Fiente de pondeuse de 5 à 6 mois	6,41	31,60	2,995	1,330	1,863	3,104	7,98	147,29	137,85	35,59
Y3T3	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	40,06	17,16	2,541	0,850	1,454	2,615	7,44	112,88	67,66	41,18
Y3T4	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	23,58	39,40	3,715	2,360	2,309	6,340	7,55	216,17	165,20	32,57
Y3T5	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	15,64	43,48	1,793	1,080	1,460	3,132	7,95	110,54	93,25	30,99
Y3T6	Compost de déchets urbains	30,32	81,52	0,404	0,187	0,148	1,054	7,47	35,91	25,02	16,27
Y3T7	Compost de lisier de porc	40,13	76,68	0,685	0,457	0,203	0,842	6,47	55,76	33,39	18,14
Y4T1	Fiente de pondeuse de 10 à 12 mois	15,35	32,08	3,304	1,990	2,201	4,650	7,51	188,46	159,53	35,41
Y4T2	Fiente de pondeuse de 5 à 6 mois	21,67	42,44	2,251	1,360	1,823	3,810	8,10	134,38	105,26	31,40
Y4T3	Fumier de poulet de chair de 35 à 45 jours	26,95	43,40	2,904	1,420	1,582	2,913	7,12	150,31	109,80	31,02
Y4T4	Fumier de poulet de chair stocké pendant 2 semaines	23,26	28,98	3,615	1,310	1,869	3,904	7,29	158,32	121,49	36,60
Y4T5	Fumier de poulet de chair stocké pendant 7 semaines	18,03	47,48	2,885	2,570	2,333	7,680	7,84	211,17	173,09	29,45
Y4T6	Compost de déchets urbains	41,93	88,02	0,320	0,128	0,207	0,345	7,29	31,13	18,08	13,76
Y4T7	Compost de lisier de porc	41,18	68,58	1,210	0,730	0,188	1,146	6,46	80,54	47,37	21,28
N°	Identité	Humidité	Cendres	N	P	K	Ca	pH	V_NPK_sec	V_NPK_brut	C_estimé
B1T1	Fiente pondeuse 10-12 mois	17,5	50,24	2,411	3,020	3,067	7,700	7,65	225,88	186,35	28,38
B1T2	Fiente pondeuse 5-6 mois	15,47	48,42	1,587	0,950	1,649	1,652	7,60	99,60	84,19	29,08
B1T3	Fumier chair 35-45 jours	28,32	19,08	3,693	1,490	3,071	2,290	7,92	169,42	121,44	40,44
B1T4	Fumier chair 60-70 jours (2 sem stock après élevage)	34,75	33,50	2,680	1,780	2,684	3,152	7,40	165,11	107,73	34,86

B1T5	Fumier chair 90-100 jours (7 sem stock après élevage)	21,01	21,78	3,199	1,410	2,362	2,348	7,68	155,53	122,85	39,39
B1T6	Compost ordure ménagère 2-3 mois	45,15	77,14	0,940	0,331	1,397	2,822	8,31	54,03	29,63	17,97
B1T7	Compost ordure ménagère 4-6 mois	35,68	73,12	1,252	0,423	1,215	3,061	7,19	65,01	41,81	19,52
B1T8	Lisier de porc 1 jour	70,12	31,96	2,493	1,710	1,870	2,087	6,96	157,73	47,13	35,45
B1T9	Lisier de porc 14-30 jours	28,36	53,58	1,346	1,590	1,771	2,425	7,05	128,98	92,40	27,08
B1T10	Lisier de porc plus de 90 jours	20,81	49,00	1,504	0,820	0,690	1,153	6,48	91,06	72,11	28,86
B1T11	Croûte de lapin 1 jour	60,69	11,70	2,263	1,750	1,093	1,795	6,72	155,38	61,08	43,29
B1T12	Croûte de lapin plus de 90 jours	18,84	53,00	2,228	2,160	2,306	3,695	7,22	176,52	143,27	27,31
B1T13	Croûte de chèvre 2-7jours	22,97	28,20	1,935	0,630	1,670	1,433	7,75	89,35	68,83	36,91
B2T1	Fiente pondeuse 10-12 mois	28,91	42,46	2,245	1,970	2,393	3,730	7,10	166,74	118,54	31,39
B2T2	Fiente pondeuse 5-6 mois	16,58	58,12	2,317	0,700	1,523	1,595	7,52	100,53	83,86	25,33
B2T3	Fumier chair 35-45 jours	27,09	31,38	3,028	1,420	2,842	2,207	7,77	152,73	111,35	35,68
B2T4	Fumier chair 60-70 jours (2 sem stock après élevage)	55,23	27,68	3,346	1,750	3,052	2,995	7,48	176,50	79,02	37,11
B2T5	Fumier chair 90-100 jours (7 sem stock après élevage)	19,18	28,92	2,438	1,350	2,437	2,644	7,53	137,49	111,12	36,63
B2T6	Compost ordure ménagère 2-3 mois	44,35	74,54	0,692	0,336	1,586	3,131	8,40	49,46	27,52	18,97
B2T7	Compost ordure ménagère 4-6 mois	34,6	71,22	1,062	0,504	1,180	2,980	7,26	65,62	42,91	20,26
B2T8	Lisier de porc 1 jour	75,71	33,68	2,368	0,710	2,654	0,662	7,78	102,05	24,79	34,79
B2T9	Lisier de porc 14-30 jours	36,65	34,42	3,051	2,480	2,824	4,218	7,12	209,61	132,79	34,50
B2T10	Lisier de porc plus de 90 jours	20,15	45,04	1,938	0,830	0,756	1,170	6,54	100,06	79,90	30,39
B2T11	Croûte de lapin 1 jour	48,58	16,62	2,676	2,290	1,330	2,592	6,30	192,18	98,82	41,39
B2T12	Croûte de lapin plus de 90 jours	20,02	44,54	1,996	2,620	2,458	4,115	7,17	196,49	157,15	30,58
B2T13	Croûte de chèvre 2-7jours	33,35	20,66	1,904	0,562	1,387	1,316	7,73	85,13	56,74	39,82
B3T1	Fiente pondeuse 10-12 mois	27,11	27,94	2,739	2,160	2,653	2,837	7,16	186,49	135,93	37,01
B3T2	Fiente pondeuse 5-6 mois	15,21	61,32	2,000	0,493	1,187	1,018	7,57	83,32	70,65	24,09
B3T3	Fumier chair 35-45 jours	28,64	24,94	3,893	1,460	2,703	1,815	7,59	171,72	122,54	38,17
B3T4	Fumier chair 60-70 jours (2 sem stock après élevage)	27,43	27,80	3,177	1,670	2,905	3,348	7,58	168,94	122,60	37,06

B3T5	Fumier chair 90-100 jours (7 sem stock après élevage)	15,83	27,60	3,232	1,270	2,157	2,088	7,50	148,72	125,18	37,14
B3T6	Compost ordure ménagère 2-3 mois	39,92	79,18	0,710	0,300	1,153	2,547	8,21	47,89	28,77	17,18
B3T7	Compost ordure ménagère 4-6 mois	35,82	74,52	1,122	0,364	0,748	2,788	7,28	59,33	38,08	18,98
B3T8	Lisier de porc 1 jour	80,35	18,22	3,477	0,680	2,445	0,935	7,34	122,08	23,99	40,77
B3T9	Lisier de porc 14-30 jours	43,49	42,20	2,396	1,860	2,304	1,455	7,26	163,83	92,58	31,49
B3T10	Lisier de porc plus de 90 jours	20,21	57,54	1,277	1,180	1,109	1,644	6,70	105,80	84,42	25,55
B3T11	Croûte de lapin 1 jour	44,14	15,10	2,981	2,220	1,016	1,796	6,45	194,40	108,59	41,98
B3T12	Croûte de lapin plus de 90 jours	15,51	37,64	1,684	1,430	1,733	2,602	7,58	127,05	107,34	33,25
B3T13	Croûte de chèvre 2-7jours	28,06	29,94	1,929	0,760	1,920	1,371	7,99	96,15	69,17	36,23
B4T1	Fiente poudeuse 10-12 mois	16,59	58,48	1,664	2,770	3,129	8,500	7,76	198,00	165,16	25,19
B4T2	Fiente poudeuse 5-6 mois	13,91	55,30	2,364	0,670	1,557	1,240	7,72	99,85	85,96	26,42
B4T3	Fumier chair 35-45 jours	28,33	20,50	3,191	1,490	3,057	1,937	7,86	159,63	114,41	39,89
B4T4	Fumier chair 60-70 jours (2 sem stock après élevage)	26,83	26,34	2,809	1,720	2,862	3,234	7,59	164,43	120,31	37,63
B4T5	Fumier chair 90-100 jours (7 sem stock après élevage)	17,53	33,38	3,049	1,740	2,566	3,015	7,49	170,17	140,34	34,90
B4T6	Compost ordure ménagère 2-3 mois	39,42	76,92	0,712	0,311	1,036	2,585	7,88	48,52	29,39	18,05
B4T7	Compost ordure ménagère 4-6 mois	35,93	75,88	1,183	0,323	0,692	2,850	7,26	58,34	37,38	18,45
B4T8	Lisier de porc 1 jour	74,67	21,30	2,644	0,700	2,065	0,631	7,22	106,90	27,08	39,58
B4T9	Lisier de porc 14-30 jours	30,93	37,20	1,524	1,490	1,481	1,941	7,06	127,12	87,80	33,42
B4T10	Lisier de porc plus de 90 jours	25,57	63,46	1,533	0,730	0,751	1,746	6,65	86,84	64,63	23,26
B4T11	Croûte de lapin 1 jour	31,94	15,32	2,394	2,660	0,743	2,959	6,82	206,38	140,46	41,89
B4T12	Croûte de lapin plus de 90 jours	18,52	30,32	2,320	1,390	1,691	1,986	7,58	137,32	111,89	36,09
B4T13	Croûte de chèvre 2-7 jours	31,95	17,54	2,759	1,140	1,822	1,495	7,34	132,57	90,22	41,03

Annexe 5 : Questionnaire (enquêtes de terrain)

NOM PRINCIPAL EXPLOITANT	SEXE	AGE	EDUC	STAT	TAIL	GIC	CRED	ACTIVITE (1)				EXPE	REV	ACTIVITE (2)				EXPE	REV
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]					[8]	[9]					[10]	[11]
<p>[1] Sexe de l'exploitant 1=Homme 2=Femme</p> <p>[2] Age de l'exploitant [3] Niveau d'éducation 1=Aucun 2=Primaire 3=1er cycle</p> <p>[6] Membre d'un GIC 1=Oui 2=Non</p> <p>[4] statut Matrimonial 1=Marié 2=Célibataire 3=Veuf 4=Divorcé</p> <p>[5] Taille du ménage 4=2ème cycle 5=Supérieur</p> <p>[7] Accès au crédit 1=Non 2=Fortine 3=Banque 4=Microfinance 5=GIC agriole</p> <p>[9], [11] Revenu mensuel de l'activité 1, 2 1=Moins de 25000 2=Entre 25000 et 45000 3=Entre 45000 et 100000 4=Plus de 100000</p> <p>[8], [10] Expérience en année dans l'activité 1, 2</p>																			

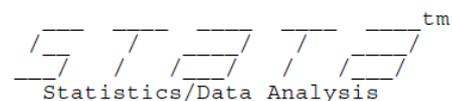
PRINCIPALES CULTURES	DESP	COM		
	[12]	[13]		
<p>[12] Destination (Proportion consommée) 1= Tout 2=+ de la moitié 3=- de la moitié 4=Rien</p> <p>[13] Circuit de vente de la production 1=Intermédiaires 2=Personnellement</p>				
Motiv	SURF	LOC	ACQ	DDPE
[14]	[15]	[16]	[17]	[18]
<p>[14] Motivation à pratiquer l'agriculture 1=Héréditaire 2=Retraite 3=Chômage et pauvreté 4=Autres</p> <p>[15] Surface principale parcelle [en m2] [16] Localisation principale parcelle 1=Bas-fonds 2=Pentes 3=Zone ordinaire</p> <p>[17] Mode d'acquisition de la parcelle 1=Héritage 2=Achat 3=Don 4=Location</p> <p>[18] Distance Domicile-Parcelle [en m]</p>				

PRINCIPAUX ANIMAUX	QTE	CONS	AWHY
	[19]	[20]	[21]
<p>[19] Quantités d'animaux élevés [20] Proportion consommée 1= Tout 2=+ de la moitié 3=- de la moitié 4=Rien</p> <p>[21] Motivation à pratiquer l'élevage 1=Héréditaire 2=Retraite 3=Chômage et pauvreté 4=Agriculture</p>			
ENGRAIS CHIMIQUES	UECH	NWHY	DEPI
	[22]	[23]	[24]
NPK			
Urée			
Engrais foliaires			
Autres			
<p>[22] Utilisez vous cet engrais chimique? 1=Oui 2=Non</p> <p>[23] Si non, pourquoi? 1=Trop chère 2=Doute sur l'efficacité 3=Indisponible 4=Sais pas ou peur d'utiliser 5=Autres</p> <p>[24] Dépenses annuelles en intrants chimiques</p>			

DECHETS ORGANIQUES	UDUO	OWHY	NWHY	CAPA	ORIG	DDUO
	[25]	[26]	[27]	[28]	[29]	[30]
Fumier de poules pondeuses						
Fumier de poulets de chair						
Lisier de porc						
Compost de déchets verts						
<p>[25] Utilisez vous cet amendement organique? 1=Oui 2=Non</p> <p>[26] Si oui pourquoi? 1=Améliore la fertilité du sol 2=Améliore la rétention d'eau 3=Permet d'évacuer ses déchets 4=Autres</p> <p>[27] Si non pourquoi? 1=Trop cher 2=Lieu de vente éloigné 3=Indisponible 4=Sais pas ou peur d'utiliser 5=Mauvaise odeur 6=Trop lourd 7=Autres</p> <p>[28] Si c'est trop chère, à combien êtes vous prêts à l'acheter? [29] Origine des DUO 1=Achat 2=Collecte gratuite à la source 3=Fabrication personnelle 4=Autres</p> <p>[30] Dépenses annuelles en DUO</p>						

MODE	DOMBAC	EAUX
[31]	[32]	[33]
<p>[31] Mode d'évacuation des déchets solides 1=Camions ramassage ou bac à ordures 2=Décharge 3=Recyclés 4=Entérés ou brûlés</p> <p>[32] Distance moyenne [en m] Domicile - Bac à ordures [33] Evacuation des eaux usées 1=A la cour 2=Dans la rigole 3=Fosse septique 4=Ruisseau</p>		

Annexe 6 : Pouvoir prédictif et effets marginaux du modèle Logit binomial



Logistic model for comp

Classified	True		Total
	D	~D	
+	26	14	40
-	58	144	202
Total	84	158	242

Classified + if predicted Pr(D) >= .5
True D defined as comp != 0

Sensitivity	Pr(+ D)	30.95%
Specificity	Pr(- ~D)	91.14%
Positive predictive value	Pr(D +)	65.00%
Negative predictive value	Pr(~D -)	71.29%
False + rate for true ~D	Pr(+ ~D)	8.86%
False - rate for true D	Pr(- D)	69.05%
False + rate for classified +	Pr(~D +)	35.00%
False - rate for classified -	Pr(D -)	28.71%
Correctly classified		70.25%

1 . mfx compute

Marginal effects after logit
y = Pr(comp) (predict)
= .32810926

variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[95% C.I.]	X
age	.0033924	.00319	1.06	0.288	-.002868 .009653	43.5826
sexe*	-.1075403	.08316	-1.29	0.196	-.270537 .055457	.681818
elev*	-.094983	.07115	-1.34	0.182	-.234426 .04446	.454545
gic*	.1811185	.07964	2.27	0.023	.025027 .33721	.392562
prop*	.1448535	.07165	2.02	0.043	.004429 .285278	.801653
pcult*	.1697608	.0856	1.98	0.047	.00198 .337541	.859504
tont*	.0315696	.06887	0.46	0.647	-.103409 .166548	.53719
lndepim	.005481	.03702	0.15	0.882	-.067073 .078035	7.74013
_Idist~1*	-.1678667	.07658	-2.19	0.028	-.317953 -.01778	.140496
_Idist~2*	-.0022879	.10779	-0.02	0.983	-.213551 .208976	.119835
_Idist~3*	-.0269372	.09329	-0.29	0.773	-.209778 .155904	.231405
_Ischo~1*	.0887335	.10515	0.84	0.399	-.117364 .294831	.380165
_Ischo~2*	-.0436489	.11232	-0.39	0.698	-.263795 .176498	.293388
_Ischo~3*	.1137668	.13932	0.82	0.414	-.159305 .386839	.157025
_Ireva~1*	-.1940724	.07152	-2.71	0.007	-.334254 -.053891	.359504
_Ireva~2*	-.1931413	.07635	-2.53	0.011	-.342777 -.043506	.206612
_Ireva~3*	-.1479177	.08479	-1.74	0.081	-.314096 .018261	.119835
_Iaire_1*	-.0949623	.08626	-1.10	0.271	-.264026 .074101	.363636
_Iaire_2*	-.1647265	.10215	-1.61	0.107	-.364936 .035483	.280992
zone*	-.0942422	.10603	-0.89	0.374	-.302051 .113567	.450413

(*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1

TABLE DES MATIERES

AVANT - PROPOS	III
RESUME	IV
ABSTRACT	V
REMERCIEMENTS	VI
DEDICACE.....	VII
LISTE DES SIGLES.....	VIII
GLOSSAIRE.....	IX
LISTE DES TABLEAUX	XIV
LISTE DES FIGURES.....	XVIII
SOMMAIRE	XX
INTRODUCTION GENERALE	1
1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....	2
2. PROBLEMATIQUE	8
3. OBJECTIFS DE RECHERCHE	11
3.1. OBJECTIFS GENERAUX	11
3.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES	11
4. HYPOTHESES DE RECHERCHE	12
5. ARCHITECTURE DE LA THESE	13
PREMIERE PARTIE : LIMITES ORGANISATIONNELLES DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN	14
INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE :	16
CHAPITRE I : FONDEMENTS THEORIQUES DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES.....	17
I.1. GENERALITES SUR LES DECHETS SOLIDES	17
I.1.1. LES DECHETS SOLIDES ET LEURS CARACTERISTIQUES.....	18

a) Les définitions du terme « déchet »	18
a ₁) Définition économique	19
a ₂) Définition juridique	20
b) La nature des déchets solides	21
b ₁) La typologie des déchets solides	21
b ₂) Les caractéristiques des déchets solides.....	26
I.1.2. LES DECHETS SOLIDES : LEUR PRODUCTION ET LEUR GESTION.....	28
a) Etat des lieux de la production des déchets dans le monde.....	28
a ₁) La production des déchets dans le monde.....	28
a ₂) Les différentes filières de traitement des déchets	31
b) Les systèmes mondiaux de gestion des déchets	41
b ₁) L'organisation des systèmes nationaux de gestion des déchets solides	41
b ₂) Les acteurs de la gestion des déchets solides.....	50
I.2. LES FONDEMENTS THEORIQUES D'UN SERVICE PUBLIC DE GESTION DES DECHETS	
.....	53
I.2.1. L'INEFFICACITE DE L'ETAT DANS LA FOURNITURE DES SERVICES PUBLICS	55
a) Les approches théoriques directement relatives aux 3P	55
a ₁) La théorie de l'inefficience-x et la théorie des choix publics	55
a ₂) La théorie du New Public Management et la théorie des marchés	
contestables.....	57
b) Les théories de la coordination.....	59
b ₁) La théorie des coûts de transaction.....	59
b ₂) La théorie de l'agence	60
I.2.2. EXTERNALITES ET THEORIE ECONOMIQUE	63
a) La nouvelle Economie Publique de la réglementation.....	64
a ₁) L'échec de la main invisible en présence d'une externalité.....	65
a ₂) L'intervention du règlementeur.....	67
b) La réfutation théorique de la réglementation systématique.....	71
b ₁) La négociation directe et la fusion.....	71
b ₂) Les autres solutions privées.....	72

CHAPITRE II: ANALYSE DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN	75
II.1. L'ORGANISATION DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN	75
II.1.1. LE CADRE INSTITUTIONNEL ET ORGANISATIONNEL DE LA GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN	75
a) <i>Le cadre institutionnel de la gestion de l'environnement au Cameroun</i>	76
a ₁) La législation et la réglementation camerounaise en matière de gestion des déchets.....	76
a ₂) Les acteurs impliqués dans la filière de gestion des déchets solides au Cameroun.....	79
b) <i>Le cadre organisationnel de la gestion publique des déchets solides à Yaoundé</i> ..	85
b ₁) L'évolution de la gestion publique des déchets solides à Yaoundé.....	86
b ₂) L'organisation de la gestion publique des déchets solides de Yaoundé.....	88
II.1.2. LA PRODUCTION ET LA COLLECTE DES DECHETS SOLIDES A YAOUNDE	94
a) <i>La production des déchets solides à Yaoundé</i>	94
a ₁) La production des déchets à Yaoundé en 2002 selon l'Institut National de la Statistique	94
a ₂) Estimation des quantités produites de déchets entre 1990 et 2008 à Yaoundé	99
b) <i>L'évolution du niveau de collecte des déchets solides à Yaoundé</i>	102
b ₁) Estimation du taux de collecte des déchets solides à Yaoundé entre 1990 et 2008.....	102
b ₂) Analyse économétrique des taux de croissances des quantités collectées et produites de déchets solides à Yaoundé entre 1990 et 2008.....	105
II.2. MISE EN EVIDENCE DU SYSTEME DE GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES A YAOUNDE.....	106
II.2.1. EVALUATION DE LA PERFORMANCE DU SERVICE PUBLIC DE GESTION DES DECHETS SOLIDES A YAOUNDE.....	107

a) Construction d'un indice composite de performance d'un service public de gestion des déchets solides	107
a ₁) Les modules de notre indice composite de performance	108
a ₂) Méthodologie de construction de l'indice composite de performance.....	118
b) Mesure de la performance du service public de gestion des déchets solides de Yaoundé.....	121
b ₁) Les modules de l'indice composite de performance à Yaoundé	121
b ₂) Calcul de l'indice composite de performance du service public des déchets solides à Yaoundé.....	129
II.2.2. PROPOSITION D'UN SYSTEME ALTERNATIF DE GESTION DES DECHETS SOLIDES A YAOUNDE ..	131
a) Analyse économique et environnementale du système de gestion actuel des déchets solides à Yaoundé	131
a ₁) Les coûts du système actuel de gestion des déchets solides.....	131
a ₂) Les sources actuelles de financement	132
b) Analyse économique et environnementale d'un système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé	133
b ₁) Estimation du coût du système alternatif de gestion des déchets solides à Yaoundé	134
b ₂) Exemple de contrat type de gestion des déchets solides.....	149
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE :	151
DEUXIEME PARTIE : PERTINENCE DU COMPOSTAGE DANS UN SYSTEME ALTERNATIF DE GESTION PUBLIQUE DES DECHETS SOLIDES AU CAMEROUN.....	155
INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE :	157
CHAPITRE III: CONTOURS THEORIQUES DE L'UTILISATION DES DECHETS ORGANIQUES EN AGRICULTURE	158
III.1. LES CONCEPTS D'AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE ET DE DECHETS ORGANIQUES.....	158
III.1.1. GENERALITES SUR L'AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE.....	159
a) L'agriculture urbaine et périurbaine : définitions et évolution	159

a ₁) Les définitions de l'agriculture urbaine et périurbaine.....	159
a ₂) Les contraintes de l'agriculture urbaine et périurbaine dans le monde.....	160
b) <i>L'agriculture urbaine et périurbaine : ses avantages et ses inconvénients.....</i>	162
b ₁) Les avantages de l'agriculture en ville.....	162
b ₂) Les inconvénients de l'agriculture en ville	164
III.1.2. GENERALITES SUR LES DECHETS ORGANIQUES	166
a) <i>Les déchets organiques : caractéristiques et utilisations en agriculture.....</i>	166
a ₁) Typologie et caractéristiques des déchets organiques.....	166
a ₂) L'utilisation des déchets organiques en agriculture.....	171
b) <i>Le compostage : un processus contrôlé de dégradation des déchets organiques</i>	176
b ₁) Définitions et modes opératoires	176
b ₂) Les avantages et les inconvénients du compostage	183
III.2. CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL DE L'UTILISATION DES DECHETS EN AGRICULTURE.....	189
III.2.1. LA THEORIE DES INNOVATIONS AGRICOLES	189
a) <i>Le cadre conceptuel et théorique des innovations agricoles.....</i>	190
a ₁) Le cadre conceptuel des innovations agricoles.....	190
a ₂) La théorie des préférences révélées.....	192
b) <i>La valeur amendante et fertilisante des déchets organiques.....</i>	194
b ₁) La valeur amendante des déchets organiques.....	194
b ₂) La valeur fertilisante des déchets organiques	196
III.2.2. LES DIFFERENTES APPROCHES DE L'ADOPTION DES INNOVATIONS AGRICOLES	198
a) <i>L'approche basée sur la fonction de production</i>	198
b) <i>L'approche basée sur la fonction de demande.....</i>	200
CHAPITRE IV : UTILISATION DES DECHETS ORGANIQUES EN AGRICULTURE URBAINE ET PERIURBAINE AU CAMEROUN.....	202
IV.1. ANALYSE AGRONOMIQUE ET VALEUR ECONOMIQUE DES DECHETS ORGANIQUES PRODUITS AU CAMEROUN.....	202
IV.1.1. CARACTERISATION DES DECHETS ORGANIQUES PRODUITS AU CAMEROUN	203
a) <i>Les déchets organiques produits au Cameroun.....</i>	203

a ₁) Le marché des déchets organiques au Cameroun	203
a ₂) La méthodologie de prélèvement des échantillons de déchets organiques	209
b) <i>Les résultats d'analyses physico-chimiques et biochimiques des déchets organiques produits au Cameroun</i>	213
b ₁) La valeur amendante et la valeur fertilisante des déchets organiques analysés	213
b ₂) Discussion des résultats	218
IV.1.2. VALEUR ECONOMIQUE DES AMENDEMENTS ORGANIQUES PRODUITS AU CAMEROUN	223
a) <i>Possibilités de substitution des engrais chimiques par le compost au Cameroun</i>	223
a ₁) Méthode de calcul de la valeur marchande des composts au Cameroun ...	224
a ₂) Prix réels et valeur marchande du compost au Cameroun	226
b) <i>Possibilités de substitution des engrais chimiques par les fumiers et fientes de volaille au Cameroun</i>	228
b ₁) Prix réels et valeur marchande du fumier de poulet de chair au Cameroun	228
b ₂) Prix réels et valeur marchande des fientes de poules pondeuses au Cameroun.....	229
IV.2. ANALYSE DES DETERMINANTS DE L'UTILISATION DES AMENDEMENTS ORGANIQUES AU CAMEROUN	232
IV.2.1. LA METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	233
a) <i>Les zones d'enquête et l'échantillonnage</i>	235
a ₁) La ville de Yaoundé.....	235
a ₂) La ville de Bafoussam.....	237
b) <i>Les modèles économétriques</i>	239
b ₁) La spécification des modèles.....	240
b ₂) Les variables explicatives : nature et effets théoriques attendus	245
IV.2.2. LES RESULTATS.....	248
a) <i>Les résultats des analyses statistiques</i>	248
a ₁) Les caractéristiques des variables explicatives	248
a ₂) Les caractéristiques des variables dépendantes.....	250

b) Les résultats de l'estimation du modèle Logit binomial et du modèle Logit ordonné	251
b ₁) Résultats de l'estimation du modèle Logit binomial	251
b ₂) Résultats de l'estimation du modèle Logit ordonné	254
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE :	258
CONCLUSION GENERALE	262
ASPECTS NOVATEURS ET ORIGINALITE DE LA THESE :	271
LIMITES DE LA THESE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE :	272
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	273
ANNEXES	310
<i>Annexe 1: Les accords internationaux relatifs à l'environnement ratifiés par le Cameroun</i>	311
<i>Annexe 2 : Exemple de contrat type de gestion des déchets solides</i>	317
Chapitre I — Objet du service	317
Chapitre II — Exécution du service	318
Chapitre III — Dispositions techniques	322
Chapitre IV — Dispositions financières	323
Chapitre V — Dispositions diverses	325
<i>Annexe 3 : Les traitements expérimentaux par site à Yaoundé et à Bafoussam</i>	328
<i>Annexe 4 : Résultats d'analyses de laboratoire de tous les échantillons prélevés à Yaoundé (Y_xT_x) et Bafoussam (B_xT_x)</i>	330
<i>Annexe 5 : Questionnaire (enquêtes de terrain)</i>	334
<i>Annexe 6 : Pouvoir prédictif et effets marginaux du modèle Logit binomial</i>	335