



REPUBLIQUE DU NIGER  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE ET  
DE L'INNOVATION  
UNIVERSITE DAN DICKO  
DANKOULO DO DE MARADI



**Faculté des Sciences et Techniques**  
**Département de Physique**

## **MÉMOIRE**

PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE POUR L'OBTENTION DE MASTER  
**Spécialité : Système Énergétique Durable pour Société en Développement**  
**(2SED)**

**Thème : Caractérisation et évaluation du potentiel énergétique  
des déchets générés à l'Université Dan Dicko Dan Koulodo de  
Maradi (UDDM)**

Présenté par

**ALI OUMAROU OUZEIROU**

Encadré par

Dr Ibrahim HAROUNA GADO

Supervisé par

Dr Laouali DUNGALL

Soutenu publiquement le 13/10/2020 devant le jury composé de :

**Monsieur Makinta BOUKAR**, Professeur Titulaire à l'Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM/Niger), Président ;

**Monsieur Dungall LAOUALI**, Professeur Titulaire à l'Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM/Niger), Superviseur ;

**Monsieur Ibrahim HAROUNA GADO**, Maître-Assistant, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM/Niger), Encadreur.

Année académique 2019-2020

## **DEDICACE**

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail que

Je dédie :

À la mémoire de mon père (paix à son âme) ;

À ma très chère mère à qui je souhaite longue vie et très bonne santé.

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à présenter mes vifs remerciements et témoigner ma sincère reconnaissance à tous ceux ou celles, qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce projet. J'ai une dette de reconnaissance envers :

Mon encadreur Dr Ibrahim HAROUNA GADO, pour sa disponibilité, ses orientations, ses précieux conseils et le partage de ses expériences professionnelles respectives qui ont contribué à l'aboutissement de ce document ;

Monsieur Dungall LAOUALI, Professeur Titulaire à l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour avoir accepté de superviser ce travail et pour sa participation au jury ;

Ma profonde reconnaissance à l'endroit de Monsieur Makinta BOUKAR, Professeur Titulaire à l'Université Abdou Moumouni de Niamey, qui s'est intéressé à mon travail et m'a fait l'honneur de présider le jury ;

Monsieur Issa BALARABE enseignant technologue à l'IUT, pour son aide précieuse dans le cadre de la réalisation et la conception des dispositifs expérimentaux ;

A L'ensemble des enseignants du FST et plus particulièrement ceux du département de physique pour tous leurs efforts et leur encadrement, voient dans ce document notre plus profonde gratitude ;

A ma mère, pour ses prières et ses précieux conseils ;

Mes frères et sœurs qui ont été d'un grand soutien dans l'évolution de notre étude à travers leur sacrifice pour nous ;

Tous les parents, amis et camarades qui ont, d'une manière ou d'une autre, apporté leur contribution durant toutes ses années d'étude.

## Table des matières

|  |      |
|--|------|
| DEDICACE.....  | ii   |
| REMERCIEMENTS .....  | iii  |
| ABREVIATIONS .....   | vi   |
| LISTE DES TABLEAUX.....  | viii |
| LISTE DES FIGURES .....  | ix   |
| RESUME.....  | xi   |
| ABSTRACT .....   | xii  |
| INTRODUCTION GENERALE.....   | 1    |
| Chapitre I : Synthèse bibliographique .....  | 3    |
| I.1. Introduction.....   | 3    |
| I.2. Généralités sur la gestion des déchets ménagers.....  | 3    |
| I.2.1 Définitions du concept « déchet ».....   | 3    |
| I.2.2 Cadre législatif, réglementaire et institutionnel de la gestion des déchets solides au Niger ..... | 3    |
| I.2.2.1 Aspects juridiques .....   | 3    |
| I.2.2.2 Aspects institutionnels .....  | 6    |
| I.3. La production des déchets urbains solides dans les PED.....   | 6    |
| I.4. Caractérisation des déchets ménagers urbains .....  | 7    |
| I.4.1 Les méthodes et modèles théoriques.....  | 8    |
| I.4.2 Les méthodes d'analyse directe .....   | 9    |
| I.5. Les différentes méthodes de la valorisation des déchets.....  | 9    |
| I.5.1 Voie thermochimique.....   | 10   |
| I.5.2 Valorisation matière.....  | 10   |
| I.5.3 Valorisation des déchets organiques .....  | 11   |
| I.6. Généralités sur la voie biologique : la méthanisation .....   | 12   |
| I.6.1 Définition et composition de la méthanisation.....   | 12   |
| I.6.3. Potentiel méthanogène des substrats.....  | 13   |
| I.6.4 Inhibiteurs de la méthanisation .....  | 16   |
| I. 7. Généralité sur la voie thermochimique : La gazéification .....                                     | 16   |
| I.7.1. Définition et principe de la gazéification .....  | 16   |
| I.7.2 Les différentes technologies de gazéification.....   | 17   |
| I.7.3 Le procédé de gazéification.....   | 17   |
| a.Séchage.....   | 17   |

|  |    |
|--|----|
| b.Pyrolyse.....  | 17 |
| c.Oxydation .....  | 18 |
| d.Réduction .....  | 18 |
| I.8 Conclusion .....   | 18 |
| CHAPITRE II : Matériels et méthode .....   | 19 |
| II.1. Introduction .....   | 19 |
| II.2. Présentation du site de l'étude .....  | 19 |
| II.3. Les matériels utilisés.....  | 19 |
| II.4. Démarche générale de la méthode .....  | 20 |
| II.4.1. Personnes concernées par l'étude .....   | 20 |
| II.4.2 Démarche de la méthode .....  | 20 |
| II.4.3 Caractérisation des déchets.....  | 23 |
| II.4.3.1. Mode opératoire.....   | 23 |
| II.4.3.2 Déroulement des campagnes de caractérisation de déchets.....                  | 24 |
| II.4.5 Evaluation du potentiel énergétique du gisement de l'UDDM.....                  | 25 |
| II.4.5. Estimation du potentiel énergétique des déchets .....                          | 26 |
| II.5. Conclusion.....  | 26 |
| Chapitre III : Résultats et discussions .....  | 28 |
| III.1. Introduction .....  | 28 |
| III.2. Détermination des personnes cibles .....  | 28 |
| III. 3. Visite préliminaire.....   | 29 |
| III.4. Etude de la caractérisation des déchets de l'UDDM .....                         | 29 |
| III.4.1. Quantité de déchets collectés.....  | 29 |
| III.4.2 Répartitions granulométriques en fonction de la saison sèche et pluvieuse..... | 30 |
| III.4.3 Répartitions par catégories et par site en fonction de saison.....             | 31 |
| III.5. Production quantitative des déchets de l'UDDM.....                              | 32 |
| III.5.1 Production spécifique selon les sites et les saisons .....                     | 32 |
| III.6. Evaluation et estimation du potentiel énergétique des déchets de l'UDDM.....    | 34 |
| III.7. Proposition d'un schéma directeur de la gestion des déchets à l'UDDM .....      | 35 |
| III.8. Conclusion.....   | 39 |
| Conclusion générale et perspectives.....   | 40 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....  | 41 |
| ANNEXE .....   | 44 |

## **ABREVIATIONS**

**ADEME** : agence de l'environnement et de la matière de l'énergie

**BOM** : benne d'ordures ménagères

**Bo** : potentiel de production

**d** : diamètre du digesteur

**D** : diamètre de la conduite

**DA** : digestion anaérobie

**DUS** : déchets urbains solides

**FST** : faculté des sciences et techniques

**FSS** : faculté des sciences de la santé

**Fig** : figure

**G** : volume de biogaz produit par jour

**GA** : gain annuel

**g** : Accélération de la pesanteur  $m/s^2$

**h** : diamètre

**IUT** : institut universitaire des technologies

**J** :  $\nabla H$  : pertes de charge

**K** : constante d'inhibition

**L** : distance de production-utilisation

**MO** : matière organique

**MODECOM** : mode de caractérisation des ordures ménagères

**MS** : matière sèche

**N** : ratio

**PVC** : polychlorure de vinyle

**PED** : pays en développement

**PAT** : personnel d'Appui technique

**Pv** : production volumique

**Qi** : débit

**RU** : restaurant universitaire

**Re** : Nombre de Reynolds adimensionnel

**S** : charge volumique

**TRH** : temps de rétention hydraulique

**Tr** : temps de retour à l'investissement

**u** : Vitesse d'écoulement m/s

**UDDM** : université dan dicko dan koulodo de maradi

**V** : volume du réservoir

**Vu** : volume utile de digesteur

**$\mu$**  : Viscosité dynamique kg/m/s

: Coefficient de résistance (coefficient de friction) adimensionnel

**$\mu_m$**  : Coefficient cinétique

: Poids volumique du biogaz kg/m<sup>3</sup>

➤ **Symbole chimique**

**AGV** : acide gras volatil

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de Carbone

**CH<sub>4</sub>** : Méthane

**CH<sub>3</sub>COOH** : acide acétique

**NH<sub>3</sub>** : Ammoniac

**N<sub>2</sub>** : diazote

**H<sub>2</sub>** : Dihydrogène

**H<sub>2</sub>S** : Hydrogène Sulfureux

➤ **Unité**

**C/N** : carbone/azote

**°C** : Degré Celsius

**J** : joule

**Kg** : Kilogramme

**KWh** : Kilowattheure

**l** : litre

**m<sup>3</sup>**: mètre cube

**%** : pourcentage

## **LISTE DES FIGURES**

|   |    |
|---|----|
| Figure 1.1 : Schéma du principe de base de la gazéification.....                              | 17 |
| Figure 2.3 : organigramme de démarche de la méthode.....                                      | 24 |
| Figure 2.2 : Tri des déchets collectés : (A) tri des gros, (B) Tri des moyens.....            | 27 |
| Figure.3.1 : Résultats des répartitions granulométriques de la saison pluvieuse et sèche..... | 34 |
| Figure. 3.2 : Répartitions par catégorie et par site pendant la saison pluvieuse.....         | 35 |
| Figure 3.3 : répartition par catégorie et par site pour la saison sèche.....                  | 35 |
| Figure 3.4 : schéma d'un système de suivis de valorisation des déchets.....                   | 41 |

## **LISTE DES TABLEAUX**

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1.1 estimation des potentiels méthanogènes de divers substrats végétaux et de déjections animal.....        | 16 |
| Tableau 1.2 : Tableau récapitulatif des conditions opératoires des différentes transformations thermochimiques..... | 19 |
| Tableau 3.1 : Tableau récapitulatif des nombres d'agents reparti en fonction de sites d'étude.....                  | 30 |
| Tableau 3.2 : quantité de déchets collectés pendant trois campagnes de caractérisations.....                        | 30 |
| Tableau 3.3 : tableau récapitulatif de la production quantitative des déchets de l'UDDM.....                        | 35 |
| Tableau 3.4 : évaluation et estimation du potentiel énergétique des déchets valorisables de l'UDDM.....             | 37 |

## **RESUME**

Le présent travail de recherche porte sur la caractérisation des déchets de l'UDDM (Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi) et propose une technique adaptée au contexte local pour valoriser les potentiels énergétiques de ses déchets. Ce travail consiste à faire un état des lieux du système de gestion des déchets, une analyse approfondie et enfin une proposition de solutions visant à améliorer la gestion actuelle des déchets. Cette étude concernera la production des déchets générés dans les facultés de l'UDDM classés par sites pendant la saison sèche et la saison humide. Ainsi, l'étude a permis de dégager une différence significative saisonnière de génération des déchets qui montre une production journalière importante de 177,25 kg pendant la saison sèche contre 34,77 kg en saison pluvieuse. La production individuelle est constatée inversement où nous avons 0,169 kg/personne/jour en période sèche et 0,297 kg/pers/jour en saison humide. À l'issue de cette étude, un système de gestion et de valorisation énergétique de ses déchets a été préconisé. Ce système s'appuiera sur des axes stratégiques d'une gestion pérenne, optimale de ses ordures ainsi que leur valorisation énergétique à travers les méthodes de bio-méthanisation, gazéification, recyclage et le compostage.

**Mots clés : déchets, valorisation, méthanisation, gazéification, recyclage**

## **ABSTRACT**

This study examines the actual way of waste management at University Dan Dicko Dan Koulodo of Maradi (UDDM) and proposes the better technical method adapted in the local context in order to valorize the energy potential contained in the waste. The main aspects related of this work are to make an inventory of the waste management system, an in-in-depth analysis and finally a proposal's solution to improve the current waste management. This study will concern the production of waste generated in the UDDM faculties classified by sites and then on two years the city of Maradi. Thus , the study found a significant seasonal difference in waste generation that shows a significant daily production of 177.25 kg during the dry season compared to 34.77 kg in the rainy season .This difference is observed inversely for waste production per kg/person/day where we had 0.169 kg/person/day in dry season compared to 0.297 kg/person/day in the rainy season .As a result of this study , a system for managing and energy efficiently reclaiming its waste was recommended. This system will rely on the strategic axes of sustainable, optimal management of its garbage as well as its valorization energy recovery through the methods of biomethanisation, gasification, recycling and composting.

**Keywords :** Waste, valorization, characterization, biomethanisation, gasification,

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les conditions d'hygiène et de salubrité se dégradent progressivement dans les villes d'Afrique subsaharienne à partir des années 1980 (Jules Raymond. N, 2015). Les pays sont sous l'emprise de la crise économique. D'autres problèmes communs aux villes africaines comme la démographie galopante et l'urbanisation non maîtrisée viennent fragiliser les systèmes de gestion des déchets mis en place. Les immondices non ramassées, les eaux usées non canalisées, les voiries dégradées sont devenues les cauchemars de la ville africaine. D'autres auteurs comme Diabagate (2009) confirment que l'un des problèmes majeurs sur le continent africain demeure celui des déchets ménagers et l'urbanisation non maîtrisée. En effet, la gestion des déchets est influencée par un système complexe de politiques et de réglementations, ainsi que par la diversité des acteurs impliqués, à savoir les producteurs des déchets, le secteur privé, les décideurs publics et les organisations non gouvernementales (Roch Edgard.G, 2010).

Cette situation est d'autant plus préoccupante que le taux de collecte et de traitement des déchets solides sont relativement très faibles voire inexistant. Les principales contraintes pour la mise en place de politique efficace et durable de gestion de déchets sont le manque de données sur la caractérisation des déchets solides municipaux, qui est un préalable à toute stratégie de gestion et la difficulté de réactualiser ces données éventuelles. Cela est dû aux coûts exagérés des méthodologies utilisées, souvent destinées aux conditions des pays développés (Fabiola. N (2010). A ces problèmes, s'ajoutent l'absence de tri, l'inefficacité de la collecte, le brûlage des déchets le long des routes, et leur élimination incontrôlée demeurent des pratiques courantes.

D'après Jules Raymond. N (2015), dans des villes africaines comme Dakar, Cotonou, Douala, Niamey et Lomé, la gestion des déchets reste une situation préoccupante. Par ailleurs, de nombreuses études réalisées à partir des années 2000 dans les villes africaines montrent que les stratégies adoptées par les Etats pour gérer les déchets urbains sont peu efficaces. En 1998, la décentralisation au Niger a fait de la gestion des déchets solides une responsabilité communale. Cette responsabilité n'a pas été accompagnée de ressources financières conséquentes. C'est ainsi que les autorités municipales, dans un souci de faire face aux impératifs de maintenir la ville propre, ont toléré l'engagement des initiatives privées et communautaires pour effectuer l'enlèvement porte à porte des déchets solides au niveau des ménages (Penda Ousmane Adamou, 2015). Cette situation n'est pas restée sans conséquences sur l'environnement et les conditions de vie des populations. La prolifération des dépotoirs

sauvages et la présence importante de sachets plastiques partout dans la ville sont des indicateurs visuels qui dénotent de la régression de la situation de l'assainissement dans la ville. En 2012, la population de la ville de Niamey est estimée à 1 026 848 habitants (RGPH, 2012). Sa production annuelle de déchets solides ménagers est passée de 264 444 tonnes en 2008 à 318 141 tonnes en 2012 pour un taux de collecte d'environ 47% (Oxfam, 2008). Il s'avère donc difficile pour les responsables politiques et les professionnels de trouver une solution satisfaisante.

Cependant, pour lutter contre ces impacts, la valorisation des déchets ménagers constitue à l'heure actuelle la préoccupation majeure et s'impose directement pour la maîtrise des coûts de gestion et la préservation de l'environnement. Ainsi, Il existe plusieurs voies de valorisation de la biomasse dont les principales sont la voie biologique, la voie thermochimique et la valorisation matière (Hamza Cheniti, 2014) :

- Voie biologique : production d'énergie thermique ou électrique par digestion anaérobie, transformation des déchets par voie biologique en engrais pour enrichir les sols (compostage) ;
- Voie thermochimique : La valorisation énergétique ou voie thermochimique consiste à les valoriser, dans des installations adaptées pour produire de l'énergie électrique et thermique ;
- Valorisation matière : utilisation des déchets comme matières premières secondaires.

Ce travail de mémoire s'intéresse donc à l'utilisation des déchets solides issus de l'Université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi comme source d'énergie. Il porte sur une étude de caractérisation de déchets générés à l'UDDM et son mode de traitement. En effet, les déchets produits dans les différents sites de l'UDDM peuvent être valorisés énergétiquement à travers les différentes méthodes de valorisation des déchets. Enfin un système de gestion de déchets sera proposé dans le but de faciliter cette technique de réutilisation des déchets. Ce présent document est reparti en trois (3) chapitres. Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique, le deuxième chapitre porte sur la méthodologie adoptée, le troisième chapitre est consacré sur les résultats et discussions et enfin la conclusion générale et les perspectives.

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

### **I.1. Introduction**

Avec une consommation de plus en plus grande et de plus en plus diversifiée partout en Afrique, la production des déchets solides ne cesse d'augmenter quantitativement et qualitativement engendrant ainsi d'énormes risques sur l'environnement et sur la santé humaine. Au Niger cette situation est d'autant plus préoccupante que le taux de collecte et de traitement des déchets solides sont relativement très faibles voire inexistant. Ainsi donc trouver une solution adéquate à la gestion (traitement et valorisation), des déchets ménagers qui possèderaient une bonne potentialité de réutilisation s'avère nécessaire et multi-bénéfique. Ce présent chapitre, porte sur la généralité de gestion des déchets et sa caractérisation ainsi que l'évaluation du potentiel énergétique de ses déchets.

### **I.2. Généralités sur la gestion des déchets ménagers**

#### **I.2.1 Définitions du concept « déchet »**

Dans le langage courant, le terme déchet désigne ordure, immondice, ou tout autre résidu rejeté parce qu'il n'est plus consommable ou utilisable et donc n'a plus de valeur. Le Petit Larousse définit le déchet comme étant ce qui est perdu dans l'emploi : déchet de laine, les épiluchures de pommes de terre, les chutes de matières générées lors de la fabrication d'un objet sont donc des déchets, mais dans les sociétés de consommation productrices des biens en abondance, il faut élargir ce concept à l'ensemble des objets et matériaux qui ne servent plus en l'état où ils sont à un moment donné. Les techniciens pourront donc dire qu'un déchet est un matériau qui n'est pas à sa bonne place, les économistes, c'est un objet qui n'a pas de valeur (Hamza Cheniti, 2014). Ainsi en son article 3 le code définit un déchet comme étant « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Ces dernières années, le déchet tend à devenir un produit de valeur, une matière première qui entre progressivement dans un cycle de récupération et de recyclage.

#### **I.2.2 Cadre législatif, réglementaire et institutionnel de la gestion des déchets solides au Niger**

##### **I.2.2.1 Aspects juridiques**

- **La constitution**

Promulguée par le décret n°99-320/PCRN du 25 Novembre 2010, la constitution du Niger consacre au titre relatif aux droits et devoirs de la personne humaine en son article 27, le droit de toute personne à un environnement sain. L'Etat veille à la protection de l'environnement. Chacun est tenu de contribuer à la sauvegarde et à l'amélioration de l'environnement dans lequel il vit.

- **La loi N°98-56 du 29 décembre 1998 portant loi-cadre relative à l'environnement**

Cette loi dont la promulgation est intervenue après celle de l'ordonnance 97-001 du 10 janvier 1997, est un texte fédérateur en matière de gestion de l'environnement. Il intègre les principales dispositions des principaux textes adoptés pour la gestion des différents secteurs de l'environnement. Il fixe ainsi le cadre juridique général et les principes fondamentaux de la gestion de l'environnement au Niger, d'où le nombre important de ses articles (105) répartis entre cinq (5) titres. Dans la série des dispositions prises pour la protection de l'environnement par la loi cadre sur la gestion de l'environnement, on peut noter le souci constant de protection de l'environnement dans toute sa dimension. Ainsi, dans la section 5 du chapitre II de la protection de l'environnement relative aux déchets, il est dit que toute personne qui produit ou détient des déchets dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore ou la faune, à dégrader les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et d'une façon générale à porter atteinte à la santé de l'homme, des animaux domestiques et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination ou le recyclage conformément aux dispositions du code d'hygiène publique et des textes d'application de la loi. L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances mentionnées plus-haut. Aussi les collectivités territoriales décentralisées assurent l'élimination des ordures ménagères, excréta, eaux usées et autres déchets assimilés sur l'étendue de leur territoire en collaboration avec les services publics ou privés chargés de l'hygiène et de l'assainissement.

- **Ordonnance n°93-014 du 2 mars 1993 portant régime de l'eau**

Elle a pour objet de définir et de déterminer le régime des eaux sur toute l'étendue de la République du Niger et les conditions d'utilisation de ces ressources. Avec ce texte, le Gouvernement s'attaque aux diverses sources de pollution des eaux en interdisant d'une part de faire des dépôts d'immondices, ordures ménagères de toute nature, pierres, graviers, bois,

déchets industriels dans le lit ou sur les bords des cours d'eau, lacs, étangs ou lagunes et canaux du domaine public (article 27) et d'autre part d'effectuer des déversements, dépôts et enfouissement de ces déchets susceptibles d'altérer directement ou indirectement la qualité des eaux souterraines.

- **Ordonnance n°93-13 du 2 mars 1993 instituant un code d'hygiène publique**

Cette ordonnance et le décret N° 99-433/PCRN/MSP du 1er novembre 1999 (fixant la structure, la composition et le fonctionnement de la police sanitaire) posent les règles d'hygiène publique (aussi bien l'hygiène sur les voies et places publiques que dans les habitations, l'hygiène des denrées alimentaires, de l'eau, celle des installations industrielles et commerciales, celle du milieu naturel, la lutte contre le bruit). Ainsi en son article 3 le code définit un déchet comme étant « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Dans le chapitre I relatif à l'hygiène sur les voies et places publiques, il est dit à l'article 9 que les dépôts d'immondices, de détritrus, de ferrailles, des épaves, des futs usés, des décombres et gravats d'ordures sont strictement interdits. Les lieux de dépôt des ordures ménagères et les récipients qui doivent les contenir sont réglementés par le texte. Ces récipients pourraient être placés en bordure des rues pour être enlevés par les soins du service de voirie et ce conformément à la réglementation en vigueur dans la localité. Il en ressort ainsi que les dépotoirs sauvages sont interdits malgré leur existence de fait dans les collectivités alors même que ces collectivités « doivent doter toutes les agglomérations importantes d'infrastructures sanitaires appropriées dont l'installation relève des services chargés de leur gestion sous le contrôle des services chargés de l'hygiène et de l'assainissement public ou privé ». Les agents de ces services feront des inspections domiciliaires pour prodiguer des conseils à la population afin d'assurer une hygiène et une salubrité permanentes dans les habitations. Ils sont ainsi chargés de faire appliquer les normes d'hygiène et d'assainissement au niveau des habitations. Comme on peut le constater, cette ordonnance, de notre point de vue, cerne tous les aspects de la réglementation en matière de gestion des ordures en particulier et de l'environnement en général.

- **Ordonnance n°89-24 du 8 décembre 1989 portant prohibition de l'importation des déchets industriels et nucléaires toxiques.**

Texte adopté dans le contexte de la CEDEAO sur les mouvements transfrontaliers des déchets toxiques, cette ordonnance vient s'ajouter à l'arsenal juridique sur les déchets. Tout en définissant clairement la notion de déchets en son article 1, elle fait de l'importation, le transit des déchets industriels et nucléaires toxiques et de toutes autres substances nocives, la détention, le stockage, l'achat ou la vente de telles matières importées un crime (article 2). Ce que la constitution reprend en qualifiant de crime contre la Nation. Elle précise en particulier le niveau des sanctions prévues. Le Niger a par ailleurs ratifié la Convention de Bâle en 1998 élargissant ainsi la réglementation à l'ensemble des déchets dangereux, cette dernière a été complétée par la Convention de Bamako. Comme on peut le constater des textes pour gérer les déchets existent, cependant à l'instar de la majorité des textes réglementaires que le pays a adoptés, l'application fait défaut. Il s'agit de « l'effectivité car aussi bien les pouvoirs publics que des particuliers opèrent dans ce domaine en marge des dispositions légales, en raison notamment des contraintes financières » Maïdouka et al (1998). A ces difficultés d'ordre financier s'ajoutent les contraintes d'ordre comportemental. En effet, rares sont les ménages qui appliquent les règles élémentaires de gestion des déchets définies dans le code de l'hygiène publique compte tenu de leur ignorance de ces normes ; ceci paraît à la limite compréhensible quand on voit le peu de cas qu'en font les services administratifs et les agents chargés de leur application.

### **I.2.2.2 Aspects institutionnels**

La gestion des déchets, comme tout ce qui concerne l'environnement urbain, est le domaine d'intervention de plusieurs Ministères et de leurs directions, ce sont les acteurs institutionnels de l'administration centrale. Il sera fait état ici uniquement des Directions ayant une responsabilité directe dans la gestion des déchets comme entre autre : Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Publique et du Développement Durable (MESP/DD) ; Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité Publique, de la Décentralisation, des Affaires Coutumières et Religieuses (MISPDACR) ; Ministère de l'Urbanisme et du Logement (MU/L) ; Direction Générale de l'Environnement et des Eaux et Forêts (DGE/EF) ; Secteur privé et structures associatives ; Les arrondissements communaux.

### **I.3. La production des déchets urbains solides dans les PED**

Il a été prouvé dans presque toute la littérature dédiée à ce sujet, une différence significative entre la génération des déchets par habitant dans les PI (Pays Industrialisé) et celle des PED. La moyenne de production se situe autour de 1,7 kg/hab/j pour les PI, et autour de 1 kg/hab/j

pour les PED. Cette différence s'explique en partie par les niveaux de vie et les modèles de consommation. Les PI abritent des sociétés dites de consommation, avec un niveau de vie élevé. Charnay (2005) indique que le modèle de consommation est marqué par la rapidité d'utilisation des produits à courte durée de vie avec des emballages importants. Or les PED, sont à l'opposé de ce modèle et le niveau de vie est moins important. Le modèle de consommation est basé sur les produits locaux, bruts ou semi fini, utilisant un emballage minimum. Ces différences dans les modèles de consommation conjuguées aux conditions de développement inhérentes aux PED pausent quelques difficultés méthodologiques et techniques quant à la gestion des déchets.

Actuellement les PED connaissent une hausse relative du niveau de vie conséquence de la mondialisation ; ouverture des frontières et libéralisation du commerce mondial, et une accélération du processus d'urbanisation ce qui a quelque peu exagéré les difficultés intrinsèques aux PED dans la prise en charge des déchets. Pour Bras (2010), une hausse de 1% du standard de qualité de vie (augmentation du revenu par habitant) est associée une augmentation de 0,34 % de la production de déchets. Aussi une augmentation de la croissance de 1% correspond à une augmentation de 1,04 % de la génération de déchets (Beede et al 1995). C'est pourquoi, le flux de déchets solides, est en augmentation continue et peut varier même au sein d'une ville, d'un quartier à l'autre.

Par exemple, La production des déchets dans les villes de plus de 100.000 habitants au Benin en 2007 était de 220 638 tonnes/an avec une production de 0,5 kg/hab/j, tandis que pour les villes de 10.000 à 50.000 habitants la production était de 204.895 tonnes/an avec 0,38 kg/hab/j (Melhyas KPLE, 2015). Ces résultats montrent que la production moyenne de déchets par habitant serait fonction du niveau de vie, et, dans une certaine mesure, du taux d'urbanisation. Ces moyennes journalières se rapprochent relativement de celles des capitales magrébines ; 0,89 kg/hab/j pour le Grand Casablanca, de 0,8 kg/hab/j pour Tunis et 0,21 kg/hab/j pour Nouakchott (Mauritanie) un taux particulièrement bas en raison de la valorisation de la matière organique par les ménages comme aliment du bétail. Par contre les moyennes des villes des PI contrastent avec celles des PED, la production est de 2 kg/hab/j à New York, 1,51 kg/hab/j à Paris, et 1,59 kg/hab/j à Madrid (Hamza Cheniti, 2014).

#### **I.4. Caractérisation des déchets ménagers urbains**

L'étude de la composition des déchets est très nécessaire pour une bonne gestion et ce pour plusieurs raisons citées par Hamza Cheniti (2014) et Sidi O.A (2006).

Pour Sidi O.A (2006), C'est seulement dans les années 80 que la démarche de caractérisation des déchets, est apparue comme un préalable indispensable pour la mise au point des stratégies nationales ou bien locales des déchets. La mise en place de données fiables sur la caractérisation des déchets est un préalable à toute approche de gestion efficace de ces résidus. La disponibilité de ces informations capitales permet essentiellement :

- D'évaluer la masse de déchets générée et de suivre son évolution en vue de planifier et de définir les stratégies futures en matière de gestion et de traitement ;
- D'évaluer le potentiel de valorisation (compostage, recyclage des métaux et du carton, etc.) ou les besoins pour le traitement et l'enlèvement des déchets ;
- D'optimiser le mode de traitement en connaissant précisément la composition des déchets ;
- De prédire les émissions de ces déchets dans l'environnement et éventuellement de travailler sur l'atténuation de leur impact.

La caractérisation des déchets n'est pas universelle car elle dépend de l'objectif fixé dès le départ pour atteindre les résultats souhaités par celle-ci. Il existe plusieurs façons de caractériser un déchet. Brunner et Ernst (1986), suggèrent une caractérisation suivant des paramètres divisés en trois groupes :

- Matériaux (papier, verre, métaux, etc.) ;
- Paramètres physiques, chimiques ou biologiques (masse volumique, teneur en eau, biodégradabilité, etc.) ;
- Composition élémentaire (carbone, mercure, etc.).

Il est toutefois important de signaler que la détermination de tous ces paramètres n'est pas toujours nécessaire. Il est souvent suffisant d'analyser un seul groupe spécifique pour répondre à une question donnée sur la gestion des déchets. Par exemple, pour le recyclage matière, l'analyse du groupe matériaux est suffisante alors que l'évaluation de l'impact des émissions de l'incinération sur l'environnement nécessite une analyse de la composition élémentaire des déchets (Brunner et Ernst, 1986). La caractérisation peut être abordée de 2 manières différentes, soit par des méthodes et modèles théoriques, soit par des méthodes d'analyse directe sur les déchets.

#### **I.4.1 Les méthodes et modèles théoriques**

La méthode la plus utilisée est la méthode dite « material flows methodology » développée par l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (EPA in Ademe, 1993). Cette

méthode se base sur l'analyse des produits mis sur le marché et repose sur le principe que tous les produits sont commercialisés et consommés ; puis après usage ils sont rejetés en tant que déchets. De ce fait si on arrive à connaître avec précision les quantités de chaque produit manufacturé mis sur le marché ainsi que les durées de consommation respectives de ces produits, alors les quantités de déchets générées pourraient être calculées.

Comme toutes les méthodes théoriques, cette méthode est plus rapide et moins coûteuse, si on la compare aux méthodes d'analyse directe sur les déchets. Cependant, elle présente des inconvénients ; elle ne touche que quelques produits dont les données peuvent être accessibles (tels que le papier, le verre, les plastiques). Et elle ne tient pas compte des facteurs de variation locaux, comme par exemple, les modes et niveaux de vie ou les facteurs climatiques (Hamza Cheniti, 2014).

#### **I.4.2 Les méthodes d'analyse directe**

Les méthodes d'analyse directe sont basées sur l'échantillonnage et le tri manuel des déchets (dans un secteur donné) pour déterminer leur composition selon des catégories prédéfinies. Ces méthodes reposent généralement sur des protocoles qui définissent les principes d'échantillonnage et de tri de déchets lors d'une campagne de caractérisation. De nombreuses méthodes d'analyse directe peuvent exister dans chaque pays, dont les plus connues sont :

- La méthode allemande ARGUS : méthode développée par l'Agence allemande de l'Environnement en 1979-1980 et en 1983-1985 ;
- La méthode belge de l'IBGE, méthode développée par l'Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement ;
- La méthode française MODECOM, méthode développée par l'Agence française de l'Environnement (ADEME, 1994) ;
- La méthode irlandaise de l'EPA, méthode développée par l'Agence irlandaise de l'Environnement.

Cette multiplicité de méthodes montre que plusieurs d'entre elles pouvaient être employées et donner lieu à de différents résultats et par conséquent à des interprétations divergentes (Hamza Cheniti, 2014). Cependant, cette méthode d'analyse directe est la mieux adaptée à notre situation compte tenu du contexte de notre étude.

#### **I.5. Les différentes méthodes de la valorisation des déchets**

On appelle valorisation de déchet, toute action qui permet d'en tirer de l'énergie, de trouver un nouvel usage de la matière qui le compose, de tirer une matière première secondaire utile à

la fabrication du même bien, de trouver un nouvel usage à l'objet ou de permettre à un déchet de redevenir utile pour d'autre, affirme Jenyfer T (2015). Selon leur nature, les déchets sont valorisés suivant plusieurs méthodes de valorisation dont entre autre : la valorisation énergétique (la voie thermochimique), la valorisation matière et la valorisation organique ou voie biologique.

### **I.5.1 Voie thermochimique**

La transformation thermochimique assure aujourd'hui probablement plus de 95% de la valorisation énergétique de la biomasse selon Faradji (2011). La nature même des constituants de la biomasse va induire de façon privilégiée, mais non exclusive, certaines filières de valorisation énergétique. Les trois principales conversions thermochimiques de la biomasse couramment développées correspondent à la gazéification, la pyrolyse, et la combustion. Ces trois voies sont rassemblées sous le terme de conversion thermochimique, qui fait référence à un ensemble de processus intervenant sous l'action de la chaleur et produisant des changements de nature chimique des composés constituant les produits d'origine, souligne Faradji (2011).

### **I.5.2 Valorisation matière**

La valorisation matière (ou recyclage) consiste à remplacer totalement ou partiellement une matière première en réintroduisant un déchet dans le cycle de production. Il existe plusieurs catégories des déchets valorisables par recyclages qui sont :

- ❖ *Le recyclage du plastique* : il va permettre de fabriquer d'autres bouteilles ou bidons, Chaises, raccord et bouillard fabriqués à base de déchets en plastiques, ou d'autres matières comme des laines polaires.
- ❖ *Recyclage de verre* : Le verre usagé peut être recycle soit par réemploi direct grâce à de consigne ou les bouteilles sont récupérées, lavées et réutilisées soit en ré-fabriquant la matière première. Le verre récupéré peut se recycler indéfiniment sans perdre ses qualités originelles.
- ❖ *Le recyclage de certains métaux* : Le recyclage des métaux est une ressource de matière première très favorable au développement durable. Il consiste à produire de matière première à partir de déchets et à les réintroduire dans le cycle industriel. Par exemple, il peut permettre de produire du fil d'acier, des canettes....
- ❖ *Recyclage de textiles* : Selon la matière première du textile, plusieurs modes de recyclages existent. Les textiles usagés en coton majoritaire sont transformés en

chiffon d'essuyage destinés aux industries. Les textiles usagés en laine sont effilochés puis cardés pour fabriquer du fil utilisé dans la fabrication de couvertures. Les textiles lourds sont broyés pour fabriquer des matières isolantes destinées à l'industrie automobile et au bâtiment. Les textiles non transformables partent à l'incinération dans des unités de valorisation énergétique. Ces méthodes de valorisation nécessitent une technologie coûteuse.

### **I.5.3 Valorisation des déchets organiques**

Les déchets organiques ont la caractéristique d'être entièrement biodégradables. Ils sont fermentescibles, c'est-à-dire qu'ils peuvent être traités par compostage ou méthanisation.

- *Compostage* : Le compostage est la fermentation à l'air libre de la matière organique par l'action de micro-organismes. Les résidus organiques se transforment par ce procédé biologique en terreau noir, odorant et riche en humus appelé le compost. Le compost améliore et fertilise les sols, et est utilisé comme engrais pour la culture du gazon, des fleurs, des légumes et d'autres plantes. Recycler tous les déchets alimentaires et organiques pour en faire du compost est un geste éco-citoyen qui s'inscrit dans les principes du développement durable : il limite le volume des déchets et offre à la terre un engrais écologique.
- *Méthanisation* : La méthanisation, appelée également digestion anaérobie ou encore fermentation méthanique, est un processus naturel de dégradation biologique de la matière organique dans un milieu sans oxygène due à l'action de multiples micro-organismes (bactéries). Elle produit un gaz, appelé « biogaz », composé principalement de méthane (de 50 à 70%) et de dioxyde de carbone. C'est le méthane contenu dans le biogaz qui lui octroie ses vertus énergétiques. Cette réaction produit également un résidu réutilisable en tant que fertilisant pour l'agriculture. Le captage du biogaz issu de la méthanisation permet la production de chaleur ou d'électricité, aussi de limiter le rejet dans l'atmosphère du méthane, puissant gaz à effet de serre et contribue ainsi à la lutte contre le réchauffement climatique.

Après la présentation des différentes méthodes de valorisation des déchets, il est impératif de choisir les méthodes qui correspondent à notre réalité compte-tenu de différentes catégories de déchets (plastiques, papiers-cartons, fermentescibles feuilles de manguiers, métaux, verres), de plusieurs paramètres matériels, financiers et environnementaux. Au regard de tous ses éléments qui demeurent indispensables pour les méthodes de valorisation des déchets, il

ressort de notre étude que les déchets fermentescibles seront valorisés par voie organique à travers deux systèmes qui sont la bio-méthanisation et le compostage. Cette méthode présente deux avantages : le premier est la production de chaleur ou l'électricité qui pourrait être destinées à une partie du restaurant universitaire et le deuxième est la production du compost qui est un fertilisant pour les sols, et est utilisé comme engrais pour la culture des plantes. En outre, les déchets plastiques, papiers-cartons et les feuilles de manguiers peuvent être valorisés par la voie thermo-chimique à travers le système de gazéification. Ce système aussi a pour avantage la production de gaz qui peut être utilisé dans un moteur ou un brûleur après épuration. Enfin, les métaux et les verres peuvent être recyclés pour produire de nouvelles matières premières et les réintroduire dans le cycle industriel.

## **I.6. Généralités sur la voie biologique : la méthanisation**

Le biogaz s'obtient à travers un processus naturel de dégradation de la matière en absence d'oxygène, par un ensemble de flores microbiennes spécialisées qui exigent des conditions physico-chimiques spécifiques. Ce processus est appelé méthanisation (Amahrouch A, 2010). L'intérêt énergétique de ce biogaz par Flaurant P (2011) réside dans sa forte teneur en méthane qui lui confère un pouvoir calorifique relativement élevé. Le biogaz est convertible en pratiquement toutes les formes utiles d'énergie.

### **I.6.1 Définition et composition de la méthanisation**

La méthanisation encore appelée digestion anaérobie ou fermentation méthanique est un processus biologique basé sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlés et en l'absence d'oxygène (réaction en milieu anaérobie). La digestion anaérobie est un processus à travers lequel la matière organique est transformée en absence d'oxygène en biogaz principalement constitué de méthane et de gaz carbonique qui peut être utilisé pour la production d'électricité et de chaleur (Safiatou Kouraogo, 2016). Cette digestion se déroule dans un réacteur ou enceinte close appelée digesteur, qui aboutit à la production :

- Du biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50% à 70% de méthane( $\text{CH}_4$ ), de 20% de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et de quelques traces ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ).
- Du digestat, produit humide riche en matière organique partiellement stabilisé utilisé comme fertilisant (Philippe Njampou, 2011).

### **I.6.3. Potentiel méthanogène des substrats**

C'est le volume maximal de méthane produit par une tonne de matière fraîche. Celui-ci dépend principalement :

- De la teneur en matière organique : plus le taux de matière organique est élevé, plus le volume de biogaz produit sera important ;
- De la composition de la matière organique : les graisses sont plus méthanogènes que les protéines ou les hydrates de carbone (Guide méthanisation territoriale et multi partenariale, Coop de France, FNCUMA, 2011).

Ces deux critères permettent d'avoir un regard critique sur les matières disponibles. Cependant, les potentiels méthanogènes des différents gisements ne s'additionnent pas forcément, il faut au préalable vérifier l'équilibre alimentaire du mélange. Tous les substrats ne disposant pas du même potentiel méthanogène. Le choix de la matière organique à méthaniser est donc fondamental. En effet, toute matière organique fraîche et non lignifiée (bois et branchages) peut être méthanisée. Pour assurer une bonne digestion, le mélange doit être équilibré et doit contenir plusieurs types des substrats. De nombreux intrants de natures différentes peuvent être utilisés.

- Les déjections animales : leur pouvoir méthanogène est faible mais elles apportent des bactéries essentielles à la réaction biologique. De plus, elles stabilisent le pH du milieu ;
- Les matières végétales telles que les résidus de récolte, les déchets de silos et de céréales, les déchets de fruits et légumes, ont souvent de hauts potentiels méthanogènes et sont facilement assimilables par les bactéries. Ils présentent aussi un fort taux de matières sèches et ont également une teneur en carbone haute ;
- Les lisiers : ont une teneur en matière organique faible ;
- Les fumiers : ont un taux de matière organique plus élevé. Ils servent de support aux bactéries ;
- Certains de ces déchets (abattoirs par exemple) sont soumis réglementairement à des prétraitements par exemple : hygiénisation (Guide méthanisation territoriale et multi partenariale, Coop de France, FNCUMA, 2011).
- Les co-substrats : ils sont utilisés comme complément aux substrats car le pouvoir méthanogène d'un substrat agricole n'est généralement pas assez élevé pour assurer seul la rentabilité du projet. Ces produits proviennent des industries agroalimentaires

pour les graisses ou les huiles, des restaurants ou bien de collectivités pour les matières plus sèches comme les tontes de pelouses (DDT/SAE/BAT, Guide à l'intention de porteur des projets.

Tableau 1.1 Estimation des potentiels méthanogènes de divers substrats végétaux et de déjections animal (Philippe Njampou, 2011).

| Auteurs                              | substrat  | T°C                                    | valeurs B <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /tMO)                                 |
|--------------------------------------|---|--|--|
| Moller et al. (2004a)                | fèces +urine :<br>Porc<br>Bovins  | 35                                     | 350<br>350   |
| Moller et al. (2004b)                | 3 fèces bovin<br>2 lisiers bovins<br>5 fèces Porc<br>3 fèces Truie<br>Refus lisier porc<br>2 Refus lisier porc<br>Paille  | 35                                     | 100 à 161<br>150 à 207<br>340 à 403<br>250 à 317<br>261<br>159 et 247<br>195 |
| Hansen et al (2004)                  | déchet organique cellulose  | 55                                     | 495<br>379   |
| Buffière et al (2005)                | Salade<br>Carottes<br>Herbe<br>Pomme de terre<br>Banane<br>Pomme<br>Orange<br>cellulose   | 55                                     | 294<br>338<br>338<br>427<br>289<br>317<br>297<br>345                         |
| Mladno-vska et al (2005)             | Fraction solide<br>Déjection  | 55                                     | 233±17 à<br>289±14   |
| Amon et al. (2004)                   | 6 Lisiers V lait  | 38                                     | 126 et 166   |
| ADEME (2016)                         | Déchets de cuisine<br>Papiers-cartons<br>Feuilles végétaux<br>Textiles  | 45                                     | 80 à 130<br>170 à 250<br>50 à 70<br>100 à 150                                |
| Chandier et al.(1980)                | Paille<br>Rafle mais<br>Feuille mais<br>Résidus de céréales<br>Eau jacinthe<br>Papier journal<br>Fèces éléphant<br>Fientes poulet<br>Lisier porc<br>3 déjections VL | 35                                     | 211<br>274<br>252<br>300<br>206<br>53<br>284<br>295<br>407<br>259 à 270      |
| Hill (1984) Données d'autres Auteurs | 3 lisiers porcins<br>3 lisiers bœufs<br>2 lisiers bœufs<br>2 lisiers bœufs<br>3 lisiers V lait<br>Lisiers V lait<br>2 lisiers Volaille                              | 35<br>35<br>60<br>55<br>35<br>60<br>35 | 320<br>220 à 240<br>230<br>240<br>139 à 146<br>124<br>230 à 280              |

#### **I.6.4 Inhibiteurs de la méthanisation**

L'inhibition se traduit généralement par une baisse de la production du méthane et une accumulation des acides gras volatils (AGV) selon (J. Luc Farinet ,2008). Outre les facteurs physico-chimiques, comme le pH et la température, plusieurs substances peuvent avoir un effet nocif sur la digestion anaérobie.

- **Ammoniac (NH<sub>3</sub>)** : l'ammoniac en concentrations au-delà de quelques grammes par litre peut inhiber la phase méthanogène de la digestion anaérobie. Ces concentrations de NH<sub>3</sub> peuvent être causées par un apport élevé de matières riches en protéines, comme les restes d'élevage et les déchets agroalimentaires.
- **Les métaux lourds** : ils ne sont pas biodégradables et peuvent s'accumuler en concentration très toxiques. Ceux identifiés particulièrement préoccupants concernent le chrome, le fer, le cobalt, le cuivre, le zinc, le cadmium et le nickel. Philippe Njampou (2011) souligne que de nombreuses études révèlent que la toxicité des métaux lourds est la principale cause de déstabilisation et d'échec de la méthanisation. Ils perturbent le métabolisme des bactéries et peuvent contaminer le digestat et donc les sols.
- **Les inertes** : tels que les sables, les matières plastiques (non biodégradables) : ils peuvent perturber le fonctionnement du digesteur (sédimentation et/ou blocage des pompes), et viendront polluer les sols lors de l'épandage du digestat.
- **Les ligneux (bois, branchage)** : les bactéries anaérobies ne digèrent pas la lignine (Guide méthanisation territoriale et multi partenariale, Coop de France, FNCUMA, 2011).

### **I. 7. Généralité sur la voie thermochimique : la gazéification**

#### **I.7.1. Définition et principe de la gazéification**

La gazéification est un procédé complexe qui regroupe plusieurs processus de transformation. D'après sa signification de base, le terme gazéification signifie transformer la biomasse en gaz. En ce sens, la combustion ou la pyrolyse sont des gazéifications plus ou moins complètes. Habituellement, on considère que la gazéification doit mener à la production maximale de gaz « combustibles ». Ainsi, le plus souvent, la gazéification consiste à produire des gaz à partir du résidu carboné issu de la pyrolyse (Melhyas KPLE, 2015). Après épuration, le gaz peut être utilisé dans un moteur ou dans un brûleur. Espérance S.S (2013) souligne que la gazéification peut se faire sous différents gaz réactants : vapeur d'eau,

dioxyde de carbone ou encore hydrogène. C'est une réaction endothermique qui se déroule dans un domaine de température comprise entre 800 et 1500°C. Il s'agit plus précisément de l'oxydation partielle du carbone contenu dans le combustible solide. Une fois la biomasse exposée à la chaleur, elle sèche puis se dégrade par pyrolyse.

### **1.7.2 Les différentes technologies de gazéification**

Différents types de réacteurs de gazéification ont été développés : four tournant, four à lit fixe, four à lit fluidisé, lit entraîné. La différence est basée sur les moyens supportant le combustible solide dans le réacteur, le sens de l'écoulement de la charge et de l'oxydant, et la source de la chaleur fournie au réacteur. Deux grandes familles de technologies peuvent être distinguées :

- Celles associées à des phénomènes lents caractérisées par des conditions de chauffage modérées et par des temps de séjour du solide au sein du réacteur de plusieurs heures.
- Celles associées à des phénomènes rapides caractérisées par des conditions de chauffage sévères et par des temps de séjour du solide au sein du réacteur de l'ordre de quelques secondes (Melhyas KPLE, 2015).

### **1.7.3 Le procédé de gazéification**

Dans le processus de la gazéification, la biomasse est soumise à quatre phénomènes thermochimiques complexes qui se succèdent qui sont : le séchage, la pyrolyse, l'oxydation et la réduction. Ils sont toujours présents mais leur déroulement et leur configuration spatiale et temporelle peuvent différer selon le mode d'introduction de la biomasse, l'agent gazéifiant et le type de gazogène (Luc Gerun, 2007).

#### **a. Séchage**

Sous l'effet de la chaleur, le combustible subit tout d'abord un séchage. Le séchage se termine à une température inférieure à 200°C. Certains auteurs séparent cette étape en deux : le séchage pour des températures inférieures à 100°C et le préchauffage de 100 à 200°C indique Gado I.H. (2014). Suivant la technologie de gazéification, un séchage préalable peut être nécessaire si le taux d'humidité est supérieur à 25%. Ce phénomène est très endothermique, il requiert donc beaucoup d'énergie (Luc Gerun, 2007).

#### **b. Pyrolyse**

C'est la conversion de la biomasse sèche en produits solides et en vapeurs condensables et en gaz incondensables sous l'action de la chaleur et en absence d'un agent gazéifiant, à partir de

250°C. La composition des gaz incondensables produits dépend évidemment du combustible utilisé mais aussi du taux de chaleur apporté au système. Il s'agit essentiellement de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>. La partie condensable est composée essentiellement de vapeur d'eau et de composés organiques – aldéhydes, acides acétiques, dérivés des sucres, phénols, HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), alcools, ... regroupés sous l'appellation « goudrons ». Ces goudrons sont particulièrement nocifs pour les moteurs ou turbines car ils se condensent sous forme de solides visqueux très difficiles à détruire. Ils constituent donc l'un des principaux freins à la valorisation du biogaz des gazogènes sur le plan technique comme sur celui économique, le traitement des gaz étant onéreux (Luc Gerun, 2007).

### **c. Oxydation**

Au cours de la phase d'oxydation, les produits gazeux issus de la pyrolyse et une partie du charbon s'oxydent par contact avec l'oxygène de l'air. La quantité d'air est inférieure à la quantité stœchiométrique. De ce fait, l'oxydation est souvent qualifiée d'oxydation partielle ou combustion partielle. L'oxydation partielle produit du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O). Cette étape est très exothermique et fournit la chaleur nécessaire à l'ensemble du procédé de la gazéification pour un procédé autothermique.

### **d. Réduction**

La phase de la réduction est la phase de la conversion du combustible en gaz. En effet, le charbon obtenu lors de la pyrolyse est d'abord oxydé en partie lors de l'oxydation partielle. Ensuite, le reste du charbon est réduit par le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) issu de l'oxydation et/ou la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) introduite dans le réacteur. La réduction produit le gaz combustible composé en général de monoxyde de carbone (CO) et du dihydrogène (H<sub>2</sub>).

## **I.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous découvrons les différentes méthodes de caractérisation des déchets qui constituent des étapes indispensables avant toutes autres questions relative à la valorisation énergétique des déchets. En effet, ces différentes méthodes de caractérisation permettent de valoriser ces déchets sous quatre (4) formes qui sont : la méthanisation, le compostage, la gazéification et le recyclage. Au terme de ce chapitre, il en ressort la nécessité de procéder à une caractérisation des déchets avant l'élaboration d'un plan de gestion des déchets adapté. De plus, la gazéification et la méthanisation sont des procédés applicables pour la valorisation des déchets pour satisfaire les besoins en énergie thermique et électrique

## **CHAPITRE II : Matériels et méthode**

### **II.1. Introduction**

La caractérisation des déchets consiste à déterminer la composition d'un gisement donné de déchets. Il s'agit d'une phase préalable nécessaire à toute approche efficace de gestion. Cette campagne de caractérisation des déchets de l'UDDM va permettre non seulement d'évaluer la production de déchets, de suivre leur évolution et d'étudier la possibilité de leur valorisation en utilisant les modes de traitement les mieux adaptés au contexte étudié et les moins préjudiciables pour l'environnement. Ce chapitre présentera les matériels utilisés, les méthodologies que nous avons suivies pour mener cette étude de caractérisation des déchets, ainsi que le potentiel énergétique que constituent ses gisements de l'université Dan Dicko Dan Koulodo de Maradi.

### **II.2. Présentation du site de l'étude**

L'Université Dan Dicko Dan koulodo de Maradi (UDDM) est une Université Nigérienne située à Maradi la capitale économique du Niger. Elle a été ouverte en 2008 avec un institut Universitaire de technologie (IUT). L'Université Dan Dicko Dan koulodo de Maradi (UDDM) a été créée par la loi n°2014-49 du 16 octobre 2014, après la modification de l'ordonnance n°2010-40 du 1<sup>er</sup> juillet 2010, modifiée par l'ordonnance n°2010-079 du 9 décembre 2010.

Notre travail est axé sur la caractérisation et la valorisation des déchets générés au sein de l'UDDM plus précisément au niveau de ses quatre composantes à savoir les trois facultés FST, FSS, FASE et l'institut Universitaire de technologie (IUT). Ainsi, pour étudier les fluctuations saisonnières possibles dans les quantités et la composition de déchets, l'étude a été réalisée pendant les deux saisons caractéristiques de la ville : en saison humide (août-septembre) qui correspond à la période des grandes vacances et en saison sèche (octobre – novembre) correspondant au période de la reprise des activités académiques.

### **II.3. Les matériels utilisés**

Plusieurs matériels ont été utilisés dans le cadre de la réalisation de ce présent projet dont entre autre : un dispositif comportant un support de tri de déchets, un (1) crible 120 et 80 mm pour les gros et un deuxième (2) cribles de 60 et 30 mm pour les moyens et enfin un (1) bac de récupération des fines. A part ce dispositif, d'autres matériels comme les Sacs poubelles,

un (1) marker, trois (3) gants contre les chocs et trois (3) masques de protection ont été utilisés lors des opérations de collectes et de tri de déchets. Enfin une balance a été utilisée pour la pesée des masses de déchets triés.

#### **II.4. Démarche générale de la méthode**

Dans le cadre de la réalisation de ce travail, des activités ont été définies en vue d'atteindre les objectifs fixés par l'étude. Une méthodologie de travail a été adoptée pour mener à bien ces différentes activités.

##### **II.4.1. Personnes concernées par l'étude**

Les personnes ciblées dans notre étude sont le personnel de l'UDDM, qui sont : les Enseignants-Chercheurs et Technologues, les Personnel Administratif et Technique (PAT) et les étudiants, travaillant dans les différents sites de notre zone d'étude. L'étude de la caractérisation concerne les ordures produites par ces populations pendant la saison pluvieuse (août, septembre) et pendant la saison sèche (octobre, novembre).

##### **II.4.2 Démarche de la méthode**

Les démarches préalables adoptées pour mener cette étude s'articulent sur huit (8) phases principales :

- Première Phase, Visite préliminaire : nous avons effectué une visite préliminaire dans chaque site de l'université où nous nous sommes entretenus avec le personnel de PAT notamment les manœuvres sur les questions relatives à la gestion des déchets ;
- Deuxième phase : Dans l'optique de mieux mener les campagnes de caractérisation des déchets, nous avons reparti notre cadre d'étude en fonction des sites à savoir : Décanat, FSS, FST et l'IUT (administration, bâtiment de l'étudiants et restaurant universitaire),
- Troisième phase : cette étape rentre dans le cadre d'élaboration d'une stratégie adaptée pour collecter les déchets issus de différents sites de l'UDDM. C'est dans ce sens que nous avons procédé en premier lieu à l'évacuation des déchets se trouvant dans les poubelles afin de pouvoir démarrer la campagne de collecte. Ainsi les sacs poubelles qui serviront à collecter ces déchets pour cette étude ont été déposés dans chaque site,
- Quatrième phase : une fois l'installation des sacs poubelles, l'étape suivante consistera à collecter les déchets pendant une semaine. Pour ce faire, dans le souci d'éviter une perte de déchets, nous avons décidé de passer deux fois pendant la semaine pour collecter ces déchets. Cependant, il faut noter que nous avons choisis une semaine de

collecte parce que nous estimons la même production pendant chaque semaine durant la période concernée,

- Cinquième phase : cette phase constitue la collecte des déchets et son transport au niveau du centre de tri et d'échantillonnage, situé dans l'atelier de Génie mécanique,
- Sixième phase : c'est l'étape de caractérisation des déchets qui constitue le tri, l'échantillonnage ainsi que la pesée de tous les déchets collectés lors d'une campagne.
- Septième phase : c'est l'une des phases la plus importante de l'étude qui consiste à l'évaluation du potentiel énergétique de tous les déchets caractérisés.
- Huitième phase : cette dernière étape est basée sur l'élaboration d'un schéma directeur pour la gestion des déchets à l'UDDM.

En effet, toutes ses démarches se résument sous forme d'un organigramme que nous représentons dans par la figure II.1

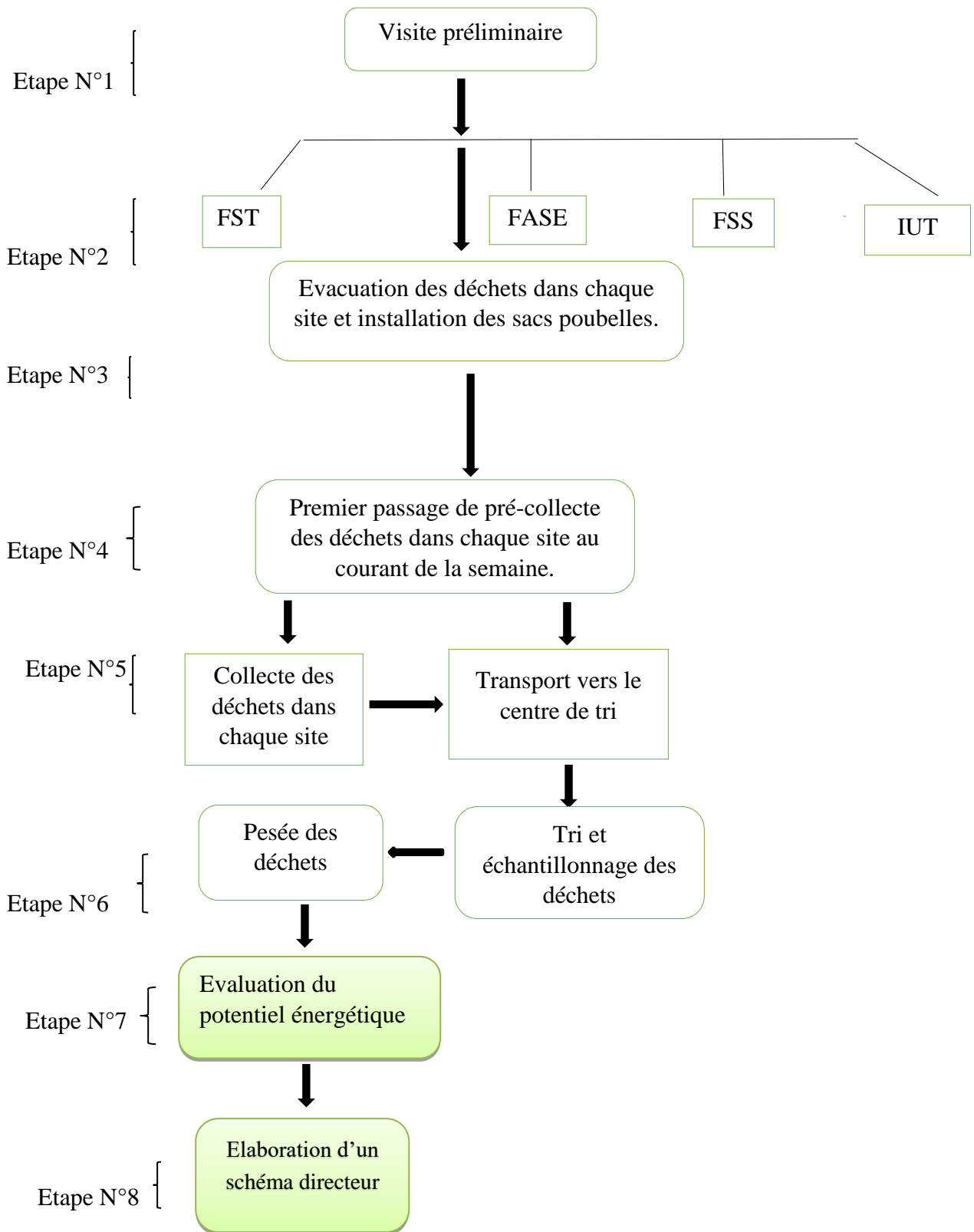


Figure II.1 : organigramme de démarche de la méthode

### **II.4.3 Caractérisation des déchets**

La caractérisation des déchets consiste à déterminer la composition d'un gisement de déchets donné. Dans notre cadre d'étude, les déchets sont constitués essentiellement de 8 catégories à savoir : papiers cartons, plastiques, verres, métaux, fermentescibles, feuilles de manguier, textiles, divers. A cet effet, nous avons vu dans la partie généralités qu'ils existent plusieurs méthodes pour caractériser les déchets. Ainsi, dans notre étude nous nous sommes inspirés de MODECOM (Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères) : méthode de caractérisation des ordures ménagères définie par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) car elle permette de garantir une représentativité des caractéristiques des déchets, notamment pour l'échantillonnage, pour les tailles des déchets, du tri granulométrique, pour le choix du type et des catégories de déchets, et aussi pour les différentes analyses à réaliser. La procédure qui a été adoptée dans notre étude consiste à collecter les déchets de chaque site pendant une semaine. Dans ce cas, trois (3) campagnes de caractérisations ont été réalisées sur l'ensemble des sites de l'UDDM pendant les saisons pluvieuse et sèche. Les campagnes se sont déroulées sur une semaine complète et les opérations de tri ont été effectuées trois (3) jours après les collectes.

#### **II.4.3.1. Mode opératoire**

Cette opération consiste à rassembler tous les déchets collectés au même endroit et à procéder à leur échantillonnage. Cette étape se déroule comme suit :

- Peser l'ensemble des déchets du site à échantillonner ;
- Verser la totalité de ces déchets pesés sur le crible supérieur ;
- Remuer ces ordures pour séparer les gros (diamètre supérieur à 80 mm) du reste des déchets. Les gros restent dans le crible supérieur tandis que le reste des déchets tombe dans le deuxième crible. ;
- Procéder à l'échantillonnage en fonction de chaque catégorie des déchets ;
- Peser chaque catégorie de déchets échantillonnés tout en notant leurs poids sur le cahier de prise de note pour chaque cas ;
- Procéder de la même manière pour le crible inférieur c'est-à-dire les moyens dont la granulométrie est située entre 60 et 30 mm de diamètre ;

- Récupérer les fines restantes se trouvant dans le bac de récupération et peser leur masse aussi ;

#### **II.4.3.2 Déroulement des campagnes de caractérisation de déchets**

##### **a. Organisation**

La campagne de caractérisation s'est déroulée pendant trois (3) semaines et dans trois (3) périodes différentes :

- La première campagne s'est déroulée pendant la saison pluvieuse du 25/08/18 au 01/09/18.
- La deuxième campagne a débuté pendant la saison sèche dans la période du 04/10/18 au 11/10/18.
- La troisième campagne s'est déroulée aussi pendant la saison sèche du 07/11/18 au 14/11/2018.

##### **b. Déroulement des opérations de tri**

Nous avons réalisé le tri selon 8 catégories de déchets. La table de tri comporte 2 cribles et 1 bac de récupération de fines, que nous superposons de manière à ce que le crible 120 et 80 mm soit sur la partie supérieure, le crible 60 et 30 mm dans la partie intermédiaire et enfin, le bac sur la partie inférieure. Cette opération se fera de manière à ce que les gros et les moyens seront triés par échantillon et les fines ne seront pas considérés dans cette caractérisation parce qu'elles contiennent majoritairement des sables et des petits morceaux des papiers qui sont difficiles à triés. Ainsi, les déchets de chaque site de l'université ont été triés séparément.

###### **➤ Le tri des gros (diamètre de crible > 80 mm)**

Le tri commence d'abord en pesant les déchets collectés contenus dans chaque sac poubelle tout en notant le poids dans le cahier de prise de note. Ensuite On déverse ces déchets sur le crible supérieur, Remuons régulièrement les déchets afin que les éléments soient séparés correctement par tranche granulométrique et que seuls les éléments de diamètre supérieurs à 80 mm restent au-dessus de crible supérieur. Après nous allons procéder au tri des gros par catégories dans chaque poubelle assignée. Le tri a été limité à 8 catégories des éléments (papiers cartons, plastiques, verres, métaux, fermentescibles, feuilles de manguier, textiles divers). Il faut noter que chaque catégorie triée est pesée et sa masse est notée.

###### **➤ Le tri des moyens (60mm < diamètre de crible > 30 mm)**

Le tri des moyens a été fait d'abord en enlevant le crible de 120 et 80 mm de la table de tri. Ensuite nous avons remué les déchets se trouvant dans le crible de 60 et 30mm. L'opération continue en pesant la totalité des moyens. Puis les moyens sont triés par catégorie et les déchets de chaque catégorie sont pesés. Le restant est constitué des fines qui resteront dans le bac de récupération. Ces fines n'ont pas été triées du fait qu'elles contiennent en grande majorité de sables.



Figure II.2 : Tri des déchets collectés : (A) tri des gros, (B) Tri des moyens

#### II.4.5 Evaluation du potentiel énergétique des déchets de l'UDDM

La valorisation du potentiel énergétique des déchets de l'UDDM pourrait répondre aux besoins énergétiques d'au moins une partie des besoins du restaurant universitaire. En ce sens, les papiers-cartons, les plastiques et les substrats collectés issus du restaurant universitaire pourrait posséder un bon potentiel énergétique. À travers ces deux gisements, deux méthodes nous paraissent nécessaires à savoir la valorisation thermochimique et la valorisation organique (méthanisation) :

- La gazéification : Les papiers-cartons, les plastiques seront gazéifiés pour la production du gaz qui peut être injecté dans un moteur ou dans un brûleur pour l'alimentation en électricité et en chaleur.
- La bio-méthanisation : cette méthode nous permettra de méthaniser les substrats collectés au niveau du restaurant universitaire ainsi que tous les fermentescibles produits au niveau de chaque site. Le biogaz issu de cette méthanisation des déchets permettra la production de chaleur au profit du restaurant universitaire

#### **II.4.5. Estimation du potentiel énergétique des déchets**

Pour évaluer la possibilité de l'utilisation d'une ressource énergétique, il faut non seulement considérer les conditions techniques d'une transformation énergétique mais aussi la disponibilité en ressources. Il existe quatre catégories de potentiel de biomasse qui sont : le potentiel théorique, technique, économique et réalisable (Nina Runge et al 2002)

- Le potentiel théorique : désigne l'énergie utilisable, offerte par les lois physiques, c'est à dire les flux de matières correspondants à une zone et un laps de temps précis, indépendamment des obstacles techniques ou organisationnels. Cette catégorie représente le potentiel fondamental/principal qui n'est donc pas pris en compte pour l'application ;
- Le potentiel technique quant à lui, décrit la partie utilisable du potentiel théorique en tenant compte des restrictions techniques, écologiques, structurelles et légales ;
- Le potentiel économique tient compte des restrictions économiques et entraîne ainsi des interprétations multiples ;
- Le potentiel aménageable/réalisable fait référence à la quantité réelle (réaliste) de biomasse utilisable pour un projet.

Ainsi, Le potentiel énergétique est obtenu, en multipliant la quantité de déchet utilisable par la valeur énergétique du type de déchet et par le rendement moyen des équipements de conversion

La valeur du rendement énergétique dans l'évaluation de ce potentiel sera considérée à 25% pour l'énergie électrique et 70% dans le cas de l'énergie thermique (Martin J. et Amie Assouh A, 2005). Il est important de noter ici que le potentiel méthanogène de déchets fermentescibles de céréales ( $0,3\text{m}^3/\text{Kg}$ ) de tableau 1.1 plus haut, sera assimilé à notre potentiel méthanogène dans notre cadre d'étude. Cependant, pour effectuer cette estimation, on s'intéresse aux catégories de déchets concernées par les différentes voies de valorisation citées dans notre étude. L'évaluation des proportions obtenues pour chacune des voies de valorisation, permettra d'opter pour la voie la mieux adaptée afin de l'intégrer dans la gestion des déchets solides de l'UDDM.

#### **II.5. Conclusion**

La caractérisation des déchets solides permet de connaître la quantité et la composition des ordures d'une zone donnée afin de les valoriser suivant plusieurs modes. Ce chapitre résume la méthodologie que nous avons utilisée pour la caractérisation des déchets de l'UDDM.

Cette caractérisation nous a permis aussi d'évaluer le potentiel énergétique de ces déchets. Le prochain chapitre expliquera de manière plus détaillée les résultats suivis de discussion.

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

### **III.1. Introduction**

Le présent chapitre présentera les résultats et les discussions issus des travaux. Le présent chapitre s'articule principalement sur la présentation des résultats en fonction des sites des deux saisons d'étude ainsi que sur l'évaluation du potentiel énergétique des déchets de l'UDDM. Un schéma directeur de la gestion des déchets a été proposé à la fin pour mieux orienter et assainir le cadre de vie et de travail à l'UDDM.

### **III.2. Détermination des personnes cibles**

Dans le cadre de notre étude, une stratégie a été adoptée pour estimer les nombres des personnes qui contribuent à la production des déchets à l'UDDM réparties en fonction de sites :

- Pour les sites de FASE, FSS et FST, les déchets sont produits par le personnel travaillant sur ces lieux, qui sont les Enseignants-Chercheurs et les PAT.
- Pour ce qui est de site de l'IUT, nous avons considéré que les déchets sont produits par le personnel administratif, les Enseignants technologues, et les étudiants résidant au sein de l'Institut Universitaire de Technologie (IUT).

C'est dans cette optique que nous avons procédé à la recherche des informations sur cette population cible, auprès de service de personnel pour les personnel administratif et chef service logement pour le cas des étudiants. En plus, une enquête a été menée dans le dortoir en passant chambre par chambre afin d'estimer les nombres des étudiants qui résident dans le bâtiment mais qui ne sont pas propriétaires de chambres. Afin de se rapprocher des nombres de ces personnes, nous nous sommes inspirés des données administratives obtenues auprès de service de personnel de l'université. Cette enquête a permis d'avoir les nombres des agents classés en fonction de leur site et lieu de travail (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Tableau récapitulatif du nombre d'agents repartit en fonction de sites d'étude

| SITES | Enseignants | PAT | Agents de CROU | Etudiants résidants dans le bâtiment | Total |
|-------|-------------|-----|----------------|--------------------------------------|-------|
| FASE  | 15          | 10  | -              | -                                    | 25    |
| FST   | 23          | 19  | -              | -                                    | 42    |
| FSS   | 9           | 6   | -              | -                                    | 15    |
| IUT   | 27          | 25  | 128            | 428                                  | 608   |
| Total | 74          | 60  | 128            | 428                                  | 690   |

### III. 3. Visite préliminaire

D'après les informations obtenues auprès du personnel de PAT, l'UDDM n'a pas un système de gestion des déchets organisé. La pratique qui est le plus souvent utilisée pour les personnes responsables des gestions déchets est celle de les collecter et de les brûler. Cette pratique n'est pas sans conséquence pour l'environnement, non seulement elle pollue l'atmosphère mais aussi elle dégrade l'environnement de manière dangereuse.

### III.4. Etude de la caractérisation des déchets de l'UDDM

#### III.4.1. Quantité de déchets collectés

La présente étude a permis de faire trois (3) campagnes de caractérisation pendant deux périodes de l'année. Les quantités de déchets collectés sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 3.2 : quantité de déchets collectés pendant trois campagnes de caractérisations

| Campagnes de caractérisations de déchets | Quantité collectées (kg) | Saisons   |
|--|--------------------------|-----------|
| Première campagne                        | 34,77                    | Pluvieuse |
| Deuxième campagne                        | 63,12                    | Sèche     |
| Troisième campagne                       | 114,13                   | Sèche     |

A partir de la caractérisation de ces déchets, les résultats obtenus ont été classés par sites de l'UDDM, à savoir :

- Résultats de FST
- Résultats de FSS
- Résultats de l'IUT (administration, Bâtiment de l'étudiant)
- Résultats de FASE (décanat)

- Résultats globaux

Ces résultats ont été répartis selon :

- Les proportions par granulométries (gros, moyens, fines)
- Les répartitions par catégories et par site (8 catégories).

### III.4.2 Répartitions granulométriques en fonction de la saison sèche et pluvieuse

La présente figure 3.1 présente les résultats pour la répartition granulométrique respectivement en fonction de saison sèche et pluvieuse.

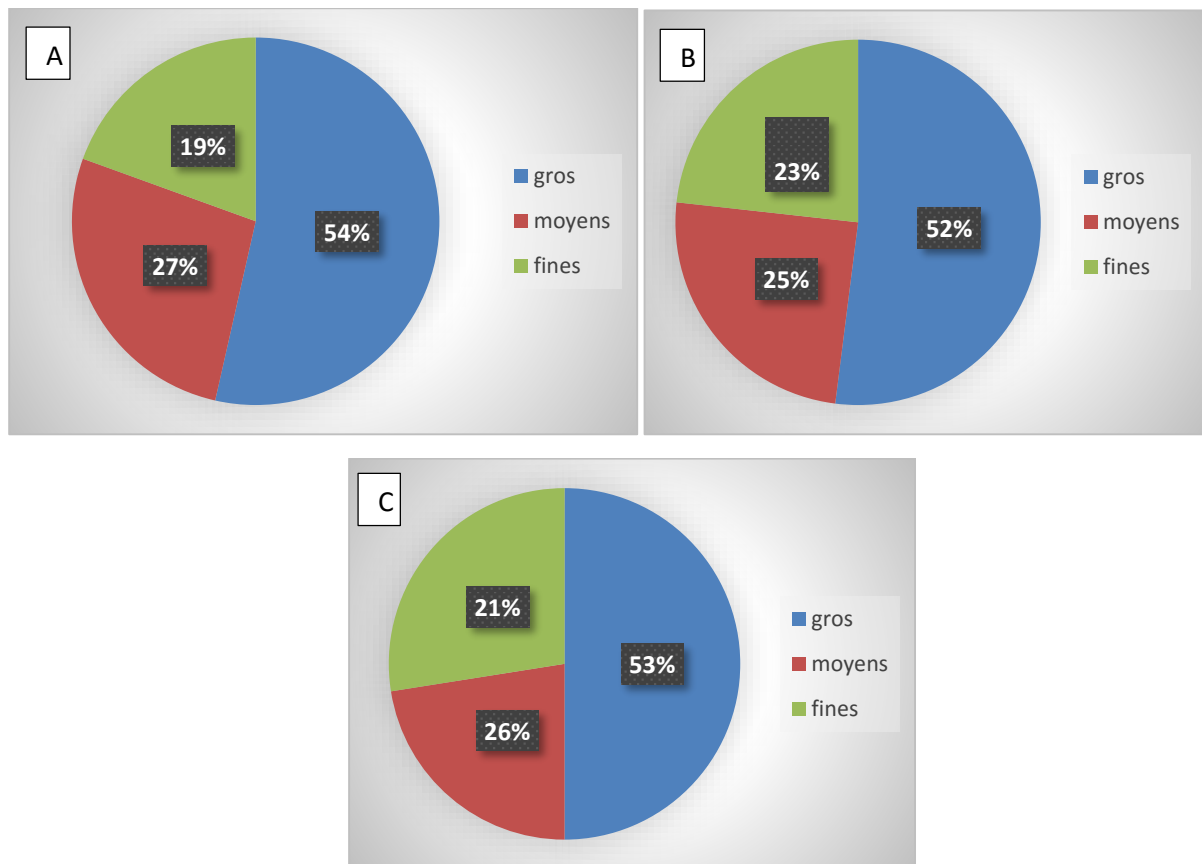


Figure III.1 : Composition granulométrique des déchets : (A) saison sèche ; (B) saison pluvieuse ; (C) Ensemble des déchets

On constate que dans les résultats pour chaque saison il y'a une dominance de gros. Cette dominance des gros semble être corrélée avec la réalité des différents lieux de notre étude. Suivant une autre granulométrie, (Jules Raymond Ngambi, 2015) a trouvé les résultats granulométriques, des déchets ayant une dimension >100 mm sont fortement représentatifs. Ils sont essentiellement constitués aussi des éléments tels que les matières putrescibles, les plastiques, le carton, le papier. Toutefois, on remarque les quantités des gros et moyens sont plus importantes pour la saison sèche qu'en saison pluvieuse. Cette différence est influencée

du fait de la reprise des activités académiques pendant la saison sèche. Cependant, sur l'ensemble de déchets, on constate aussi une dominance de gros et moyens pour les deux périodes de l'étude.

### III.4.3 Répartitions par catégories et par site en fonction de saison

La répartition par catégorie des déchets en saison sèche et pluvieuse est donnée dans la figure III.2.

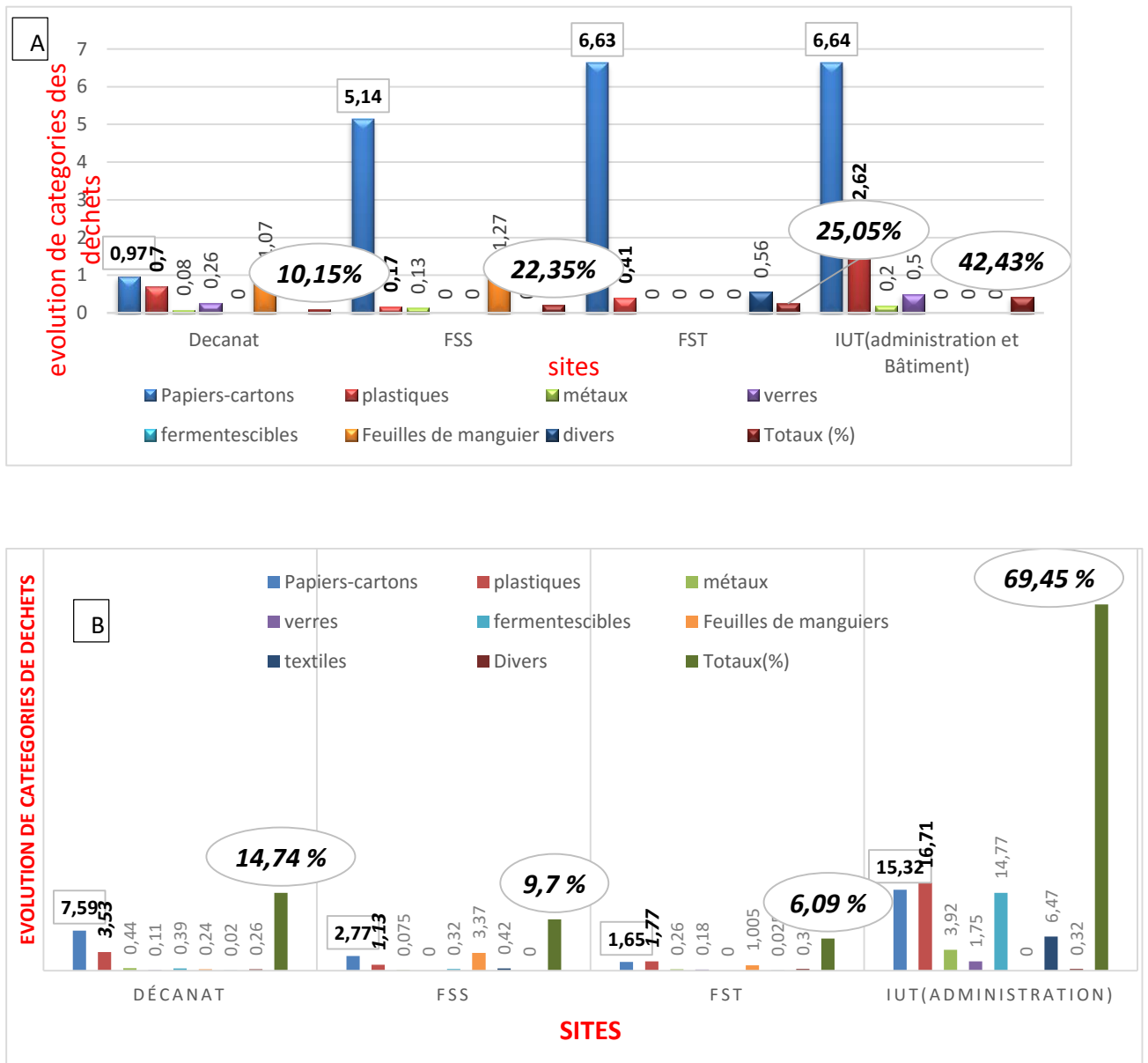


Figure.III.2 : Répartitions par catégories et par site des déchets collectés. (A) : saison pluvieuse ; (B) saison sèche.

La figure III.2 met en évidence une variation de la composition des déchets en fonction du site. La répartition montre que les papiers-cartons dominent en masse dans tous les quatre (4)

sites d'étude. Ceci est dû au fait qu'il s'agit d'un milieu universitaire où les papiers-cartons sont utilisés quotidiennement. On remarque ensuite une faible variation des plastiques dans chaque site, excepté une quantité un peu importante dans le site de l'IUT et ceci est dû à la présence des étudiants dans le dortoir. D'autre part, on constate que la production la plus importante des déchets en saison pluvieuse se situe dans le site de l'UIT avec 42,43% de la production totale suivi de FST avec 25% de la production totale. En outre, la répartition des déchets par catégories et par site en saison sèche varie légèrement en fonction du site avec toutefois de très faibles différences entre FSS et FST pour toutes les catégories. Ainsi, pour les sites de l'IUT et FASE, on constate une nette différence de production des déchets avec 69,45% de production totale de déchets pour l'IUT et 14,74% pour la FASE. Cette hausse de la production des déchets au niveau du site de l'IUT s'explique non seulement par la reprise des activités académiques et aussi par la présence des étudiants dans le dortoir au niveau de ce site.

La répartition en fonction de saison a pour but d'étudier l'influence saisonnière sur la génération des déchets à l'UDDM. On constate que l'élément commun dans la composition des déchets de l'UDDM est la dominance des papiers-cartons dans les gisements. On peut justifier cette présence dans presque tous les sites d'étude. La caractérisation a mis en évidence de variations significatives sur la production des déchets par catégorie en fonction de la saisonnalité, comme le montre la figure III.2. La génération des déchets varie selon les sites de production et aussi en fonction de saison. Ainsi, les résultats obtenus pendant la saison sèche montrent une augmentation des quantités générées de presque toutes les catégories des déchets dans le site de l'IUT avec en moyenne une hausse de 28 % par rapport à la saison pluvieuse. Il faut aussi noter l'impact de la saison sur la composition des déchets avec notamment l'augmentation de certaines catégories comme les papiers-cartons qui passe de 6,69% à 15,32% respectivement en saison pluvieuse et sèche au niveau du site de l'IUT. Cette même augmentation dans le même site a été constatée sur les déchets plastiques avec une grande différence de production allant de 02,26% à 16,71% respectivement pour les deux saisons pluvieuse et sèche. Ceci s'explique naturellement du fait qu'il y'a beaucoup plus des personnes dans ce site en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

### **III.5. Production quantitative des déchets de l'UDDM**

#### **III.5.1 Production spécifique selon les sites et les saisons**

Les productions spécifiques selon les sites et les saisons ont été répartis dans le tableau 2 ci-dessous. Il convient de noter, que pour la saison pluvieuse on a pris 10% (43 personnes) des

étudiants au lieu de 428 et ils seront considérés dans le calcul de la production journalière des déchets par personne au niveau du site de l'IUT. En effet, peu d'étudiants restent sur le campus durant cette période. De même que les agents de CROU ne seront pas pris en compte du fait qu'ils ne travaillent pas pendant cette même période des grandes vacances qui coïncident à notre période d'étude de la saison pluvieuse. Par conséquent, le nombre des personnes au niveau du site de l'IUT pour la saison pluvieuse correspond à 95 y compris les Enseignants (27) et les PAT (25).

Tableau 3.3 : Tableau récapitulatif de la production quantitative des déchets de l'UDDM

| Sites                   | Personne | Production journalière (kg) |            | Production (kg/pers./jour) |            | Production par période (kg) |            |
|-------------------------|----------|-----------------------------|------------|----------------------------|------------|-----------------------------|------------|
|                         |          | Avec fines                  | Sans fines | Avec fines                 | Sans fines | Avec fines                  | Sans fines |
| <b>Saison pluvieuse</b> |          |                             |            |                            |            |                             |            |
| FST                     | 42       | 7,190                       | 7,06       | 0,171                      | 0,168      | 431,4                       | 423,6      |
| FASE                    | 25       | 12,05                       | 8,06       | 0,482                      | 0,322      | 723                         | 483,6      |
| FSS                     | 15       | 7,6                         | 6,78       | 0,506                      | 0,452      | 456                         | 406,8      |
| IUT                     | 95       | 15,5                        | 12,87      | 0,163                      | 0,135      | 930                         | 772,2      |
| Total                   | 117      | 42,34                       | 34,77      | 0,361                      | 0,297      | 2540,4                      | 2086,2     |
| <b>Saison sèche</b>     |          |                             |            |                            |            |                             |            |
| FST                     | 42       | 10,46                       | 10,19      | 0,249                      | 0,242      | 3138                        | 3057       |
| Décanat                 | 25       | 52,12                       | 27,97      | 2,084                      | 1,118      | 15636                       | 8391       |
| FSS                     | 15       | 23,89                       | 13,56      | 1,592                      | 0,904      | 7167                        | 4068       |
| IUT                     | 608      | 120,94                      | 118,53     | 0,198                      | 0,194      | 36282                       | 35559      |
| Total                   | 690      | 207,41                      | 170,25     | 0,300                      | 0,169      | 62223                       | 53175      |

L'analyse de ces résultats, qui ne prennent pas en compte les particules fines, montre la production journalière des déchets (sans fines) pendant la saison sèche est plus importante avec 170,25 kg contre 34,77kg de la saison pluvieuse. Cette augmentation des quantités générées (sans les particules fines) est en moyenne de 85% par rapport à la période humide. Ceci est dû à l'évolution des activités académiques qui entraînent une forte génération de déchets pendant cette période.

D'autre part, la plus importante production totale par kg/pers/jour (sans fine) est observée pendant la saison pluvieuse avec 0,361 kg/pers/jour et 0,297 kg/pers/jour (avec fines). Tandis que pour la saison sèche on enregistre une production journalière par personne moins

importante de 0,300 kg/pers/jour (sans fines) et 0,169 kg/pers/jour (avec fines). Cette différence de production est due à l'augmentation du nombre de personnes qui produisent ses déchets.

En outre, la production par période en fonction du site la plus importante est constatée en saison sèche au niveau du site de l'IUT avec 36282 kg contre celle observée en saison pluvieuse de 930 kg dans le même site. Ainsi, la production totale par saison pour la période sèche est estimée à 53175 kg (sans fines) et 62223 kg (avec fines), tandis que pour la saison humide on constate une production moins importante de 2540,4 kg (avec fines) et 2086,2 kg (sans fines). Cependant, cette analyse montre une variation significative entre les deux saisons, qui s'explique évidemment par les multiples activités académiques d'une part et aussi par l'influence de la présence de beaucoup des personnes pendant cette période sèche d'autre part. Cette différence saisonnière a été prouvée par Sidi O.A (2006), montrant une forte génération de déchets en général à tous les niveaux pendant la saison sèche par rapport à la saison humide. Ainsi, ce résultat est similaire aux résultats de la présente étude malgré la différence du contexte.

### III.6. Evaluation et estimation du potentiel énergétique des déchets de l'UDDM

Le tableau 3.4 présente la quantité annuelle des déchets valorisables par les deux procédés de gazéification et méthanisation. Ces déchets sont principalement les papiers-cartons, les fermentescibles collectés lors des campagnes de caractérisation ainsi que la quantité des substrats (fermentescibles) produits pendant une semaine au niveau du restaurant universitaire. Ce tableau présente aussi les potentiels énergétiques annuels et journaliers de ces deux procédés de gazéification et de méthanisation.

Tableau 3.4 : évaluation et estimation du potentiel énergétique des déchets valorisables de

L 'UDDM

| Procédé de valorisation             | Gazéification   | Méthanisation          |                        |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|
|                                     |                 | Fermentescibles        | Fermentescibles du RU  |
| Type de déchet                      | Papiers- carton |                        |                        |
| Total (kg)                          | 27031,9         | 11307,7                | 9776,78                |
| Taux d'humidité                     | 23%             | 60%                    | 60%                    |
| Facteurs de production ou rendement | 60%             | 0,3 m <sup>3</sup> /kg | 0,3 m <sup>3</sup> /kg |
| PCI                                 | 18 MJ/kg        | 36,5 MJ/m <sup>3</sup> | 36,5 MJ/m <sup>3</sup> |

|                                     |           |          |          |
|-------------------------------------|-----------|----------|----------|
| Potentiel énergétique annuel (MJ)   | 224797,28 | 49524,66 | 42822,29 |
| Potentiel énergétique par jour (MJ) | 615,88    | 135,68   | 117,32   |

Les résultats du tableau 3.4 s'est révélé une estimation obtenue des quantités annuelles des déchets à fort potentiel énergétique de 11307,7 kg, 27031,9 kg, et 9776,78 kg respectivement appartiennent aux déchets fermentescibles, papiers-cartons, et fermentescibles du restaurant universitaire. Les potentiels énergétiques annuels et journaliers obtenus pour le procédé de la gazéification sont respectivement estimés à 224797,28 MJ et 615,88 MJ. Pour ce qui est des potentiels énergétiques des déchets fermentescibles prévus pour la méthanisation, les résultats obtenus donnent un potentiel annuel plus important avec 49524,66MJ des fermentescibles collectés lors la campagne de caractérisation contre 42822,29 MJ obtenu pour les fermentescibles de RU. Cette différence significative est constatée valablement pour les potentiels énergétiques journaliers avec 135,68 MJ des fermentescibles collectés pendant les campagnes de caractérisation, contre 117,32 MJ de fermentescibles obtenus pendant une semaine au niveau de restaurant universitaire (RU).

Cependant, les potentiels énergétiques obtenus, qu'ils soient journaliers ou annuels, montrent que le potentiel énergétique de la gazéification est le triple de la somme des potentiels énergétiques de l'ensemble des fermentescibles. Par conséquent, la gazéification est la voie de valorisation la plus appropriée dans notre cadre d'étude vue l'énorme potentiel énergétique qu'elle regorge.

En outre, la comparaison de ce résultat actuel du potentiel énergétique journalier de 868,88 MJ obtenu dans notre présente étude avec le résultat (2617 MJ) du besoin énergétique journalier en combustible du Restaurant Universitaire de l'UDDM obtenu par Adamou et al. (2015), montre une différence très significative. Ainsi, le potentiel énergétique journalier actuel ne couvrira pas le besoin énergétique journalier de RU et cela même si on combine les deux voies (méthanisation et gazéification) de valorisation prévues dans le présent projet d'étude.

### **III.7. Proposition d'un schéma directeur de la gestion des déchets à l'UDDM**

Suite à l'analyse du système actuel de la gestion des déchets de l'UDDM, nous proposons des mesures à prendre en vue de valoriser ses déchets et de rendre la gestion plus optimale et

aussi performante. Ces mesures qui comportent des avantages et des opportunités, permettent d'identifier des axes stratégiques pour une bonne gestion des déchets et sa valorisation à l'UDDM. C'est dans ce sens que nous avons résumé ces mesures à travers deux (2) systèmes (gestion et valorisation des déchets) en plusieurs axes :

***Gestion de déchets :***

- Premier axe : cette première étape consiste en premier lieu à répartir l'Université Dan Dicko Dan Koulodo en fonction de quatre sites à savoir : FST, FSS, IUT et FASE.
- Deuxième axe : après la répartition de l'UDDM par site, on procède à l'installation des sacs poubelles dans chaque site. Cinquante (50) sacs poubelles seront répartis et placés dans les couloirs de chaque bâtiment du site. A cet effet, dix (10) sacs poubelles par site seront placés, excepté le site de l'IUT où vingt (20) sacs peuvent être placés compte tenu de sa capacité d'accueil. Ces sacs poubelles seront déposés séparément tout en mentionnant sur chaque sac poubelle les catégories des déchets. Par exemple plastiques pour l'un et papiers-cartons pour l'autre. Afin de faciliter l'opération de tri, ce dernier doit se faire à la base, c'est-à-dire dans les chambres et les bureaux se trouvant dans chaque site. Toutefois, parmi les vingt (20) poubelles du site de l'IUT, cinq (5) sacs poubelles seront déposés encore aux alentours du restaurant universitaire pour collecter les substrats produits dans ce lieu.
- Troisième axe : cette phase consiste à collecter tous les déchets versés dans des différents sacs poubelles déposés dans chaque site de l'UDDM. A cet effet, un contrat sera signé avec deux (2) charretiers pour faciliter la collecte et le transport de ces déchets.
- Quatrième axe : une fois la collecte effectuée, les charretiers procéderont directement au transport et l'acheminement de ses déchets vers le lieu de stockage qui est en même temps le centre où s'effectueront les opérations de tris.
- Cinquième axe : c'est ainsi que dans cette étape, les déchets transportés seront triés par proportion granulométrique et par leur catégorie afin de se conformer aux méthodes adoptées pour l'étude de caractérisations de déchets ménagers. Ainsi, les gros et les moyens seront pris en compte pour la valorisation énergétique. Rappelons que les fines issues de ce tri ne seront pas considérées pour la valorisation.
- Sixième axe : cette dernière phase consiste à l'évacuation de déchets non valorisable (verres, métaux, textiles.....), de cendres produites lors de gazéification ainsi que les résidus de bio méthanisation. A ce stade, les déchets en verre et les métaux seront vendus sur le marché local pour le recyclage et les autres déchets ainsi que les cendres

et les résidus issus respectivement de la gazéification et de bio méthanisation seront versés au niveau de la décharge.

***Valorisation de déchets :***

Une fois terminé l'étape de tri, les déchets triés seront acheminés vers le centre retenu pour leur valorisation. Certains déchets feront l'objet d'une valorisation énergétique à travers deux unités dont nous préconisons entre autres :

- La gazéification : les déchets plastiques, papiers-cartons, feuilles de manguiers seront gazéifiés pour la production du gaz qui sera utilisé pour les besoins en chaleur du restaurant universitaire ;
- La bio méthanisation : pour la production de biogaz énergie qui peut être transformé en chaleur pour les besoins du restaurant universitaire.

Enfin, les déchets recyclables comme les verres, les métaux seront vendus par les acheteurs et les fractions non valorisables seront conduit dans les décharges de la Mairie de ville de Maradi.

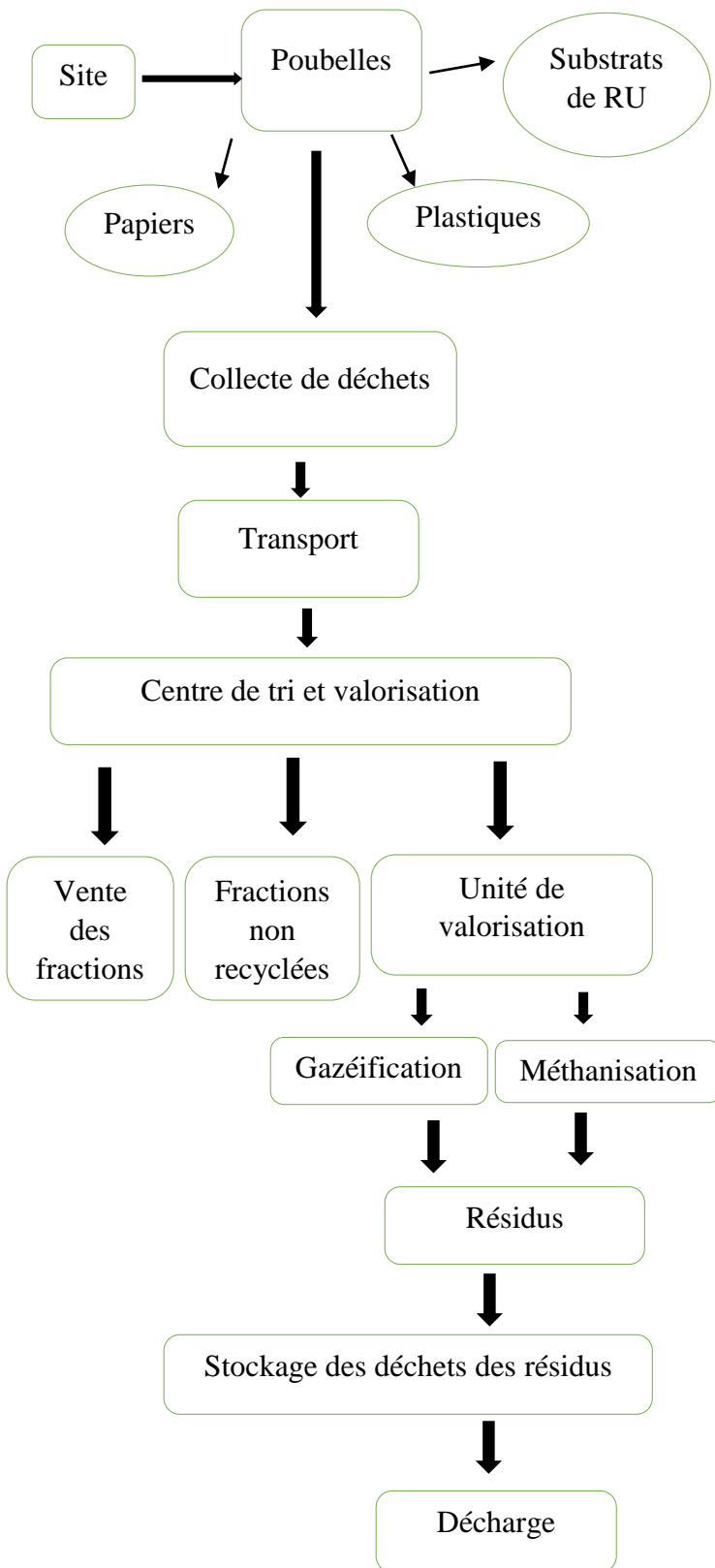


Figure 3.4 : schéma d'un système de suivis et valorisation des déchets

### **III.8. Conclusion**

Cette étude de caractérisation des déchets solides a permis de savoir que l'UDDM produit une quantité journalière d'environ 170,25 kg (sans fines) et 53175 kg (avec fines) de la production totale par saison pour la période sèche. En ce sens, l'évaluation des potentiels énergétiques des déchets solides donne une estimation annuelle de 224797,28 MJ de papiers-cartons et 42822,29 MJ des fermentescibles obtenus au niveau de RU pendant une semaine. A cela s'ajoute 49524,66 MJ des potentiels énergétiques obtenus lors de campagne de caractérisation de déchets à l'UDDM. Ainsi, La bio méthanisation et la gazéification sont les deux techniques retenues pour la valorisation des déchets solides. Enfin, une proposition d'un schéma directeur avec des axes stratégiques pour une gestion pérenne et efficiente des déchets à l'UDDM ont été préconisées dans ce chapitre en vue de faciliter le traitement de ses ordures.

## **Conclusion générale et perspectives**

Dans le contexte des pays en voie de développement, l'un des problèmes majeurs relatifs à la gestion des déchets, qui constituent 90 % environ des déchets urbains solides (DUS), est le manque cruel de données de caractérisation de ces rejets à leur source de génération, c'est-à-dire au niveau des ménages. Ceci est dû principalement à l'inadaptation des méthodes existantes aux contextes spécifiques de ces pays. Ces méthodes sont le plus souvent conçues pour l'étude des déchets dans les pays du Nord ou réalisées dans les PED à partir des sites de transit ou des décharges.

Le présent projet a été entrepris dans l'optique de caractériser les déchets de l'UDDM et tirer les potentiels énergétiques issus de ses déchets afin de le valoriser énergétiquement à travers les différentes méthodes de traitement qui existent. La première étape du travail, qui a consisté à faire un état des lieux du système actuel de gestion de déchets, nous a permis de comprendre qu'il n'existe aucune stratégie de gestion de déchets à l'UDDM. Ainsi, l'unique méthode que les responsables de la gestion de ces déchets appliquent est de les collecter dans un lieu afin de les brûler, ce qui n'est pas sans conséquence sur l'environnement. Cela a pour corollaire le réchauffement climatique à travers l'émission de gaz à effet de serre.

A cet effet, un système de gestion et valorisation de ces ordures a été proposé. Il s'agit d'une gestion participative et partagée basée sur le principe de responsabilité de tous les acteurs concernés. De cela, la solution préconisée issue de ce système est le traitement de ces déchets à travers deux méthodes à savoir : la gazéification et la bio méthanisation. Comme perspectives nous projetons dans un proche futur :

1. Compte tenu de la production importante des déchets à l'UDDM, Un système de gestion pérenne et optimal des déchets impliquant tous les acteurs concernés de l'UDDM sera implanté
2. Créer un centre de stockage et de tri des déchets.
3. Instaurer une unité de valorisation des déchets par le procédé de méthanisation et de gazéification au profit du restaurant universitaire.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Amadou Bakoye S, Issia Adamou A, “ Etude de l’efficacité énergétique de l’université Dan Dico Dankoulodo de Maradi : cas du restaurant’’, Université Dan Dicko Koulodo de Maradi, mémoire de licence professionnelle, 49 p, 2015.

Al Seadi T, Rutz D. Pressl H, Köttner M, Finstarwalder T. Volk S et Janssen R, ” biogas, pp.5-31,2003.

Amahrouch, “Absorption et un Cuiseur” , Centre de développement des énergies Renouvelables (CDER), Royaume du Maroc , pp.1–65, 2010.

A. S, B. Abada, “La biométhanisation : une solution pour un développement durable”,  
Division Bioénergies et Environnement, Centre de Développement des Energies Renouvelables pp. 31-35, 2007.

B. Morvan, “méthode de caractérisation des déchets ménagers : analyse sur produit sec”,  
Ingénieur de recherche au Cemagref - Groupement de Rennes - 17 avenue de Cucillé,  
CS 64427 - 35044 Rennes cedex, pp. 9–11, 2000.

C. Baccot, “Etude du potentiel de valorisation énergétique et matière de composés organiques extraits de lixiviats de déchets ménagers”, Université de Limoges, Ecole Doctorale Gay Lussac – Sciences pour l’Environnement (ED 523) GRESE, 235 p, These de Doctorat, 235 p, 2016.

D. Manglibè Bagniou, “ contribution à l’amélioration de la gestion des déchets solides dans les mines au Burkina-Faso : cas de la mine de mana’’, mémoire pour l’obtention du diplôme d’ingénieur, 2ie, 69 p, 2017.

F. Pouan, “Valorisation Energétique des Tourteaux de Jatropha par Méthanisation”, mémoire pour l’obtention du diplôme de master en ingénierie de l’eau et de l’environnement, 2ie, 65 p, soutenu le 4 juin 2011.

F. Nshimirimana, “caracterisation des dechets solides menagers : cas de l’arrondissement de sig-noghin”, Memoire pour l’obtention du Diplome de master Spécialisé « genie sanitaire et environnement », 2ie, 69 p, soutenu le 27/09/2010.

H. Gado Ibrahim, “ Valorisation thermochimique de la biomasse par gazéification : application aux tiges de cotonnier et au mélange de bois et des sachets plastiques souples en

polyéthylène”, Mémoire présenté en vue de l’obtention du grade de Docteur, Université de Ouagadougou, 183 p, 2014.

H. cheniti, “La gestion des déchets urbains solides : cas de la ville d’annaba.”, Université Badji Mokhtar-Annaba, these de Doctorat, 135 p, 2014.

Handbook, “University of southern Denmark”, 52 p, 2008.

J. R. Ngambi , J. R. Ngambi, “Déchets solides ménagers de la ville de Yaoundé (Cameroun) : de la gestion linéaire vers une économie circulaire ”, Mémoire présenté en vue de l’obtention du grade de Docteur de Université du Maine, 490 p, Soutenue le 17 Mars 2015.

J. Tchehouenou, “Gestion et Valorisation des déchets de Panses au Centre ValDERA (Campus Abomey-Calavi) ”, rapport de fin de formation pour l’obtention du Diplome de licence professionnelle, universite d’abomey-calavi, 22 p, 2015.

J. I. farinet, “Techniques de methanisation en regions chaudes ”, Résumé de cours, Montpellier II – EPSED, pp.6-12, 2008.

L. Fagbemi , “ Etude expérimentale et théorique des étapes de la gazéification : application à la prévision de la composition molaire du gaz”, Thèse de Doctorat, Ecole de Mines de Nantes, 235 p, 1995.

M. Kple, “ Étude des voies de valorisation des déchets ménagers au Bénin : cas de la ville d’Abomey-Calavi’”, Formation doctorale sciences et techniques pour ingénieur (fdspi) et Université de lorraine, Thèse en cotutelle, Université d’abomey-calavi, 238 p, 2015.

M. J., Amie Assouh A. "guide de la biomasse", deuxième Edition, ISBN 2-89481-0261, IEPF, 56 p, 2005.

Michèle Debayle , “ Guide pratique pour le suivi d’une installation de méthanisation”, pp.5-40, 2011.

Michel MAURER, “Campagne de caracterisation des dechets menagers et assimilés de la martinique”, synthese de resultat , agence de l’environnement et de la maitrise de l’énergie, pp.4-20, 2013.

N. Bernet, “Principes et application de la digestion anaerobie pour la production d’Energie”, Colloque international sur le thème « Biodiversité et changements globaux:

valorisation des effluents des industries, des résidus agro-pastoraux et forestiers» Du 21 au 23 juillet 2015 à l'Université de Ngaoundéré, Cameroun, pp.1-8, 2015.

Nina Runge, Dr. Michael K J Böhmer, Dipl.-Ing. agr. Frank W, Dipl.-Ing. Agr, “ Etude sur les potentiels de biomasse dans la région de l'Oriental”’, Rapport Final - Version Préliminaire, “ Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique”, Coopération Technique Allemand (GIZ), pp. 1-170.2002.

Phillip Njampou, “Dimensionnement d'une installation de biomethanisation,” Memoire Pour L'obtention Du Master Spécialisé En Génie Electrique, Energétique Et Energies Renouvelables (Geer), 2ei, 61 p, soutenu le 11/11/2011.

P. De and O. Ddt, “Guide à l'attention des porteurs de projets,” l'ORNE, pp. 1–20, 2001.

P. Buffiere, M. Carrere, O. Lemaire, and J. Vasquez, “Guide méthodologique pour l'exploitation d'unités de méthanisation de déchets solides”, Centre de Recherche Sur la Proprete et L'energie, pp.1-40,2007.

P. Ousmane.A, “Diagnostic du système de gestion des déchets solides ménagers de l'Arrondissement Communal IV de la Ville de Niamey (Niger) et proposition de solutions d'amélioration”, mémoire pour l'obtention du diplôme de master en ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE), 92 p, Soutenu publiquement le 05 Novembre 2015.

R. D. E. Stage, “Campagne de caractérisation des ordures ménagères de la ville de Ouagadougou Burkina Faso”, Rapport de Stage, 54 p, 2001.

R. Edgard Gbinlo, “Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique Sub-saharienne : Cas de la ville de Cotonou au Bénin”, THÈSE de Doctorat, école doctorale sciences de l'homme et de la société laboratoire d'économie d'orleans, 227 p, 2010.

S. Kouraogo, “Etude de faisabilité d'une unité de méthanisation des déchets ménagers de l'île de la reunion”, Memoire pour l'obtention du master en Ingenierie de l'eau et de l'environnement, 2ei, 47 p, 2016.

S. O. A ,”methodologie de caractérisation des déchets menagers a nouakchott (mauritanie) contribution a la gestion des déchets et outils d'aide a la décision’’, Universite de limoges, 191 p, THÈSE de Doctorat. soutenue publiquement le 13 Avril 2006.

Sites internet et dates de consultations

www.ademe.fr, visité le 15/11/19

<http://fr.Wikipedia.org> (novembre 2019)

[WWW.google.scholar](http://WWW.google.scholar) (septembre, octobre, novembre, décembre 2019)

## ANNEXE

Tableaux des résultats bruts des travaux de campagne de caractérisation des déchets.

### A. Première campagne

| <b>Catégories</b>    | <b>FASE</b> | <b>FSS</b>  | <b>FST</b> | <b>IUT(administration et Bâtiment)</b> | <b>Total (kg)</b> |
|----------------------|-------------|-------------|------------|--|-------------------|
| Papiers-cartons      | 0,97        | 5,14        | 6,63       | 6,64                                   | 19,38             |
| Plastiques           | 0,7         | 0,17        | 0,410      | 2,62                                   | 3,9               |
| Métaux               | 0,080       | 0,13        | 0          | 1,2                                    | 1,41              |
| Verres               | 0,260       | 0           | 0          | 1,50                                   | 1,76              |
| fermentescibles      | 0           | 0           | 0          | 0                                      | 0                 |
| Feuilles de manguier | 1,07        | 1,270       | 0          | 0                                      | 2,34              |
| Divers               | 1,44        | 0 ,070      | 0,560      | 3,910                                  | 5,98              |
| <b>Total (Kg)</b>    | <b>4,52</b> | <b>6,78</b> | <b>7,6</b> | <b>11,87</b>                           | <b>34,77</b>      |

### B. Deuxième camapagne

| <b>Catégories</b>    | <b>Décanat</b> | <b>FSS</b>  | <b>FST</b>  | <b>IUT(administration et Bâtiment)</b> | <b>Total (kg)</b> |
|----------------------|----------------|-------------|-------------|--|-------------------|
| Papiers-cartons      | 7,51           | 0,62        | 0,13        | 6,48                                   | 14,74             |
| Plastiques           | 1,62           | 0           | 0,79        | 13,51                                  | 15,92             |
| Métaux               | 0,49           | 0,1         | 0,51        | 0,88                                   | 1,98              |
| Verres               | 0,14           | 0           | 0           | 0,36                                   | 0,5               |
| fermentescibles      | 0,53           | 0           | 0           | 12,89                                  | 13,42             |
| Feuilles de manguier | 0,49           | 6,09        | 1,96        | 0                                      | 8,54              |
| Textiles             | 0,01           | 0           | 0           | 6,05                                   | 6,06              |
| Divers               | 0,52           | 0           | 0           | 1,44                                   | 1,96              |
| <b>Total (Kg)</b>    | <b>12 ,31</b>  | <b>6,72</b> | <b>3,39</b> | <b>40,61</b>                           | <b>63,12</b>      |

### c. Troixieme campagne

| <b>Catégories</b>    | <b>FASE</b>  | <b>FSS</b>  | <b>FST</b> | <b>IUT(administration et Bâtiment)</b> | <b>Total (kg)</b> |
|----------------------|--------------|-------------|------------|--|-------------------|
| Papiers-cartons      | 7,67         | 4,93        | 3,18       | 24,16                                  | 39,94             |
| Plastiques           | 5,45         | 2,06        | 2,76       | 19,91                                  | 30,18             |
| Métaux               | 2,16         | 0,05        | 1,02       | 6,96                                   | 10,19             |
| Verres               | 0,090        | 0           | 1,16       | 3,14                                   | 4,39              |
| fermentescibles      | 0,26         | 0,65        | 0          | 16,65                                  | 17,56             |
| Feuilles de manguier | 0            | 1,85        | 0          | 0                                      | 1,85              |
| Textiles             | 1,03         | 0           | 0,05       | 6,90                                   | 7,98              |
| Divers               | 0            | 0           | 0,63       | 1,41                                   | 2,04              |
| <b>Total (Kg)</b>    | <b>15,66</b> | <b>6,54</b> | <b>6,8</b> | <b>77,92</b>                           | <b>114,13</b>     |