

BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE, SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE
BOBO DIULASSO
(U.P.B)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT
RURAL
(I.D.R.)

INSTITUT DE RECHERCHE POUR
LE DEVELOPPEMENT
(I.R.D)

LABORATOIRE DE BIO-
PEDOLOGIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : **AGRONOMIE**

THEME :

**IMPACTS DE L'APPORT DES DECHETS URBAINS SOLIDES NON TRIES SUR
LES POTENTIALITES AGRONOMIQUES DES SOLS : CAS DE
L'AGRICULTURE PERI-URBAINE
DE OUAGADOUGOU**

Directeur de mémoire : **Dr BACYE Bernard**

Maître de stage : **Dr MASSE Dominique**

KABORE Wind-Tinbnoma Théodore

JUIN 2004

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	V
LISTE DES FIGURES.....	VI
RESUME.....	VII
ABSTRACT.....	VIII

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
--------------------------------------------	---

1.1. AGRICULTURE URBAINE.....	3
1.1.1. <i>Concept d'agriculture urbaine</i>	3
1.1.2. <i>Etat de l'agriculture urbaine à Ouagadougou</i>	3
1.1.2.1. <i>Evolution de l'agriculture urbaine</i>	3
1.1.2.2. <i>Spéculations</i>	4
1.1.2.3. <i>Acteurs de l'Agriculture urbaine</i>	5
1.2. DECHETS URBAINS.....	5
1.2.1. <i>Concept de déchets urbains</i>	5
1.2.2. <i>Gestion des déchets urbains solides</i>	6
1.2.2.1. <i>Historique de la gestion des déchets urbains solides</i>	6
1.2.2.2. <i>Production et niveau de collecte des DUS à Ouaga</i>	7
1.2.2.3. <i>Acteurs</i>	8
1.2.3. <i>Composition des déchets urbains solides</i>	10
1.3. VALORISATION AGRICOLE DES DECHETS URBAINS SOLIDES.....	10
1.3.1. <i>Risques de pollution des sols par les déchets solides</i>	10
1.3.2. <i>Impacts de la matière organique des DUS</i>	12
1.3.2.1. <i>Actions de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques des sols</i>	13
1.3.2.2. <i>Actions de la matière organique sur les propriétés biologiques des sols</i>	14
1.3.3. <i>Dynamique de la matière organique dans le sol</i>	15
1.3.4. <i>Evolution des déchets urbains solides en tas</i>	15

CHAPITRE II : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE.....	17
---------------------------------------------------	----

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	17
2.2. CLIMAT.....	17
2.2.1. <i>Pluviométrie</i>	17
2.2.2. <i>Températures et évapotranspiration potentielle</i>	17
2.3. SOLS.....	19
2.4. VEGETATION.....	20
2.5. DEMOGRAPHIE.....	20
2.5.1. <i>Indicateurs de l'état de la population</i>	20
2.5.2. <i>Indicateurs des mouvements des populations</i>	21

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE.....	22
---------------------------------------------------	----

3.1. SITES D'ETUDE.....	22
3.1.1. <i>Choix des sites d'étude</i>	22
3.1.2. <i>Sols des sites d'étude</i>	22

3.1.2.1. Site 1 : sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds (S.F.T.L.I.P.P.)	22
3.1.2.2. Site 2 : sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (S.F.T.L.I.M.P.)	23
3.1.2.3. Site 3 : sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds (S. F.T.L.I.P) ..	23
3.2. ENQUETES EN MILIEU PAYSAN SUR L'UTILISATION DES DUS	24
3.3. CARACTERISATION DES DECHETS URBAINS SOLIDES	25
3.3.1. Prélèvements de DUS	25
3.3.2. Fractionnement des DUS	25
3.3.3. Détermination des teneurs en matière organique par la perte au feu	25
3.4. EVALUATION DE L'IMPACT DES DUS SUR LES CARACTERISTIQUES DES SOLS	26
3.4.1. Choix des parcelles et échantillonnage de sols	26
3.4.2. Mesures des paramètres bio-indicateurs du sol	27
3.4.2.1. Tests respirométriques	27
3.4.2.2. Diversité catabolique	27
3.4.2.3. Extraction et dosage d'azote minéral	28
3.4.3. Déterminations chimiques des sols	29
3.4.3.1. pH	29
3.4.3.2. Dosage du carbone total	29
3.4.3.3. Dosage de l'azote total	29
3.4.3.4. Dosage du phosphore total	29
3.5. TEST DE CROISSANCE EN POT DE PLANTS DE SORGHO (IRAT 204)	30
3.6. ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES	30
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS	31
4.1. UTILISATION DES DUS EN MILIEU PAYSAN	31
4.1.1. Résultats de l'enquête	31
4.1.1.1. Raisons d'utilisation des déchets urbains solides	31
4.1.1.2. Quantités de DUS apportées	31
4.1.1.3. Techniques d'apports des DUS	32
4.1.1.4. Les aspects économiques liés à l'utilisation des DUS	32
4.1.1.5. Effet des DUS sur la santé humaine	33
4.1.1.6. Effets des DUS sur les propriétés biologiques des sols	34
4.1.1.7. Mesures des rendements des paysans	35
4.1.2. Discussion	35
4.2. CARACTERISTIQUES DES DECHETS URBAINS SOLIDES REPANDUS SUR LES CHAMPS	36
4.2.1. Résultats	36
4.2.1.1. Composition centésimale des DUS	36
4.2.1.2. Composition granulométrique de la partie biodégradable des DUS	37
4.2.1.3. Teneurs en matière organique des fractions par la perte au feu	37
4.2.1.4. Caractéristiques chimiques des DUS	39
4.2.2. Discussion	40
4.3. EFFETS DES DUS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS	42
4.3.1. Résultats	42
4.3.1.1. Effet sur le stock de carbone total et de matière organique (MO)	42
4.3.1.2. Effet sur l'azote total du sol	44
4.3.1.3. Rapport C/N	44
4.3.1.4. Effet sur la teneur en phosphore total	44
4.3.1.5. Effet sur les pH _{eau} et pH _{KCl}	45
4.3.2. Discussion	45

4.4. EFFETS DES DUS SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DES SOLS.....	46
4.4.1. Résultats	47
4.4.1.1. Effet sur le dégagement de CO ₂ des sols incubés.....	47
4.4.1.1.1. Evolution des flux journaliers de CO ₂	47
4.4.1.1.2. Evolution des quantités cumulées du CO ₂ dégagé	47
4.4.1.1.3. Evolution des coefficients de minéralisation du carbone	51
4.4.1.2. Effet de l'apport des DUS sur la minéralisation de l'azote	51
4.4.1.3. Effet de l'amendement sur la diversité catabolique fonctionnelle	55
4.4.1.3.1. Respiration induite par les substrats	55
4.4.1.3.2. Effet des DUS sur la richesse catabolique.....	56
4.4.2. Discussion.....	59
4.5. EFFETS DES DUS SUR LE COMPORTEMENT DES PLANTS EN POTS	61
4.5.1. Résultats	61
4.5.1.1. Effet sur la croissance en hauteur du sorgho	61
4.5.1.2. Effet sur la production de matière sèche du sorgho	62
4.5.2. Discussion.....	65
CONCLUSION GENERALE.....	67
BIBLIOGRAPHIE	69
ANNEXES.....	74

Dédicace

A mes parents, KABORE Nakaossebgandé François et RAMDE Zindimanegba

 Madeleine

qui m'ont soutenu et encouragé, qui m'ont enseigné les vertus du travail bien fait,

 qui m'ont appris les leçons d'intégrité et d'honnêteté,

 A ma grand-mère ,

 A mes frères et sœurs ,

A mes oncles : Gilbert, Joseph, Emmanuel, Emile et Aimé et leurs femmes pour

 les soutiens divers ,

 A ROUAMBA Oscar, mon maître de CM2 actuellement malade ,

 A ZONGO Mireille,

Je dédie ce travail.

Remerciements

Ce travail, entamé depuis août 2003 au laboratoire de bio-pédologie de l'unité de recherche IBIS de l'IRD, vient clore une formation commencée à l'IDR en octobre 2001. Il a nécessité le concours de plusieurs personnes, sans lesquelles il n'aurait pas abouti. C'est pourquoi, nous tenons à remercier du fond du cœur :

- Dr. Masse Dominique, notre maître de stage, qui malgré ses charges, a su nous inculquer les rudiments de la recherche avec toute la rigueur scientifique qui sied ;
- Dr. Duponnois Robin, directeur de l'UR IBIS, pour nous avoir accepté dans son unité et pour tous ses conseils ;
- Dr. Lepage Michel pour ses conseils et pour l'intérêt accordé à notre travail ;
- Dr. Bacyé Bernard notre directeur de mémoire, qui a accepté, en dépit de ses charges diverses, de nous assister et de nous donner tous les conseils nécessaires pour une bonne qualité du document ;
- Dr. Nacro H. Bismarck pour nous avoir trouvé le thème de stage et pour le suivi du travail ;
- Dr. Hien Victor qui nous a autorisé à séjourner dans son laboratoire pour les analyses chimiques.

Il serait ingrat de passer sous silence, l'aide, la collaboration et l'amitié de plusieurs personnes des laboratoires de l'IRD et de Kamboinsé. C'est pourquoi, nous disons merci à :

- Barry Moussa, Sawadogo S. Prosper, Sy Sékou, Zan Jean du laboratoire de l'IRD ;
- Ramdé Martin, Kaboré Jean-Paul, Ouandaogo Noufou, Ouédraogo Alain et sa femme qui ont tenu à nous assister pendant les analyses chimiques au laboratoire Sol-Eau-Plante.

Il m'est également obligatoire de saluer ici les grands frères de Kamboinsé pour leurs conseils et leur soutien moral pendant les moments difficiles. Ce sont : Bilgô Ablassé, Youl Sansan, Gnankambary Zacharia, Traoré Karim, Sangaré Cheick et Kambiré Faustin.

Mes sincères remerciements vont également à mes amis Nanéma Romaric, Dabiré Prosper, Ramanankierana Heriniaina, Sanon Alain, Kaboré Issouf, Ouédraogo Maxime, Topan S. Mariam pour leurs propos motivants, et avec qui nous avons vécu intimement pendant cette année de stage. Nous n'oublions pas tous nos camarades de la Patte d'Oie.

Ce stage terrain se situe en aval d'une formation. Il a été précédé de deux années de formation théorique. Il est important pour nous de remercier tous les acteurs qui ont contribué à sa réalisation. Nous pensons à :

- tous les enseignants de l'IDR à qui nous sommes reconnaissant ;
- tous les étudiants de l'IDR qui, dans un esprit de débat et de contradiction, ont amélioré notre sens de la responsabilité.

Enfin nous voudrions dire merci à tous ces braves paysans de Tanghin, Toubwéogo, Polosgo et Ourgou qui ont cru en notre travail et qui ont nous assisté spontanément pendant nos travaux sur le terrain.

« Les idées n'appartiennent à personne. Elles sont le fruit d'une longue gestation du monde et d'une rencontre entre des hommes et des conditions écologiques et socio-économiques. Que tous ceux qui ont participé à ce long accouchement trouvent ici leur part de reconnaissance ».

Sigles et abréviations

ATP	: Adénosine TriPhosphate
AU	: Agriculture Urbaine
BUNASOLS	: Bureau National des Sols
CAPEO	: Cellule d'Appui à la Petite Entreprise
CAVAD	: Coordination des Associations pour la Valorisation des Déchets
CEGED	: Coordination des Entreprises de GEstion des Déchets
CET	: Centre d'Enfouissement Technique
CIRAD	: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CREPA	: Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût
DSTM	: Direction des Services Techniques Municipaux
DUS	: Déchets Urbains Solides
EAST	: Eau, Agriculture et Santé en milieu Tropical
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
IAGU	: Institut Africain pour la Gestion Urbaine
IBIS	: Interactions Biologiques dans les Sols des systèmes anthropisés tropicaux
INERA	: INstitut de l'Environnement et de la Recherche Agricole
INRA	: Institut National de la Recherche Agronomique
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
ISRA	: Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ONASENE	: Office National des Services d'Embellissement et de Nettoyage
ONG	: Organisations Non Gouvernementales
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
SDGD	: Schéma Directeur de Gestion des Déchets
SENE	: Services d'Entretien, de Nettoyage et d'Embellissement
UNICEF	: Fonds des Nations Unies pour l'enfance

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Production spécifique et densité des ordures ménagères en fonction du niveau de vie.....	7
Tableau 2 : Regroupement des paysans appliquant les DUS selon les quantités apportées sur les sites.....	33
Tableau 3 : Superficies des champs rencontrés sur les différents sites.	33
Tableau 4 : Répartition des paysans selon leur mode d'obtention des DUS.....	33
Tableau 5 : Regroupement des paysans selon l'utilisation ultérieure des résidus de culture...33	33
Tableau 6 : Synthèses des appréciations de l'effet des DUS sur la santé humaine.....	34
Tableau 7 : Synthèse appréciations de l'effet des DUS sur les propriétés biologiques du sol. 34	34
Tableau 8 : Composition centésimale (%) des DUS en 3 stades d'évolution.	38
Tableau 9 : Taux de matière organique des différentes fractions donnés par la perte au feu...38	38
Tableau 10 : Composition chimique la fraction 0-2mm des trois types de déchets.	39
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols (horizon 0-10 cm) des trois sites.....	43
Tableau 12 : Quantités de CO ₂ dégagées par jour avec les calculs statistiques : flux CO ₂ en µgC-CO ₂ .g ⁻¹ .h ⁻¹	50
Tableau 13 : Quantités cumulées de CO ₂ dégagé avec les calculs statistiques en µgC-CO ₂ .g ⁻¹ de sol.....	50
Tableau 14 : Azote minéral durant l'incubation d'échantillons A et NA.....	54
Tableau 15 : Comparaison de l'azote minéralisé au bout de 21 jours d'incubation et des coefficients de minéralisation des parcelles amendées et non amendées des sites 1 et 2.....	55
Tableau 16 : Richesses cataboliques et indices de diversité catabolique.....	59
Tableau 17 : Comparaison des hauteurs en cm des pieds de sorgho aux différentes dates après semis.....	64
Tableau 18 : Coefficients de corrélation entre les biomasses produites par pot et les différentes propriétés du sol.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution de la production des DUS à Ouaga entre 2000 et 2010.	8
Figure 2 : Composition centésimale des DUS.....	10
Figure 3 : Evolution de la pluviosité annuelle de Ouagadougou de 1993 à 2003.....	18
Figure 4 : Pluviosité mensuelle de Ouagadougou en 2003.	18
Figure 5 : Evolution des températures de Ouagadougou de 1998 à 2003.....	19
Figure 6 : Diagramme du bilan hydrique de Ouagadougou de 1998 à 2003.....	19
Figure 7. : Schéma du prélèvement des DUS sur les tas.	25
Figure 8 : Rendements paille et poids des panicules de trois couples de parcelles sur le site 1.	35
Figure 9 : Comparaison des fractions des trois types de déchets.	38
Figure 10 : Rapport C/N des trois types de déchets urbains solides.	40
Figure 11 : Variation (%) des caractéristiques chimiques entre parcelles amendées et non amendées.....	43
Figure 12: Evolution de la minéralisation journalière (a, c) et des quantités cumulées de CO ₂ (b, d) sur les différents traitements des trois sites.	49
Figure 14 : Coefficients de carbone minéralisé (CO ₂) au bout de 21 j d'incubation sur des sols amendés (noir) et non amendés (blanc).....	51
Figure 15 : Azote minéral au cours de l'incubation des sols des sites 1 et 2. A:amendé; NA: non amendé.....	53
Figure 16 : Réponse respiratoire à l'addition de différentes molécules organiques sur des parcelles amendées et non amendées en déchets urbains solides.....	57
Figure 17 : Analyse en composantes principales du tableau des réponses respiratoires à l'addition des différentes molécules (30) sur des parcelles amendées et non amendées.....	58
Figure 18 : Hauteurs des plants relevés pour un test de croissance du sorgho en pot sur les différents types de sols. a: hauteurs des plants par site et apr traitement; b: hauteurs moyennes par traitement.....	63
Figure 19 : Biomasse aérienne (BA) et racinaire (BR). Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.....	64

Résumé

Dans la zone périurbaine de Ouagadougou au Burkina Faso, il y a un engouement de plus en plus grand quant à l'utilisation des déchets urbains solides (DUS). Dans l'objectif d'apprécier les impacts de cette source de matière organique sur les potentialités agronomiques des sols, des analyses chimiques, des suivis de la minéralisation du carbone et de l'azote, une mesure de la diversité catabolique fonctionnelle ainsi que des essais en vase de végétation ont été effectués sur des sols amendés avec DUS et sur des sols témoins.

L'étude de la caractérisation chimique a révélé une augmentation de la matière organique de 57 %, une augmentation de l'azote total de 73 %, un accroissement du phosphore total de 44 % et un relèvement du pH_{eau} de 13 % et du pH_{KCl} de 21 % suite à l'apport des déchets. Les déchets pourraient constituer une alternative dans le contexte de manque de source de matière organique pour le relèvement du niveau organique des sols.

En vase de végétation, la croissance en hauteur, la biomasse aérienne des plants sur les sols amendés sont significativement différentes de celles des plants sur les sols témoins. Mais pour les racines aucune différence significative n'est observée.

Toutefois, la matière organique apportée par ces déchets serait difficilement minéralisable. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été relevée sur la diversité des communautés de microorganismes des sols amendés et des sols témoins. Les déchets apportés n'ont entraîné ni une augmentation sensible, ni une diversification des microorganismes des sols.

Mots clés : Burkina Faso, zone périurbaine de Ouagadougou, déchets urbains solides, impacts, potentialités agronomiques, caractérisation chimique, minéralisation du carbone et de l'azote, communautés de microorganismes.

Abstract

In Burkina Faso, the use of solid urban wastes (SUW) are relevant in periurban areas of Ouagadougou town. To appreciate the modifications induced by this source of organic matter, the chemical analysis, the mineralization of carbon and nitrogen, the functional catabolic diversity as well as plants growth test have been measured on soils amended (A) with solid urban wastes and non amended soils (NA) as control.

The study highlighted significant increases in the organic matter of 57 %, in total nitrogen of 73 %, in the total phosphorus of 44 %, pH_{water} of 13 % and pH_{KCl} of 21,1 % in amended plots compared to the non-amended plots. Waste could constitute an alternative in the context of lack of organic matter source for raising soils organic level.

In controlled environment, the growth during 45 days shows significant difference between plants biomass on amended soils and non-amended soils. Plants biomass were significantly correlated to the carbon, nitrogen and NO₃⁻ in soils.

However, the organic matter brought by these wastes remains difficulty mineralizable. In addition, no difference was noticed between micro-organisms communities diversity on amended and non-amended soils. Wastes brought did not involve an appreciable increase, nor a diversification of soils micro-organisms.

Key words: Burkina Faso, periurban areas of Ouagadougou, solid urban wastes, impacts, agronomic potentialities, chemical characterization, mineralization of carbon and nitrogen, micro-organisms communities.

INTRODUCTION

L'agriculture burkinabè a un caractère extensif et utilise de grandes superficies de sols. Ces sols sont généralement pauvres en matière organique, azote et phosphore (Palo, 1993 ; Bationo et Buerkert, 2000 cités par Bado, 2002 ; Compaoré *et al.*, 2001). On estime que chaque année près de 10 % de la superficie totale du Burkina Faso soit 2,8 millions d'ha sont mis en culture (FAO, 1986).

Dans les régions de fortes densités, particulièrement en zone urbaine et périurbaine de Ouagadougou, les sols sont soumis à une forte pression foncière. Or ces sols sont déjà relativement pauvres et sujets à une dégradation permanente (BUNASOLS, 1998). Pourtant toute pratique de la jachère, moyen permettant naguère une reconstitution de la fertilité des sols (Boli et Roose, 1999) est exclue. Les paysans sont alors obligés de recourir à l'amélioration de leurs sols par l'utilisation de matières fertilisantes. Ces matières fertilisantes pourraient être la fumure minérale ou les résidus cultureux. Mais, l'emploi des engrais entraîne à long terme une acidification des sols (Sédogo, 1981 ; Hien, 1990). Par ailleurs, la cherté relative de leurs prix les rend inaccessibles à la majorité des agriculteurs. Les travaux de Sédogo (1981), Lompo (1983), ont montré un manque ou une insuffisance des résidus cultureux et des déjections animales qui auraient pu servir au maintien de la fertilité des sols.

Dans la zone périurbaine de Ouagadougou, les paysans utilisent des déchets urbains acquis gratuitement ou à bas prix pour amender leurs champs.

Selon Lompo *et al.* (2002), Kilundo (2002), sur le plan écologique, une utilisation rationnelle des déchets solides biodégradables et liquides (eaux usées) en agriculture urbaine les transforme en ressources car ils deviennent une matière première pour l'agriculture, allège le coût du recyclage et contribue à améliorer la fertilité du sol et la qualité de la vie en produisant soit du compost, soit de l'énergie bio-renouvelable. De même, les études menées par Bilgo (1992), Waas (1996), Sérémé (1997), Guène (2000), Mbouaka (2000), présentent les avantages de la valorisation des déchets urbains par le compostage. Les travaux de Sérémé (1995) et de Lompo *et al.* (2002) ont confirmé l'aptitude des ordures ménagères de Ouagadougou au compostage.

Malgré toutes ces études sur l'utilisation des déchets urbains dans l'agriculture, rares sont celles qui se sont penchées sur l'état des sols spécifiquement sous apport de déchets urbains bruts non triés. Pourtant, l'utilisation de déchets urbains bruts comme le font la plupart des paysans autour de Ouagadougou, comporte un effet sur :

- le niveau de matière organique du sol, et partant sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols ;
- la pollution des sols agricoles en métaux lourds et en germes pathogènes.

La présente étude aborde les modifications chimiques et biologiques des sols sous apport de déchets urbains solides, à travers le thème : « *Impacts de l'apport des déchets urbains solides non triés sur les potentialités agronomiques des sols* ». Ce thème s'insère dans les activités de l'Unité de Recherche IBIS de l'IRD, qui abordent aussi les aspects écotoxicologiques liés à ces apports de déchets urbains solides.

Dans l'étude, deux questions principales sont posées :

- qu'apportent effectivement les déchets urbains solides (DUS) aux sols ?
- quelles sont les modifications induites par les DUS sur les propriétés des sols en général et sur l'activité biologique des sols en particulier ?

Le présent mémoire s'articule autour d'une :

- revue de la bibliographie ;
- présentation du milieu d'étude ;
- présentation des matériels et méthodes de l'étude ;
- présentation et une discussion des résultats obtenus.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. AGRICULTURE URBAINE

1.1.1. Concept d'agriculture urbaine

Le binôme « agriculture urbaine (AU) » peut paraître de prime à bord comme une dérive terminologique dénuée de sens (Ndèye *et al.*, 2002). Ce sentiment trouverait sa légitimation dans l'idée partagée que l'agriculture est l'élément distinctif entre le rural et l'urbain. Mais pour Cissé (1997), on distingue classiquement les zones rurales et les zones urbaines ; or dans beaucoup de villes africaines comme Ouagadougou, la zone urbaine et la zone rurale coexistent, et entre les deux, en périphérie du cœur de la ville, une zone intermédiaire nommée « zone rurbaïne » présentant de manière problématique les caractéristiques de l'une ou l'autre zone. C'est généralement dans cette zone rurbaïne, à laquelle s'ajoutent les points d'eau pour le maraîchage que se trouvent les espaces d'AU recevant les déchets produits en ville.

Selon Traoré (2000), l'AU peut se définir comme l'ensemble des activités agricoles (maraîchage, petit élevage) menées dans les centres urbains.

Le concept d'AU, pour Ndèye (2002), même s'il renvoie à une notion nouvelle, fait référence à une activité circonscrite dans une aire géographique limitée et concerne la culture des légumes, l'arboriculture fruitière et l'élevage. Elle peut être étendue à la pêche et reste caractérisée par sa proximité avec un grand marché de consommation, proximité dont le corollaire est la réduction des coûts de transport, de stockage et de conservation des produits. Nzojibwani (2002) définit l'AU comme l'ensemble des activités agropastorales pratiquées à la périphérie des villes ou à l'intérieur, soit autour des points d'eau, soit sur des zones non encore viabilisées ou sur des parcelles non construites ou des chantiers inachevés et profitant de la proximité d'un centre de consommation et de la disponibilité d'énormes quantités de déchets comme amendement. Elle contribue à l'assainissement des villes, à la réduction du chômage et à la sécurité alimentaire. De ce fait, elle n'est ni marginale, ni transitoire et est appelée, non seulement à se maintenir, mais à se développer.

1.1.2. Etat de l'agriculture urbaine à Ouagadougou

1.1.2.1. Evolution de l'agriculture urbaine

Dans ce qu'il a appelé « la petite histoire de l'AU Ouest africain », Ouédraogo (2002) présente l'AU comme un trait permanent des villes africaines dont Ouagadougou. En effet,

des légumes locaux (oseille, feuilles de haricot, gombo) traditionnellement cultivés en maraîchage, on est passé à la production de tomate, de choux, de laitue et autres pommes de terre pour satisfaire les habitudes alimentaires des Africains qui se transformaient au contact des Européens.

L'agriculture urbaine est apparue à la suite des champs de case, valorisant de façon remarquable les déchets urbains (Traoré, 2000).

Mais jusqu'ici l'AU n'a pas été une priorité chez nos décideurs malgré sa légalisation par l'adoption du décret N°99-270/PRES/PM/MIHU/MATS/MEE/MEF du 28 juillet 1999. En effet selon Bagré (2001), avant ce décret, l'AU avait acquis une légitimité du fait de son utilité économique. Selon lui, rien que le maraîchage rapportait 270.000 à 600.000 FCFA /an /exploitant.

Par ailleurs, une étude menée par Bayili (2000), indiquait que la superficie totale de Ouaga au début des années 1990 était de 22591 ha et à peu près 10 % soit 2149 ha étaient une zone verte. Deyoko *et al.* (1993) viennent donner plus de précisions en affirmant que la commune de Ouaga dispose de 3135 ha de terres agricoles. Cependant, il est possible de dire que l'extension des zones agricoles dans et autour de Ouaga a été sous-estimée (Ouédraogo *et al.*, 2001). En effet, utilisant des images satellitaires à très haute résolution, ces auteurs dénombrent 2906,83 ha d'AU à l'intérieur desquels Cissé (1997) trouve 48 sites maraîchers ; et 7821,58 ha de terres agricoles pour l'agriculture périurbaine soit au total 10728,42 ha de terres agricoles pour Ouaga et sa périphérie.

Cette agriculture au niveau de la zone urbaine concerne essentiellement le maraîchage qui se concentre autour des sites de Kossodo (eaux usées des unités industrielles et du canal central d'évacuation des eaux de la ville), de Paspanga, de Boulmiougou et le long des cours d'eau. La céréaliculture est principalement pratiquée à la périphérie de la ville et dans les espaces libres en ville. Elle est forte consommatrice de déchets urbains solides (DUS) et a fait l'objet de peu d'études, notamment biologiques. Mais il faut surtout signaler que cette dernière partie de l'AU est fortement menacée du fait des récentes vagues de lotissement qui récupèrent pratiquement toutes les terres périphériques.

1.1.2.2. Spéculations

Dans l'AU, les spéculations sont généralement de deux ordres :

- ✓ les cultures pluviales strictes telles que le sorgho, le mil, le maïs, etc. qui sont couramment produites pour l'autoconsommation à l'exception du maïs souvent vendu;

- ✓ les cultures maraîchères qui sont le plus souvent destinées à la commercialisation.

1.1.2.3. Acteurs de l'Agriculture urbaine

Selon Lompo *et al.* (2002), les producteurs dans l'AU sont d'origine rurale et viennent s'installer dans les périphéries de la ville ; ils peuvent être aussi de la ville et habiter celle-ci.

Pour Traoré (2000), on distingue :

- les acteurs directs comprenant les producteurs et les productrices que sont les agriculteurs et agricultrices, les fonctionnaires à la retraite ou en activité, les soldats dans les casernes, les sœurs des congrégations religieuses, etc ;
- les acteurs indirects que sont les services étatiques (les agents de l'agriculture, de l'élevage, de l'environnement), les universités, l'INERA, la mairie, les ONG, etc. A toutes ces structures citées s'ajoutent les commerçants (fournisseurs et clients), les propriétaires terriens, les consommateurs, etc.

1.2. DECHETS URBAINS

1.2.1. Concept de déchets urbains

Au concept de déchet urbain est associé plusieurs définitions. En effet, selon le code de l'environnement du Burkina Faso, les déchets urbains sont les détritiques solides, liquides ou gazeux en provenance des maisons d'habitation et assimilés, des immeubles, des salles de spectacles, de restauration et de tout autre établissement recevant du public (Ministère de l'environnement et de l'eau du Burkina Faso, 1997).

Pour Mustin (1987), le déchet est le résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation ; c'est aussi toute substance, matériau ou produit ou plus généralement, tout objet abandonné ou que son usage destine à l'abandon.

Le Schéma Directeur de Gestion des Déchets de Ouagadougou (SDGD) (2000), regroupe sous le terme déchets les ordures ménagères, les déchets municipaux solides ou liquides et les déchets industriels solides, qu'ils soient banals, inertes, dangereux ou biomédicaux :

- déchets banals : ce sont les déchets assimilables aux ordures ménagères et comprenant les débris végétaux et animaux, les morceaux de papiers et de cartons ;
- déchets inertes : ce sont des matériaux qui ne sont pas biodégradables ou qui se dégradent très lentement tel que les os, les cornes, les métaux, les plastiques, etc ;

- déchets dangereux : regroupent les déchets présentant des risques graves pour la santé, la sécurité publique et l'environnement. La nocivité des déchets dangereux est liée aux caractéristiques d'inflammabilité, de corrosivité, de radioactivité et de toxicité ;
- déchets biomédicaux : comprennent les déchets infectieux produits suite aux soins prodigués aux patients (objets contondants, seringues, gants, ...).

De tous ces déchets produits, certains peuvent être utiles à la société et on admet avec Maystre *et al.* (1994) que la valorisation d'un déchet c'est toute action qui permet :

- de trouver un nouvel usage à la matière qui le compose ;
- de trouver un nouvel usage à un objet ;
- à un déchet de redevenir utile à l'homme.

1.2.2. Gestion des déchets urbains solides

1.2.2.1. Historique de la gestion des déchets urbains solides

Il faut noter que la collecte des déchets urbains solides (DUS) dans les villes a commencé en 1968 par le système tracteurs-remorques. Mais face aux difficultés de gestion de ces équipements, le service de collecte a été concédé de 1974 à 1978 à une société privée, l'entreprise Nacoulma.

A nouveau en 1979, la mairie a décidé de s'en charger. Une fois encore, face aux difficultés de gestion du service et de mobilisation des ressources, le service de la voirie a été supprimé et remplacé en 1984 par les SENE (Services d'Entretien, de Nettoyage et d'Embellissement) puis en 1986 par l'ONASENE (Office National des Services d'Embellissement et de Nettoyage) qui jouissait d'un monopole national de gestion des ordures. C'est alors l'ONASENE qui fera la promotion du secteur privé auquel il concède une partie des tâches opérationnelles.

C'est ainsi qu'en 1991, la loi 004/93/ADP portant organisation municipale est promulguée et confère aux collectivités les compétences en matière de gestion de l'environnement urbain, notamment la collecte des ordures. Cette loi consacrait le processus de décentralisation de la gestion des déchets. Dans la même lancée, deux autres lois viennent consolider l'organisation du secteur gestion des déchets :

- la loi N°005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant code de l'environnement ;
- le décret N°98-323/PRES/PM/MEE/MATS/MIHU/MS/MTT du 28 juillet 1998 portant réglementation de la collecte, du stockage, du transport, du traitement et de l'élimination des déchets urbains.

1.2.2.2. Production et niveau de collecte des DUS à Ouaga

Une relation directe peut être établie entre le standing des habitations et la production des déchets des résidents des milieux urbains. Plusieurs études montrent en effet que les ménages de haut et moyen standing produisent plus de déchets domestiques que ceux du bas standing (Desconnets et Guène, 1998 cités par Guène, 2000 ; SDGD, 2000) (tableau 1).

Tableau 1 : Production spécifique et densité des ordures ménagères en fonction du niveau de vie.

Standing	Production spécifique (kg/habitant)	Densité
Haut standing	0,85	0,37
Moyen standing	0,65	0,47
Bas standing	0,54	0,85
Moyenne pondérée	0,68	0,56

Source: CREPA/IAGU (1992).

Selon le SDGD (2000), tout comme leurs caractéristiques chimiques, la composition des déchets diffère selon qu'ils proviennent des secteurs résidentiels, commerciaux, institutionnels ou industriels, ou qu'ils aient été ramassés sur la voie publique et dans les caniveaux.

Dans le cadre des études menées par la direction des services techniques municipaux (DSTM) en 1998 pour l'aménagement du Centre d'Enfouissement Technique (CET), un taux moyen de production de déchets a été retenu et est de 0,54 kg/personne/jour. A partir de ce taux, on estime que 204745 tonnes de DUS ont été produites en 2003 et 213958 tonnes seront produites en 2004. Ces quantités s'accroîtront d'année en année (figure 1). Comme le signale le même document, il n'existe aucun dépôt contrôlé de déchets pour la ville de Ouaga. Ils sont alors dispersés sur place ou incinérés par les habitants, soit laissés sur les voies publiques ou sur des terrains vagues, soit transportés vers des décharges non contrôlées à la périphérie de la ville et constitueront une source de matière organique pour les paysans de cette zone.

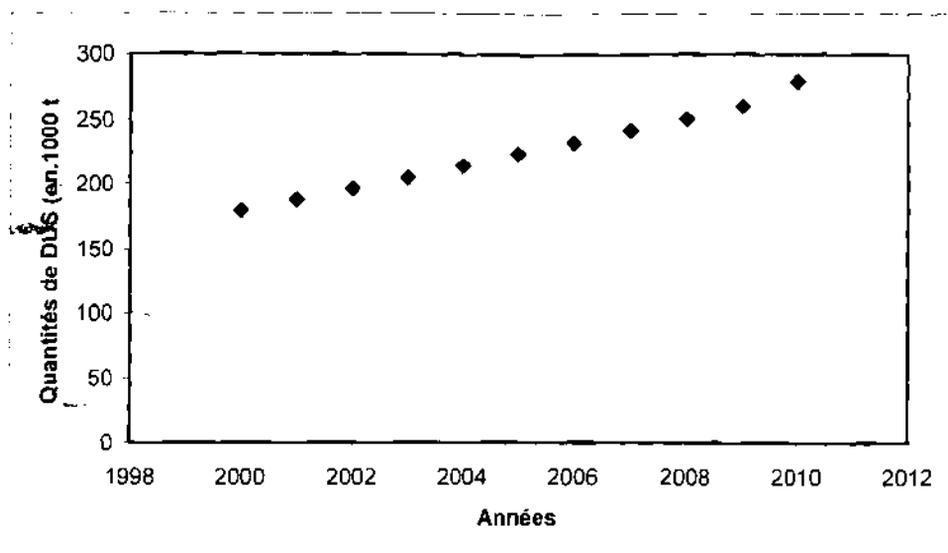


Figure 1 : Evolution de la production des DUS à Ouaga entre 2000 et 2010.
source : SDGD (2000)

Selon Arcens (1997) et Guène (2000), seulement 40 % des déchets produits à Ouagadougou sont effectivement enlevés ; les autres 60 % restent déversés dans les quartiers périphériques.

1.2.2.3. Acteurs

➤ L'Etat

D'une façon générale, l'Etat intervient dans la gestion des DUS dans le cadre institutionnel par l'élaboration de lois et décrets et en veillant à leur application. De façon pratique, l'Etat assure la mise en œuvre des décisions et la réalisation d'infrastructures d'assainissement, de collecte et de traitement des déchets par l'intermédiaire des ministères suivants :

- Ministère de l'environnement et du cadre de vie ;
- Ministère de la santé ;
- Ministère des infrastructures, de l'habitat et de l'urbanisme ;
- Ministère de l'administration territoriale et de la sécurité.

➤ La municipalité

Le décret N°98-323/PRES/PM/MEE/MATS/MIHU/MS/MTT du 28 juillet 1998 stipule en son article 9 que « la collectivité décentralisée ou la circonscription administrative organise la collecte des déchets en concertation et en collaboration avec les entreprises privées et les ONG exerçant leurs activités dans le domaine de l'assainissement ».

C'est ainsi que l'intervention de la commune dans la gestion des DUS se fait par l'intermédiaire de la DSTM (Direction des Services Techniques Municipaux) qui dispose de ressources humaines, matérielles et financières pour l'exécution de sa tâche.

Les ressources financières et matérielles lui sont fournies par les partenaires tels que :

- * la banque mondiale qui, à travers les projets de développement urbain (2^{ème} et 3^{ème} projets urbains), finance la mairie ;
- * la coopération décentralisée (par exemple avec la ville de Lyon) qui met à la disposition de la mairie du matériel tel que les bennes tasseuses reformées.

Les charges de fonctionnement de la DSTM s'élevaient en 2000 à 220-270 millions. Il faut noter que ces charges ne sont pas toujours couvertes par le budget communal, ce qui constitue une contrainte majeure. Dans ce même registre, on pourrait citer comme autres contraintes, l'insuffisance des ressources humaines, le mauvais état de la voirie, en particulier dans les quartiers périphériques, le sous équipement des ateliers de réparation, etc.

➤ Les privés et les associations

L'implication du secteur privé dans la gestion des déchets a vu le jour au début des années 1990, en raison du marché potentiel ouvert par l'insuffisance des services offerts par le secteur public et du chômage.

Aujourd'hui, plus de 18 entreprises privées sont actives à Ouaga. Certaines sont regroupées au sein des unions CEGED (Coordination des Entreprises de Gestion des Déchets) et CAVAD (Coordination des Associations pour la Valorisation des Déchets).

Quant aux associations de base, elles sont une quinzaine dans la ville qui s'investissent dans la gestion des déchets. Les premières ont vu le jour avec les projets pilotes nés de l'initiative conjointe du CREPA (Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement) et de l'IAGU (Institut Africain de Gestion Urbaine). Les autres associations seront par la suite créées sur des initiatives personnelles et/ou des populations à la base.

Ces privés et associations assurent la précollecte des déchets dans les secteurs périphériques à raison de cinq cents (500 F) à mille (1000 FCFA) par concession et par mois. Il existe par ailleurs des acteurs travaillant à titre individuel à l'aide de charrettes, de pousse-pousse et de brouettes.

➤ Les institutions et les ONG (Organisations Non Gouvernementales)

Parmi elles, on peut citer le CREPA qui est un acteur important dans la gestion des déchets urbains. En effet, il intervient dans l'organisation du secteur privé et joue également

le rôle d'appui conseil, de conception d'outils de gestion, de ramassage et surtout de valorisation des déchets.

On note également un appui, surtout financier d'institutions telles que l'UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'Enfance), la CAPEO (Cellule d'Appui à la Petite Entreprise), la Banque Mondiale, EAST (Eau, Agriculture et Santé en milieu Tropical), etc.

1.2.3. Composition des déchets urbains solides

Des études menées par Traoré (2000) sur près de 9 tonnes de déchets donnent la composition physique des DUS (figure 2).

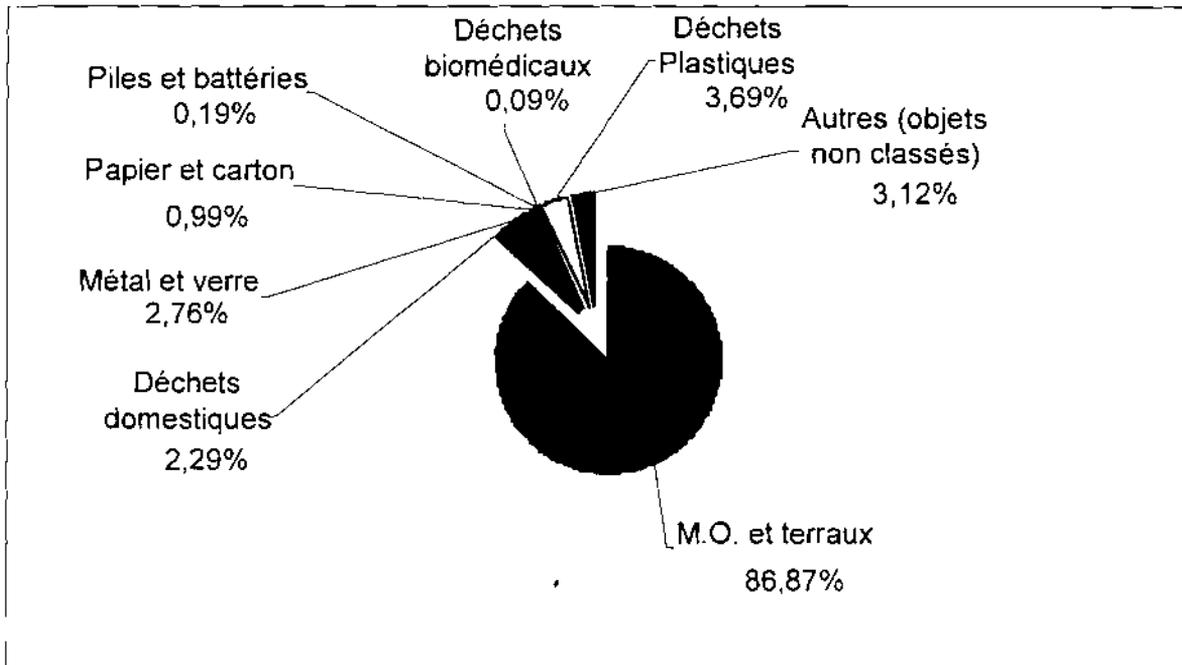


Figure 2 : Composition centésimale des DUS.
Source : Traoré (2000).

Pour l'auteur, la nécessité de présenter huit catégories d'éléments provenant des DUS découle de leur extrême hétérogénéité.

1.3. VALORISATION AGRICOLE DES DECHETS URBAINS SOLIDES

1.3.1. Risques de pollution des sols par les déchets solides

Dans leurs travaux, Traoré (2000), Lompo *et al.* (2002), montrent que les DUS comportent des teneurs assez élevées en métaux lourds (cuivre, plomb, zinc, cadmium et arsenic). Par ailleurs, ils ajoutent que les sols céréaliers ont moins de métaux lourds que les sols maraîchers. Mais comme l'ont souligné Lompo *et al.* (2002), le compostage permet de réduire ces teneurs en métaux lourds.

De même, ils précisent que le niveau de contamination des DUS par *Echerichia coli* est acceptable si on réfère à la norme de 1000 MNP/g.

Mais des travaux menés au Nigéria sur près de 20 ans par Anikwé et Nwobodo (2002), donnent des résultats éloquentes sur le niveau de pollution des sols par les déchets urbains. Selon ces auteurs, les niveaux des métaux lourds (fer, cuivre, zinc, plomb) augmentent sur les sites des décharges municipales par rapport aux témoins et ce, avec des prélèvements faits sur l'horizon 0-15cm, qui est la partie des sols qui indique le mieux leur charge métallique (Nyanagababo *et al.* (1986) cités par les précédents auteurs).

Pour le fer (Fe), Anikwé et Nwobodo (2002) trouvent une augmentation de plus de 260 % par rapport au témoin. Malgré cette augmentation, on note avec ces auteurs que le fer est un élément essentiel beaucoup demandé pour la croissance des plantes et des hommes et que sa toxicité n'est pas courante.

Quant au cuivre (Cu), son augmentation est de plus de 177 % sur les sols des décharges (Anikwé et Nwobodo, 2002). Mais selon Kabata et Pendias (1984), ces valeurs restent dans les teneurs normales comprises entre 2 et 250 mg.kg⁻¹.

Pour le zinc (Zn), Anikwé et Nwobodo (2002) trouvent une teneur de 63 mg.kg⁻¹, soit une augmentation de 320 % en moyenne. Pour Logan (2000), des teneurs de Zn compris entre 10 et 300 mg.kg⁻¹ restent normaux. C'est le cas ici.

Mais Miller (2000), indique que le Zn et le Cu sont particulièrement toxiques aux hommes et aux animaux mais que, dit-il, ils ne peuvent s'accumuler à des concentrations suffisamment élevées dans des tissus des plantes, lesquelles leur sont également sensibles. En effet, l'augmentation de leur taux dans les tissus végétaux entraîne la mort ou l'arrêt de la croissance des plantes. Cela minimise par la même, les possibilités d'empoisonnement des hommes et des animaux qui consomment ces plantes puisque ces plantes meurent rapidement.

Le plomb (Pb) augmente de plus de 200 % sur les sites de décharge comparativement aux sols témoins avec des teneurs de 68 mg.kg⁻¹ en moyenne (Anikwé et Nwobodo, 2002). Mais pour Kabata et Pendias (1984), cette valeur reste acceptable puisqu'elle ne sort pas du seuil admis de 2 à 300 mg.kg⁻¹. Cependant pour Miller (2000), la bio-assimilation du Pb par les plantes ne présente pas de risques majeurs pour elles, mais ce sont plutôt les animaux, qui en les ingérant sont exposés aux intoxications par le plomb.

Selon Moreno *et al.* (2002), le cadmium est l'un des polluants le plus dangereux du sol. En effet, cet élément peut facilement migrer du sol aux plantes alimentaires à travers l'absorption racinaire, et il est d'autant plus dangereux qu'il peut s'accumuler dans les tissus sans que la plante n'exprime un stress quelconque. C'est de cette façon que le cadmium a

réussi à empoisonner des milliers de personnes au Japon (Adriano, 1986 cité par Moreno *et al.*, 2002). Par ailleurs, le cadmium influe considérablement sur l'activité biologique du sol car on observe une baisse de tous les indicateurs microbiologiques du sol⁷ (biomasse, respiration du sol, stock d'ATP microbien, etc.) avec l'augmentation de sa teneur (Moreno *et al.*, 2002).

Ainsi, l'utilisation des déchets urbains entraîne une augmentation des métaux lourds dans le sol. Il se produira alors une augmentation de leur bio-assimilation par les plantes, toute chose qui peut être dangereuse pour la santé de l'homme et l'environnement. Pour Smith *et al.* (1996) cités par Anikwé et Nwobodo (2002), le niveau de métaux lourds des déchets urbains solides est faible mais leur usage pendant de longues années comme fertilisant ainsi que la toxicité de plus en plus croissante des produits industriels, rendent leur usage hasardeux. C'est pourquoi une étude spécifique à chaque cité doit être menée pour définir des normes de pollution en tenant compte de ses réalités.

1.3.2. Impacts de la matière organique des DUS

La matière organique en général, est constituée de l'ensemble de la matière d'origine vivante provenant de la décomposition des résidus végétaux ou animaux morts par les microorganismes vivants dans le sol (Delville, 1996). La matière organique par opposition aux constituants minéraux, comprend toutes les substances biologiques d'origine végétale ou animale présentes dans le sol (Piéri, 1989).

Selon Morrisset (1993) cité par Noël *et al.* (2002), les matières organiques du sol sont regroupées en quatre classes :

- la matière organique vivante, qui englobe la totalité de la biomasse en activité ;
- les débris végétaux, les cadavres et excréta animaux, qui sont regroupés sous le terme de matière organique fraîche (MOF) ;
- les composés organiques intermédiaires, encore appelés produits transitoires, qui sont les matières organiques en cours d'évolution, entre la MOF et les composés finaux : les substances humiques ;
- les composés organiques stabilisés : les matières humiques et les composés apparentés, désignés sous le terme d'humus.

Les différents auteurs donnant la composition des DUS et cités précédemment (Bilgo, 1992 ; Desconnets et Guène, 1998 cités par Guène, 2000 ; Traoré, 2000), font ressortir de fortes proportions de matière organique dans les DUS au Burkina Faso. Cette matière

organique peut être valorisée en agriculture. Elle agit de multiples façons sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols.

1.3.2.1. Actions de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques des sols

La matière organique agit sur les qualités physiques du sol de deux façons (Soltner, 1986) :

- elle améliore la structure des sols trop « légers » dont elle cimente les particules en agrégats stables, et des sols « lourds » dont elle diminue l'adhésivité en les rendant plus friables ;

- elle régularise l'humidité de tous les types de sols en favorisant l'évacuation de l'eau en excès des sols argileux et en augmentant la capacité de rétention en eau des sols sableux.

Il a été démontré par plusieurs auteurs que la mise en culture entraîne une chute rapide du stock de matière organique dans le sol de 20 à 40 % en quelques années par rapport au sol sous végétation naturelle (Feller *et al.*, 1977 ; Sédogo, 1981 ; Sébillote, 1985 ; Feller *et al.*, 1991) et de 40 à 50 % pour la couche 0-10 cm (Bacyé et Moreau, 2000). Sédogo (1981) conclut que cette perte de la matière organique se traduit par une détérioration des rendements culturaux. Selon Sanchez (1976), Nicou (1991), l'apport de matière organique est bénéfique sur les rendements des cultures et constitue par ailleurs une solution sérieuse pour lutter contre la dégradation des sols et permet d'améliorer la stabilité structurale et la productivité de l'agriculture. Ainsi la matière organique associée à un bon enracinement, constituerait la clé du maintien des caractéristiques physico-chimiques des sols ferrugineux tropicaux (Delville, 1996). Selon cet auteur, la matière organique sous forme d'humus ou la matière organique libre, joue un rôle déterminant dans le maintien de la structure, la résistance à l'érosion, la limitation de l'acidification et du lessivage.

De même, selon Mustin (1987), la matière organique sur le plan physique, améliore le comportement thermique du sol en rendant la couleur des couches de surface plus foncée, améliore également la stabilité structurale (Mémento de l'agronome, 2002) et partant, donne au sol une porosité, perméabilité et aération meilleures. Enfin, elle améliore la rétention en eau du sol sans modifier le point de flétrissement, augmentant ainsi la réserve utile en eau du sol.

Sur le plan chimique, la présence de matière organique augmente le pouvoir tampon du sol, la CEC (Capacité d'Echange Cationique), d'où une meilleure régulation du stockage et de la fourniture des ions nutritifs pour les plantes (Mustin, 1987 ; Delville, 1996 ; Mémento de

l'agronome, 2002). En effet, la CEC de la matière organique est très importante (100 à 300 méq/100g de sol) et augmente donc les potentialités alimentaires du complexe adsorbant sur lequel viennent se lier les hydroxydes, les cations bivalents ou trivalents (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+}). Selon le Mémento de l'agronome (2002), la matière organique est la seule réserve en azote et en soufre du sol et fournit plus de 50 % de phosphore assimilable aux cultures en diminuant l'immobilisation du phosphore, car elle entre en concurrence avec les ions phosphates pour les sites électropositifs.

1.3.2.2. Actions de la matière organique sur les propriétés biologiques des sols

La matière organique en améliorant les propriétés physico-chimiques du sol, crée des conditions favorables aux activités de ses « locataires » que sont les êtres vivants. Elle constitue par ailleurs, une source d'alimentation pour la biomasse microbienne, la macro et microfaune du sol. En effet, une grande partie des micro-organismes du sol est hétérotrophe, c'est-à-dire qu'ils utilisent des matières organiques comme substrats énergétiques (Badiane et Chotte, 1997). Ainsi, plus les entrées de carbone organique seront importantes, à l'échelle de la parcelle, plus les populations microbiennes (et leurs activités) seront importantes. C'est pourquoi, selon Badiane et Chotte (1997), le « rendement biologique » du sol peut être amélioré par des apports de matières organiques et un travail du sol adapté.

Pour Delville (1996), il existe un seuil de matière organique en dessous duquel l'activité biologique ne peut être maintenue. Les niveaux critiques sont alors de 0,2 à 0,6 % de matière organique pour les sols sableux à limono sableux. Cela conforte l'affirmation du Mémento de l'agronome (2002) selon laquelle les plantes semblent se nourrir plus efficacement à partir des réserves organo-minérales des sols cultivés, actifs biologiquement, qu'à partir des apports récents d'engrais chimiques solubles. Sédogo (1981), l'avait également suggéré en trouvant que l'utilisation des engrais chimiques entraîne à la longue une baisse progressive des rendements tandis que les meilleurs résultats sont obtenus en combinant engrais minéraux et matière organique. De toute façon conclut l'auteur, les effets de la matière organique sur les cultures sont bénéfiques. Pour Mustin (1987), l'activité biologique est concentrée dans les couches superficielles et à la périphérie des galeries des vers de terre où l'apport élevé de matière organique est associé aux meilleures conditions d'aération.

1.3.3. Dynamique de la matière organique dans le sol

Selon Delville (1996), la matière organique constituée de l'ensemble de la matière organique d'origine vivante, provient essentiellement de la décomposition des résidus végétaux et animaux morts par les microorganismes vivant dans le sol. Cette décomposition se déroule en différentes étapes, dont l'aboutissement est la formation d'humus. Au cours de ce processus, une partie de la matière organique est transformée en éléments minéraux utilisables par les plantes : c'est la minéralisation. Soltner (1986), note deux grandes phases dans l'évolution de la matière organique dans le sol :

- la minéralisation (directe) de la matière organique, c'est-à-dire une désagrégation, une simplification des constituants des matières organiques fraîches. Cette étape est marquée par une prolifération microbienne à partir des substances faciles à décomposer et une décroissance microbienne accompagnée d'une libération de substances nutritives organiques et minérales ;
- l'humification qui est un ensemble de synthèses, de reconstructions et aboutissant à l'édification de molécules plus complexes : c'est l'ensemble des composés humiques ou humus stable.

On note qu'une minéralisation de l'humus stable ou minéralisation secondaire intervient à la suite de l'humification et donne des produits plus simples identiques à ceux de la minéralisation directe (Soltner, 1986 ; Delville, 1996).

Une partie des éléments minéraux produits dans ces processus est absorbée par les plantes et le reste subit la lixiviation ou le lessivage.

1.3.4. Evolution des déchets urbains solides en tas

Concernant les déchets, la valorisation de la matière organique en agriculture ne devrait concerner que les déchets organiques biodégradables, c'est-à-dire organiques ou encore les déchets dits « fermentescibles ».

Les déchets fermentescibles sont ceux qui peuvent faire l'objet d'une fermentation : transformation de certaines substances organiques sous l'action d'enzymes sécrétées par les microorganismes. Les déchets organiques fermentescibles englobent aussi bien les produits simples et facilement fermentescibles tels que les sucres, l'amidon, les graisses, les protéines, etc. que d'autres dont la décomposition est beaucoup plus lente (hémicellulose, cellulose, lignine, etc.) (Noël *et al.*, 2002).

Après le dépôt des déchets en tas, il se produit sous l'effet des microorganismes présents, une fermentation qui s'opère en quatre phases (Noël *et al.*, 2002) :

✓ 1^{ère} phase: l'activité respiratoire des cellules présentes dans la masse provoque une augmentation modérée de la température. Cette phase s'observe surtout lorsque le mélange déposé en tas comprend une forte proportion de tissus végétaux frais;

✓ 2^{ème} phase: l'activité et la croissance des microbes mésophiles aérobies, liées à la dégradation des matières organiques, portent progressivement la température aux environs de 45°C;

✓ 3^{ème} phase : au fur et à mesure que la température augmente, les microorganismes mésophiles sont remplacés par des thermophiles dont l'activité et la croissance s'opèrent au-delà de 50°C. Cette activité porte la température vers 60-70°C ;

✓ 4^{ème} phase : en consommant l'oxygène, les microorganismes rendent le milieu progressivement anaérobie. En proliférant, les germes anaérobies entraînent une baisse de la température. De plus, l'anaérobiose se traduit par la production de composés volatiles nauséabonds. Ce sont ces gaz produits qui se dégagent des déchets déposés en tas, ce qui rend alors difficile leur manipulation par les paysans.

Les termites jouent également un rôle essentiel dans l'évolution des déchets en tas sur nos sols. Ils contribuent à la fragmentation des matières grossières en débris fins. Cela s'aperçoit par les plaquages sur ces tas, surtout sur les tas ayant passés plus de temps sur place.

Conclusion

Il ressort de cette revue des résultats de la littérature, que d'énormes quantités de déchets urbains solides (DUS) sont produites à Ouagadougou, mais enlevées à des taux très faibles par diverses structures dont la principale est la DSTM. Ces DUS sont ensuite déversés à la périphérie de la ville et utilisés par les paysans. Une analyse des caractéristiques de ces déchets fait ressortir de fortes proportions de matières organiques (80 % et souvent même 90 %). Les effets de cette matière organique sont bénéfiques pour le sol. C'est dire qu'en les utilisant les paysans admettent, comme le soulignent Ganry et Cissé (1991), Delville (1996), que l'amendement organique est une assurance contre les préjudices de la sécheresse et réduit la variabilité des rendements. Mais, ces effets ne sont pas que bénéfiques, car il existe des risques de pollution des sols amendés par les déchets urbains.

CHAPITRE II : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La ville de Ouagadougou, capitale politique du Burkina Faso est comprise entre les méridiens 1°27 et 1°35 de longitude W et les parallèles 12°30 et 12°25 de latitude N avec une altitude moyenne de 300 m.

Selon Bayili (1996), la commune de Ouaga comptait dans les années 1990, 12434 ha de zone aménagée, 8008 ha de non lotis et 2149 ha de zone verte. De même, cette commune couvre une superficie de 21750 ha y compris les périphéries dont 3135 ha de superficies agricoles dispersées tant autour des barrages, dans les quartiers périphériques que la zone prévue pour le projet « Ouaga 2000 » (Deyoko *et al.*, 1993).

2.2. CLIMAT

2.2.1. Pluviométrie

Ouagadougou est située dans la zone soudanienne septentrionale selon le découpage du Burkina Faso fait par Guinko (1984) et a deux saisons : une longue saison sèche de 7 mois (de novembre à mai) et une courte saison pluvieuse de 5 mois (de juin à octobre).

Les précipitations sont conditionnées par la montée du FIT (Front Inter Tropical). Ces précipitations connaissent une mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps. Il est tombé en moyenne 693,5 mm/an sur une période de 11 ans (1993-2003) sur Ouagadougou. L'année la mieux arrosée est 2003, avec 847,4 mm d'eau tandis que la moins arrosée est 1997 avec une pluviométrie de 587,8 mm d'eau (figure 3).

La saison 2003 (figure 4) a été marquée par une pluviosité assez forte (plus de 22,2 % par rapport à la moyenne des onze dernières années). On note aussi que contrairement aux autres années, la pluviosité a été assez bien répartie avec plus de 150 mm d'eau pour les quatre principaux mois pluvieux.

2.2.2. Températures et évapotranspiration potentielle

La province du Kadiogo a un régime thermique annuel variable avec des températures moyennes allant de 22,7°C à 35,4°C depuis 1998.

Sur ces six dernières années, avril a été le mois le plus chaud avec une moyenne mensuelle de 40,3°C comme maximale tandis que le mois le plus froid est décembre avec une moyenne minimale de 17,7°C (figure 5).

L'évapotranspiration potentielle (ETP) enregistrée de mai en octobre pendant une période de six ans de 1998 à 2003 atteint en moyenne 2093,3 mm. Ce qui est nettement supérieur à la pluviosité annuelle. En novembre, l'évaporation est intense, mais les maxima restent faibles par rapport à ceux de mars à cause de l'humidité qui subsiste encore. Aussi, Ouagadougou connaît une période humide allant de mi-juillet à mi-septembre depuis 1998. La période de végétation active se situe quant à elle entre mi-juin et début octobre (figure 6).

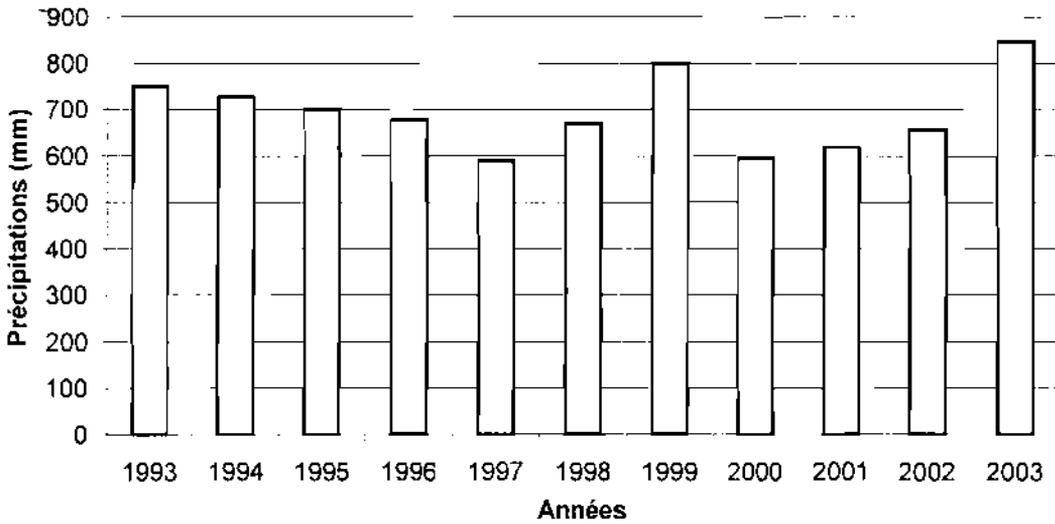


Figure 3 : Evolution de la pluviosité annuelle de Ouagadougou de 1993 à 2003.

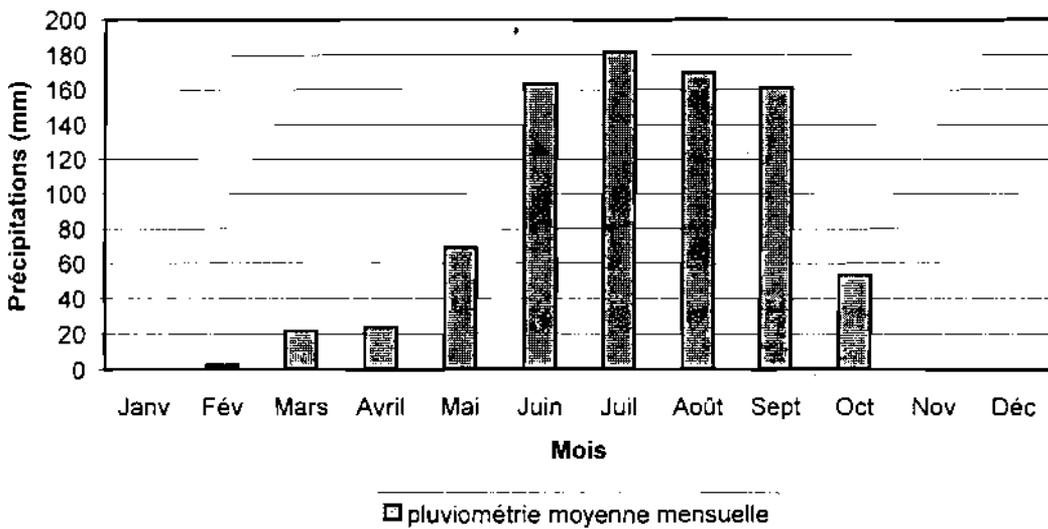


Figure 4 : Pluviosité mensuelle de Ouagadougou en 2003.

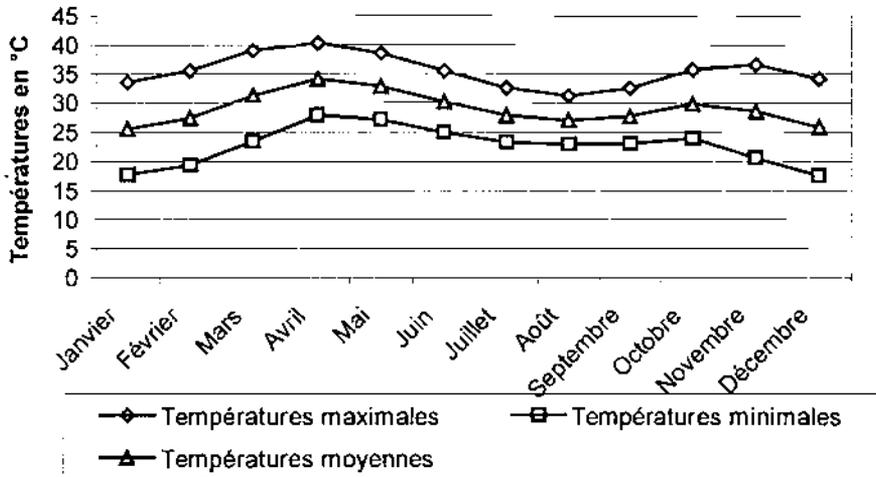


Figure 5 : Evolution des températures de Ouagadougou de 1998 à 2003.

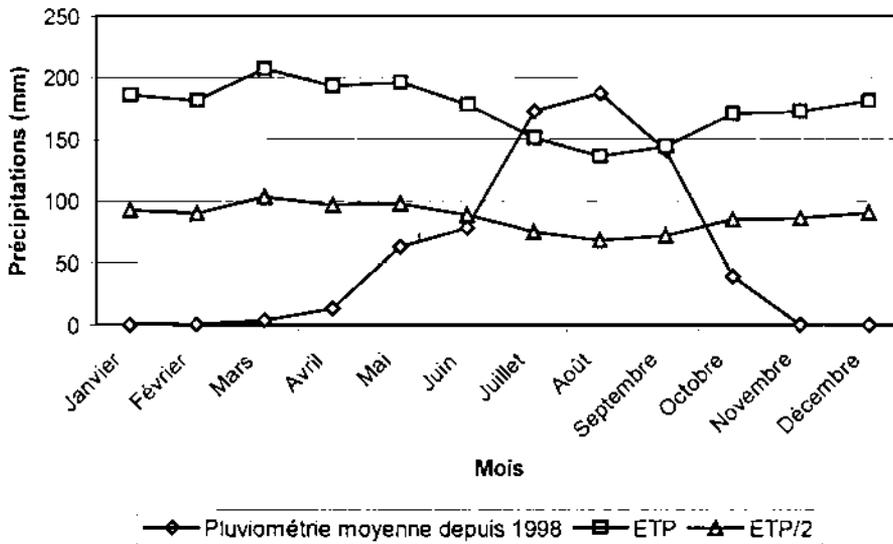


Figure 6 : Diagramme du bilan hydrique de Ouagadougou de 1998 à 2003.

2.3. SOLS

Les sols de la province du Kadiogo appartiennent à quatre grandes classes (BUNASOLS, 1998). Ce sont :

- les sols minéraux bruts ;
- les sols peu évolués ;
- les sols à sesquioxides de fer et/ou de manganèse ;
- les sols hydromorphes.

Du point de vue morphologique, ces sols (de la province) sont généralement bruns, de structure massive à peu développée. La texture est, en général, limono (ou argilo)-sableuse, sablo-limoneuse (argileuse) en surface et argilo-limono-sableuse ou limono-argilo-sableuse en profondeur (BUNASOLS, 1998).

Les sols généralement rencontrés dans le site de l'étude sont :

- * des sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et à concrétions (FTLTC) ;
- * des sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes (FTLH);
- * des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés (FTLI).

2.4. VEGETATION

Selon Guinko (1984), Ouagadougou appartient au domaine phytogéographique soudanien, immédiatement situé au sud du 13^{ème} parallèle. La végétation dans le « Grand Ouaga » est caractérisée par la prédominance des formations ouvertes (savanes) avec un tapis herbacé plus ou moins continu (Nombré *et al.*, 1997). Ces savanes se répartissent sensiblement par bandes orientées Ouest-Est, présentant une dégradation au fur et à mesure que l'on s'achemine vers le Nord.

Divers facteurs tels que le type de sol, la présence d'humidité, les activités humaines etc., entraînent des variations dans la composition et la répartition des formations végétales.

L'impact des populations (défrichements, prélèvements de bois, pâturage, etc.) a entraîné des dégradations importantes et a transformé de manière sensible la végétation naturelle. On remarque aujourd'hui une importante végétation artificielle faite de vergers, du reste de la « ceinture verte » où sont plantées des essences exotiques telles que *Azadirachta indica* (A. Juss), *Eucalyptus camaldulensis* (Dehn), etc (Nombré *et al.*, 1997).

2.5. DEMOGRAPHIE

2.5.1. Indicateurs de l'état de la population

L'accroissement de la population de Ouagadougou est remarquable selon les trois recensements généraux du Burkina Faso. En effet, la population qui était de 172.661 habitants en 1975 est passée à 441.514 habitants en 1985. En 1995, la ville comptait 752.236 habitants (INSD, 1995).

Pour Bayili (2000), la population de Ouagadougou de façon générale, correspond à près de 1/10^{ème} de la population totale du pays et environ 1/2 de la population urbaine totale.

Selon l'hypothèse moyenne retenue par les Services Techniques de la Mairie (STM) dans le Schéma Directeur de Gestion des Déchets (SDGD, 2000) de Ouagadougou pour la construction du centre d'enfouissement technique (CET), la population de la capitale serait de 914.348 habitants en 2000. Pour cette année 2004, la population est estimée à 1.090.377 habitants et atteindrait 1.622.685 habitants en 2015.

2.5.2. Indicateurs des mouvements des populations

La ville de Ouagadougou connaît un taux d'accroissement annuel d'environ 6,4 % chaque année (Waas, 1996). Cet accroissement est passé à 9,2 % en 2000 (Guène, 2000). L'augmentation de la population est de plus en plus importante. Ce qui indique une augmentation certaine de la production des déchets dans la ville et une amplification de l'agriculture urbaine car face au manque de travail, les jeunes désillusionnés de la campagne pourraient se rabattre sur l'agriculture qu'ils pratiquaient dans leurs villages respectifs.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

3.1. SITES D'ETUDE

3.1.1. Choix des sites d'étude

Après une tournée exploratoire à la périphérie de Ouagadougou et des entretiens auprès des populations, nous avons constaté que :

➤ les entreprises de nettoyage de la ville déversent l'essentiel des déchets enlevés, au Nord de Ouagadougou du fait de la proximité de la périphérie de ce côté. En effet, l'ancienne ceinture verte a limité le développement de la ville du côté nord. Ce qui fait que la périphérie est à peu près à cinq kilomètres du centre ville et il est plus économique pour les entreprises qui prennent essentiellement les déchets au centre ville, d'aller les verser de ce côté. Les décharges de déchets sont rares sur l'axe route de Bobo (côté Ouest) pour cause d'habitation et sur l'axe route de Léo (côté Sud) à cause de « Ouaga 2000 ». La présence de déchets est également marginale sur l'axe route de Fada (côté Est de Ouaga) ; la zone Nord de Ouagadougou qui couvre 884 ha est représentative de l'utilisation des déchets solides comme source d'amendement des sols cultivés dans la périphérie de Ouagadougou.

Ces constats nous ont conduit à choisir les sites d'étude dans cette zone Nord de Ouagadougou :

- site 1 : ancienne ceinture verte de Ouagadougou (5-7 km de la ville);
- site 2 : zone de Toubwéogo-Wapassi (à environ 15 km) ;
- site 3 : environs du village de Ourgou (20- 22 km).

3.1.2. Sols des sites d'étude

L'étude a porté sur trois types de sols. Les trois sols décrits selon la convention CPCS sont un sol ferrugineux tropical lessivé induré profond, un sol ferrugineux tropical lessivé induré moyennement profond et un sol ferrugineux tropical lessivé induré peu profond. Dans chacun des trois sites, l'étude a porté sur un type de sol donné.

3.1.2.1. Site 1 : sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds (S.F.T.L.I.P.P.)

Ces sols sont rencontrés dans l'ancienne « ceinture verte » de Ouagadougou à la sortie du quartier Tanghin. Ce sont des sols de glacis bas de pente et sont quasi-plats. Leurs caractéristiques morphologiques généralement rencontrées sont :

- ❖ Horizon 0-15 cm : couleur brun clair (10YR6/3 ou 10YR6/4) à l'état sec et brun foncé (10YR4/3) à l'état humide. La texture est limono-sableuse dans cette couche de surface, la structure faiblement développée ;
- ❖ Horizon 15-40 cm : couleur brun pâle (10YR6/3) à l'état sec et brun foncée (10YR4/3) à l'état humide. La texture va de sablo-limoneux à limono-argilo-sableux. La structure, comme précédemment est faiblement développée ;

Horizon > 40 cm : carapace ferrugineuse à cimentation-induration moyenne.

3.1.2.2. Site 2 : sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (S.F.T.L.I.M.P.)

Ce sont des sols situés entre les villages Polosgo et Wapassi. Ces sols sont des sols de glacis bas de pente et ils sont quasi-plats. Le drainage est normal. Les caractéristiques morphologiques du solum sont :

- ❖ Horizon 0-12 cm : couleur brune (10YR5/3) à l'état sec et brun foncé (10YR4/3) à l'état humide. La texture est limono-argileuse avec de rares graviers ferrugineux, la structure est massive et la consistance dure. On y rencontre une activité biologique bien développée ;
- ❖ Horizon 12-28 cm : couleur très pâle (10YR7/4) à l'état sec et jaune brunâtre à l'état humide, la texture est limoneuse et la structure massive ;
- ❖ Horizon 28-44 cm : c'est un horizon graveleux (plus de 80 % de graviers ferrugineux et graviers de quartz) avec une cimentation-induration faible ;

Horizon > 44 cm : carapace ferrugineuse à cimentation-induration moyenne.

3.1.2.3. Site 3 : sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds (S. F.T.L.I.P)

Ce sont des sols de glacis bas de pente avec une pente de 2 % orientée est-ouest avec un drainage normal. Ils se trouvent à proximité de Ourgou, village voisin de Kamboinsé. Les principales caractéristiques morphologiques du solum sont les suivantes :

- ❖ Horizon 0-19 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/6) à l'état humide. Sa texture est limono-sableuse avec une structure faiblement développée et une consistance peu dure. L'activité biologique y est bien développée avec la présence de nombreuses racines fines ;

- ❖ Horizon 19-37 cm : jaune rougeâtre (7,5YR6/8) à l'état sec et brun vif (7,5YR5/6) à l'état humide ; Texture limono-argilo-sableuse, structure massive à sous structure faiblement développée, consistance dure et une activité biologique bien développée caractérisent cette couche ;
- ❖ Horizon 37-77 cm : jaune brunâtre (10YR6/6) à l'état sec et brun jaunâtre (10YR5/6) à l'état humide. Ici la texture est limono-argilo-sableuse avec quelques graviers ferrugineux et ferromagnésiens, la structure massive et la consistance très dure. L'activité biologique y est par ailleurs bien développée ;
- ❖ Horizon > 77 cm : carapace ferrugineuse à cimentation-induration moyenne.

3.2. ENQUETES EN MILIEU PAYSAN SUR L'UTILISATION DES DUS

L'objectif de cette démarche est non seulement de comprendre la perception que les paysans ont des déchets urbains en général, et solides en particulier, mais aussi d'arriver à constituer des couples de parcelles (sol amendé avec des DUS et sol non amendé) pour l'échantillonnage des sols.

Les enquêtes se sont déroulées en deux étapes :

- ✓ une tournée exploratoire dans la périphérie de Ouagadougou a permis de circonscrire davantage la zone d'étude ;

une phase d'enquête formelle à l'aide d'une fiche d'enquête (voir Annexe 1) au cours de laquelle 35 paysans ont été enquêtés. Ces enquêtes ont été menées chez des exploitants dont les champs se situent sur trois sites et qui sont répartis de la façon suivante :

- site 1 : 34,3 % des enquêtés ;
- site 2 : 51,4 % des enquêtés ;
- site 3 : 14,3 % des enquêtés.

Une évaluation des rendements de six paysans a eu lieu à la récolte et a concerné, d'une part les rendements tiges et d'autre part les rendements en panicules. A cet effet, dans chaque champ, une aire de 20m x 20m (soit 400 m²) a été délimitée et le sorgho est fauché à ras de sol. Les panicules sont séparées des tiges, rassemblées puis pesées à l'aide de pesons. Il en est de même des tiges rassemblées par petits lots.

Le poids des grains aurait pu être déterminé, mais face à la réticence des paysans, nous nous sommes contentés du poids des panicules qui donne une indication sur la production.

3.3. CARACTERISATION DES DECHETS URBAINS SOLIDES

3.3.1. Prélèvements de DUS

L'objectif de la démarche n'est pas une caractérisation « sensu stricto » des déchets solides de Ouagadougou ; il s'agit plutôt d'avoir un aperçu sur ce que les paysans apportent dans leurs champs. Pour cela, nous avons identifié des tas de DUS aux abords des champs paysans et avons procédé à un échantillonnage.

Sur un tas de 8 à 10 tonnes, les DUS sont prélevés sur une largeur de 20 cm du haut à la base du tas de sorte à constituer une tranchée en fin de prélèvement (figure 8). L'ensemble est mis dans des sacs et transporté au laboratoire. Ces prélèvements ont été faits sur des tas déposés depuis 4 mois, 2 mois et quelques heures (tas frais).

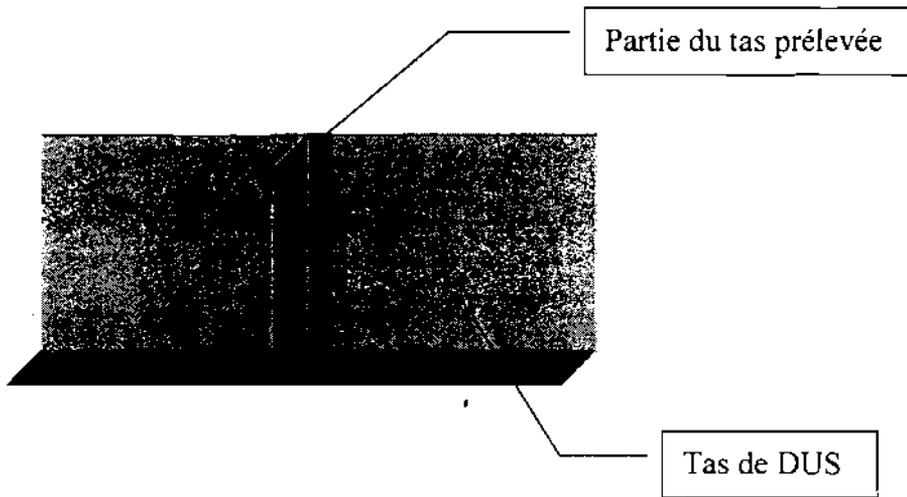


Figure 8. : Schéma du prélèvement des DUS sur les tas.

3.3.2. Fractionnement des DUS

Au laboratoire, un tri manuel, a permis de séparer les DUS biodégradables et les DUS non biodégradables. Les DUS biodégradables sont soumis à un fractionnement avec des tamis de 4 mm, 2 mm, et 1 mm. Les différentes factions sont ensuite pesées pour une détermination de leurs proportions.

3.3.3. Détermination des teneurs en matière organique par la perte au feu

La perte au feu (PAF), exprimée en pourcentage, est la perte de poids d'un échantillon, après calcination à 1100°C rapportée au poids initial (séchage à l'air). Mais selon Baize (2000), d'autres températures sont également employées, par exemple 650°C pour les horizons holorganiques ou riches en matière organique. C'est donc cette dernière température que nous avons utilisée, qui est suffisante pour brûler toutes les formes de matière organique, le reste n'étant que des cendres (Baize, 2000 ; Pansu et Gautheyrou., 2003),.

Selon Baize (2000), la PAF est une façon très aisée de connaître la véritable teneur en matière organique des échantillons ; les dosages classiques par la méthode de Walkley et Black ou la méthode de Anne donnant des valeurs très faibles.

Ainsi, l'échantillon dont l'humidité résiduelle est déterminée par ailleurs après un passage à l'étuve à 105°C pendant au moins 24 heures, est passé au four à 650°C pendant 2 heures et la perte au feu est déterminée par la formule suivante :

$$\text{PAF (\%)} = (P_{\text{air}} - P_{650^{\circ}\text{C}}) \times 100 / P_{\text{air}}$$

$$\text{Le taux de matière organique (\%)} = \text{PAF} - \text{HR}$$

3.4. EVALUATION DE L'IMPACT DES DUS SUR LES CARACTERISTIQUES DES SOLS

3.4.1. Choix des parcelles et échantillonnage de sols

Après avoir identifié la pratique de la fumure (amendement ou non) de chaque paysan enquêté, et ayant une idée précise du type de sol de son champ, nous avons procédé à un choix des parcelles qui ont servi à la caractérisation de l'impact des DUS sur les propriétés chimiques et biologiques des sols. Ces sols sont répartis sur trois sites et ont porté tous des plants de sorgho pendant la saison :

- sur le site 1, dix (10) parcelles ont été retenues : cinq (5) amendées avec des déchets urbains solides et cinq (5) témoins ;
- sur le site 2, dix (10) parcelles ont été retenues : cinq (5) amendées avec des déchets urbains solides et cinq (5) témoins ;
- sur le site 3, huit (8) parcelles dont quatre (4) amendés et quatre (4) témoins ont été retenues.

A cette étape a suivi directement l'échantillonnage des sols. Il a consisté à des prélèvements faits le long d'un transect de 20 m tracé à l'intérieur de chaque parcelle, avec un prélèvement tous les 2 m soit 10 prélèvements par champ.

Pour chaque prélèvement, on dispose un cadre de 1m x 1m à l'intérieur duquel un trou de 30cm x 30cm est creusé sur une profondeur de 10 cm. Les déchets non biodégradables encore visibles à l'œil nu sur la surface délimitée par le cadre sont ramassés et pesés. La terre de chaque trou constituant un échantillon élémentaire, est récupérée dans un sac à part. Un échantillon composite est ensuite constitué à partir des dix (10) échantillons élémentaires (prélèvements) pour les analyses de laboratoire et les essais en vases de végétation. Ces prélèvements ont été réalisés après les récoltes.

3.4.2. Mesures des paramètres bio-indicateurs du sol

3.4.2.1. Tests respirométriques

La méthode utilisée permet au cours d'une période d'incubation de 21 jours, d'estimer quotidiennement la minéralisation de la matière organique introduite dans le sol en mesurant par colorimétrie (respiromètre Polytron IR-CO₂) le CO₂ dégagé. Les échantillons de sol ont été introduits dans 15 petits godets de 37 ml, contenant chacun 20 g de sol humidifié à 75 % de la capacité de rétention maximale en eau. Ces 15 godets ont été placés dans un bocal à fermeture hermétique et l'humidité du sol est équilibrée régulièrement par les pesées des poids initiaux des godets. Les bocaux ont été laissés à la température ambiante. Le CO₂ dégagé a été mesuré quotidiennement pendant une semaine, puis tous les deux jours à partir du 10^{ème} jour. Compte tenu des fortes quantités de CO₂ dégagées au début et dépassant la capacité de l'appareil, nous avons opté pour un flux de 4 heures par jour. La quantité de CO₂ est donnée par la formule suivante :

$$Q = (0,447403 \times C_2 - 0,082119 \times C_1) / t$$

C_1 : Concentration du tuyau + appareil ($\mu\text{l.l}^{-1}$) ;

C_2 : Concentration de l'ensemble tuyau + appareil + bocal ($\mu\text{l.l}^{-1}$) ;

t : Durée de l'incubation en heures ;

0,447403 l : Volume du bocal ;

0,082119 l : Volume de l'appareil ;

Q : quantité de CO₂ dégagée par l'échantillon en $\mu\text{gCO}_2.\text{g}^{-1}$ de sol.

3.4.2.2. Diversité catabolique

La méthode utilisée est celle mise au point par Degens et Harris (1997) pour mesurer la diversité catabolique des communautés microbiennes du sol. La méthode utilise des différences entre les réponses de respiration des communautés microbiennes. Cette respiration

est induite par des substrats qui sont des composés organiques (30 substrats ont été utilisés : voir Annexe 2) et permet de mesurer la diversité catabolique.

Pour cela, 1g de l'échantillon est ajouté à deux ml du substrat à apporter dans un tube en verre. Le tout est fermé hermétiquement, agité puis placé à l'étuve (28°C) pour une incubation de 4 heures. Au bout des 4 heures, les échantillons sont sortis et placés au réfrigérateur. Le CO₂ dégagé par l'échantillon est ensuite mesuré automatiquement au respiromètre.

Selon Degens et Harris (1997), cette méthode est une technique physiologique, raisonnablement rapide et simple pour évaluer la diversité des communautés microbiennes sans extraire ou cultiver des organismes du sol. En effet, selon eux les mesures des profils d'acides gras, d'hétérogénéités d'acides désoxyribonucléiques (ADN) pendant les investigations de la diversité microbienne, peuvent être compliquées et n'ont pas toujours permis d'accéder à la diversité fonctionnelle des communautés microbiennes du sol.

3.4.2.3. Extraction et dosage d'azote minéral

L'azote minéral du sol est la somme de l'azote nitrique et de l'azote ammoniacal, les autres formes minérales (NO₂ par exemple) étant négligées (Baize, 2000). L'objectif de la présente démarche est de suivre l'évolution de l'azote minéral sur les échantillons provenant des champs amendés avec des DUS ou non. Compte tenu du nombre élevé des extractions à réaliser, et impliquant beaucoup de moyens, nous avons choisi de faire cette extraction sur sept (7) couples d'échantillons des sites 1 et 2.

Pour cela, 300 g de sol ont été humidifiés à 75 % de la capacité de rétention maximale en eau, et répartis dans de petits godets et incubés dans un bocal étanche de 1 litre, à l'obscurité, à température ambiante. Une extraction a été faite au 1^{er}, 3^{ème}, 7^{ème}, 14^{ème}, 21^{ème} jour après l'incubation pour suivre la minéralisation de l'azote en dosant le NH₄⁺ et le NO₃⁻. A chaque extraction, trois godets sont pris dans le bocal et représentent les trois répétitions de chaque échantillon.

A 2 g de sol, on ajoute 20 ml d'une solution de KCl à 1N. Le mélange est agité pendant une heure sur un agitateur va-et-vient. Après décantation, on filtre sur filtre Whatman 2 et le filtrat est recueilli dans de petits pots stérilisés. Les formes d'azote minéral évoluent très rapidement dans un échantillon prélevé (Blondel, 1971 ; Gigou, 1983 ; Viaux, 1983 cités par Bacyé, 1993). Mais il est possible de conserver les extraits avec le moins de risque d'évolution des formes d'azote minéral en les gardant au frais et à l'abri de la lumière (Viaux, 1983 cité par Bacyé, 1993). C'est pour cette raison que nos échantillons sont conservés au

congélateur juste après extraction, puis transférés au laboratoire de Kamboinsé pour la détermination des teneurs par colorimétrie, toujours en milieu frais.

3.4.3. Déterminations chimiques des sols

3.4.3.1. pH

20g de sol constituant la prise d'essai sont agités dans de l'eau distillée (50ml) pendant 30 minutes avec un rapport terre fine/eau = $\frac{1}{2,5}$ pour le pHeau. Le pH de l'échantillon est obtenu automatiquement à l'aide d'un pH-mètre (Microprocessor pH/ion meter pMx 3000).

Pour le pHKCl, on ajoute 3,79 g de KCl dans le mélange précédent (après avoir mesuré le pH eau) puis on agite pendant 2 à 3 minutes. La valeur de pH est encore lue automatiquement après stabilisation de la valeur affichée sur l'appareil.

3.4.3.2. Dosage du carbone total

Ce dosage a porté sur 30 échantillons de sol et 3 échantillons de DUS. Il est fait selon la méthode de Walkley et Black (1934). Pour cela, une prise d'essai de 2 g est minéralisée en milieu acide sulfurique (H_2SO_4) par oxydation au bichromate de potassium 1N ($K_2Cr_2O_7$). La quantité de bichromate de potassium réduite est proportionnelle à la teneur en carbone de l'échantillon. L'excès de bichromate est ensuite titré par le sel de Mohr ($FeSO_4(NH_4)_6$) en présence de diphénylamine. Les résultats sont exprimés en g de C/Kg de sol et tiennent compte d'un facteur de correction de 4/5 à cause de la minéralisation incomplète du carbone organique.

3.4.3.3. Dosage de l'azote total

Il a porté sur les mêmes échantillons que précédemment et a été fait selon la méthode de Kjeldahl. On réalise une minéralisation de l'échantillon par une attaque à l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré porté à ébullition et en présence d'un catalyseur qu'est le sélénium. Les éléments azotés obtenus après la minéralisation sont alors déterminés directement à l'auto-analyseur (colorimétrie automatique) sur le SKALAR.

3.4.3.4. Dosage du phosphore total

Le dosage du phosphore total est fait par colorimétrie automatique et selon la même méthode d'extraction que l'azote total.

3.5. TEST DE CROISSANCE EN POT DE PLANTS DE SORGHO (IRAT 204)

Ce test a permis de voir l'effet des DUS sur la croissance des plants en pot. A partir des échantillons prélevés sur les parcelles des paysans, ont été constitués des composites qui ont servi dans cette manipulation ; un sol amendé avec des déchets urbains solides a été comparé à un sol non amendé. On note ici que l'intensité de l'amendement dépend des moyens du paysan, et que par conséquent, les doses d'amendement varient d'un paysan à l'autre.

Pour chaque cas, 200 g de sol tamisé à 2 mm ont été mis dans des pots plastiques avec 12 répétitions pour chaque traitement. Les graines de sorgho ont été semées à raison de cinq (5) graines par pot sur ces sols ; un démariage à 2 plants par pot a été effectué. Les hauteurs des plants ont été suivies par des mensurations faites à des intervalles de cinq jours, à partir de sept (7) jour après levée.

Après une croissance de 45 jours, les plants ont été dépotés, séchés à l'étuve à 105°C, puis pesés pour la détermination des biomasses aériennes et racinaires.

3.6. ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES

Les résultats de l'enquête ont été analysés au logiciel SPSS 10.0. Les autres résultats de l'étude ont été analysés avec les logiciels EXCEL et XLSTAT (ADDINSOFT) version 6.0. Les comparaisons entre sols amendés et sols témoins ont été faites par des analyses de variance (ANOVA) au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls.

Les interprétations des caractéristiques chimiques des sols ont été faites selon les normes du BUNASOLS.

Les indices de Shannon (H) et de Simpson-yule (D) (ou indice d'équitabilité) utilisés dans la diversité catabolique ont été calculés de la façon suivante :

$$H = - \sum p_i \log_2 p_i \text{ avec } p_i = r_i / \sum r_i$$

$D = 1 / \sum (p_i)^2$ avec $p_i = r_i / \sum r_i$; r_i est la réponse catabolique du substrat i mesurée par la quantité de CO₂ dégagée.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. UTILISATION DES DUS EN MILIEU PAYSAN

4.1.1. Résultats de l'enquête

4.1.1.1. Raisons d'utilisation des déchets urbains solides

Parmi les paysans enquêtés, 85,7 % utilisent les déchets urbains solides tandis que les 14,3 % autres paysans n'utilisent pas de déchets, principalement par manque de moyens. Parmi ceux qui les utilisent, près de 50 % (49,8 %) ont commencé cet usage ces cinq dernières années.

A la question de savoir ce qui les a poussés à utiliser ces déchets, les réponses sont les suivantes :

- * les déchets augmentent la fertilité du sol car sans eux, les rendements sont faibles (43,3 % des enquêtés) ;
- * les grands-parents utilisaient des débris végétaux (pailles) pour enrichir les champs, mais compte tenu de la problématique actuelle de la disponibilité des résidus végétaux, il y a une substitution par les déchets qui sont disponibles (20 %) ;
- * les déchets permettent de récupérer les sols nus et dégradés apparemment impropres aux cultures (26,7 %) ;
- * les déchets garantissent une récolte quelle que soit la pluviométrie de l'année (3,4 %) ;
- * enfin, les déchets se présentent comme une alternative dans la lutte contre les mauvaises herbes (striga par exemple) (6,7 %).

4.1.1.2. Quantités de DUS apportées

Le tableau 2 synthétise les différentes situations rencontrées sur les trois sites. Il ressort que sur le site 1, la majorité des champs dont les superficies sont inférieures à 1 hectare (tableau 3), ne reçoit pas moins de 6 à 10 voyages de bennes de 8 m³. Sur le site 3, même si les champs ont de petites superficies (0,25-1 ha), ils reçoivent de faibles quantités de déchets comparativement au premier site (moins de 6 voyages de bennes). Le site 2 se trouve dans une situation intermédiaire sur le plan amendement. Le site 2 est géographiquement situé entre le premier site et le troisième site.

On note dans la plupart des cas que l'obtention des déchets par les paysans (tableau 4) se fait par achat (77,1 % des enquêtés) auprès des chauffeurs des entreprises, les apports

personnels étant limités (seulement 5,7 % des cas). Les dons et les déversements spontanés sur les champs représentent encore 17,1 %.

4.1.1.3. Techniques d'apports des DUS

Lorsque les paysans reçoivent les déchets, ils ont deux façons de les utiliser :

- soit ils font un épandage direct sans tri (18,6 %) ;
- soit ils effectuent un tri grossier préalable à l'aide de râteau, pendant lequel les matières dites non biodégradables sont séparées et serviront à constituer des diguettes ou pour marquer les limites des champs (81,4 %). Parfois, elles sont entièrement brûlées.

Dans les deux cas, de petits tas de déchets sont constitués sur tout le champ à l'aide de brouettes ou de seaux. Dès les premières pluies, on note deux façons de faire : il y a ceux qui sèment avant d'épandre les déchets et ceux qui épandent, labourent avant de semer. Dans tous les cas, les déchets non biodégradables rencontrés au cours du sarco-binage sont rassemblés en petits tas dans le champ.

4.1.1.4. Les aspects économiques liés à l'utilisation des DUS

» Prix d'achat des DUS

Les prix des DUS varient en fonction des périodes de l'année (niveau de la demande), mais aussi en fonction des sites (distance et accessibilité du site). Les prix vont de 500 à 1000 FCFA par benne de 8 m³ en janvier-février à 1500-2000 FCFA en mai-juin sur le premier site. Sur les deux autres sites, les prix vont de 1000 à 1500 FCFA pendant la « période morte », mais atteignent 2000, 2500 et 3000 FCFA par benne en mai-juin.

» Destinée des résidus de cultures

A l'issue des récoltes, les résidus de culture des paysans sont vendus ou autoconsommés (tableau 5). On note les situations suivantes:

- les grosses cannes de sorgho sont vendues par lot de 250 FCFA aux vendeuses de « dolo » (bière locale) ou auto consommées comme source d'énergie pour le ménage ;
- les petites cannes sont vendues comme fourrage par lot de 50 à 75 FCFA aux éleveurs ou auto consommées par le bétail du ménage.

Le plus souvent, les recettes obtenues de ces ventes serviront à acheter les DUS pour l'amendement des champs la saison suivante. Ainsi, plus on a des déchets, plus on a des résidus de cultures à vendre et plus on aura des déchets pour la saison suivante.

Par ailleurs, l'exportation des résidus est totale chez tous les paysans enquêtés.

Tableau 2 : Regroupement des paysans appliquant les DUS selon les quantités apportées sur les sites.

Quantités de DUS apportés (nombre de voyages de bennes de 8 m ³)	Sites		
	Site 1	Site 2	Site 3
1 - 5 voyages	1	10	5
6 - 10 voyages	7	3	0
11 - 20 voyages	1	1	0
40 voyages	1	1	0

Tableau 3 : Superficies des champs rencontrés sur les différents sites.

Superficies des champs	Sites		
	Site 1	Site 2	Site 3
0,25 - 1 ha	11	9	5
1 - 2 ha	1	5	0
2 - 4 ha	0	4	0

Tableau 4 : Répartition des paysans selon leur mode d'obtention des DUS.

	Mode d'obtention des DUS		
	Achat	Apports personnels	Autres (dons, etc)
Proportions (%)	77,1	5,7	17,1

Tableau 5 : Regroupement des paysans selon l'utilisation ultérieure des résidus de culture.

	Destinée des résidus de culture		
	Vendus	Autoconsommés	Restent sur place
Proportions (%)	51,4	48,6	0

4.1.1.5. Effet des DUS sur la santé humaine

Les points de vue des enquêtés quant à l'effet des DUS sur leur santé sont résumés dans le tableau 6. Ce tableau montre que pour la majorité des paysans, les effets négatifs des déchets sur leur santé sont méconnus. Toutefois, d'autres paysans émettent des réserves sur l'utilisation des déchets dans les champs à cause des risques de maladies.

4.1.1.6. Effets des DUS sur les propriétés biologiques des sols

Selon 85,8 % des paysans, les déchets augmentent la macrofaune du sol car il y a plus de composés organiques comme source d'alimentation dans le sol quand ils sont apportés (tableau 7). Ils notent que le nombre de termitières et même de vers de terre augmente. La flore est également favorisée car les champignons macroscopiques et des algues apparaissent sur les champs suite à l'apport des DUS. 11,4 % des enquêtés disent ne rien savoir sur ces effets tandis que 2,9 % estiment que les déchets diminuent les organismes du sol.

Tableau 6 : Synthèses des appréciations de l'effet des DUS sur la santé humaine.

Points de vue des enquêtés	Proportion (%)
Les DUS ne donnent pas de maladies mais plutôt la santé car ils donnent à manger (permettent de lutter contre la famine)	31,4
Les DUS ont des effets négligeables (blessures légères ou des ballonnements lors du tri des tas, etc.)	28,6
Les DUS donnent des maladies graves dont on ignore les origines car on ne sait pas d'où ces déchets viennent ni ce qui vient avec ces déchets (il y a du tout dedans)	22,9
Pas d'opinion	17,1

Tableau 7 : Synthèse appréciations de l'effet des DUS sur les propriétés biologiques du sol.

	Effets des DUS l'activité biologique du sol		
	Augmentent la faune et la flore	Diminuent leur nombre en les tuant	Pas d'opinion
Proportions (%)	85,8	2,9	11,4

4.1.1.7. Mesures des rendements des paysans

Les résultats (figure 9) révèlent que sur les trois couples (site 1), les poids des pailles et des panicules des sols amendés sont tous supérieurs aux témoins. En moyenne, sur le site 1 l'apport des déchets solides a multiplié par 4 les rendements en paille des cultures (3 t/ha pour les sols amendés contre 0,8 t/ha pour les sols témoins) et a permis de tripler les poids des panicules (0,8 et 0,2 t/ha respectivement pour les sols amendés et les sols témoins).

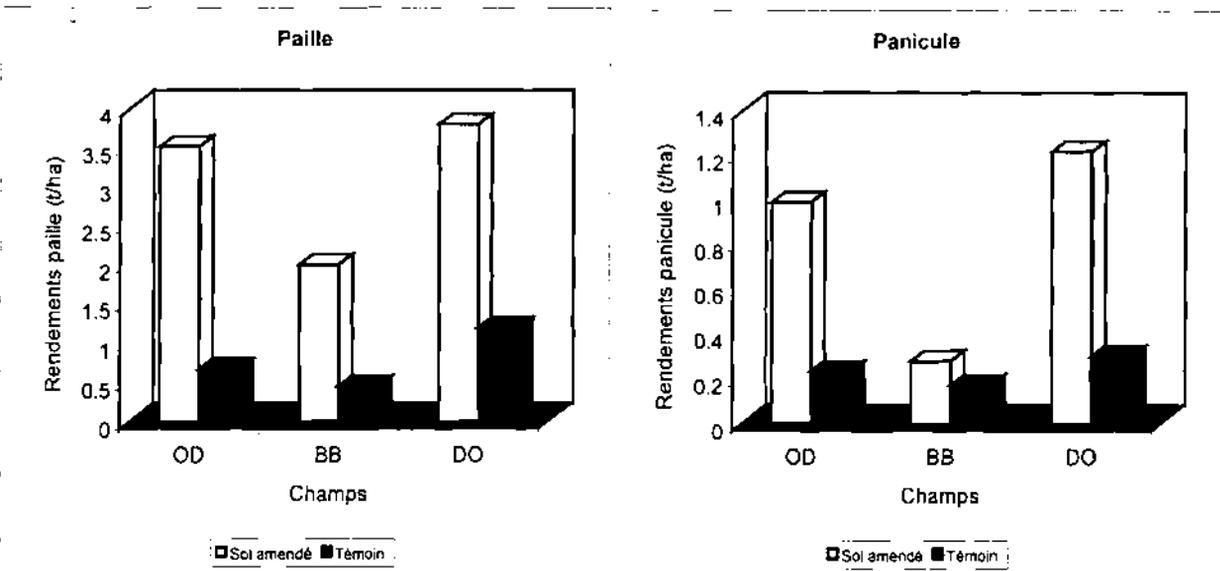


Figure 9 : Rendements paille et poids des panicules de trois couples de parcelles sur le site 1. OD : Champ Ouédraogo Dramane ; BB : champ Bagué Boukaré ; DO : champ Darnème Ousmane.

4.1.2. Discussion

L'enquête a révélé que beaucoup de paysans de la zone périurbaine de Ouagadougou amendent leurs champs avec les déchets urbains. Cet engouement vient du fait que les sols sont extrêmement pauvres et que tout apport de DUS dans les champs assure une récolte minimale aux producteurs. Un autre indicateur qui montre l'engouement dans l'utilisation des déchets est leur prix d'achat. En effet, au départ les déchets étaient jetés gratuitement et parfois même refusés par les paysans. Aujourd'hui, obtenir des déchets dans son champ n'est pas chose facile, surtout à l'entrée de la saison pluvieuse où ces déchets deviennent des ressources rares. C'est ce qui fait la différence sur les trois sites de l'étude. En effet, les paysans du site 1 qui sont à la sortie de la ville, « interceptent » les chauffeurs pour les convoier dans leurs champs. Ce que les chauffeurs ne refusent pas puisqu'ils économisent dans ce cas, du carburant et du temps. Pour obtenir des déchets sur le site 3 (zone géographiquement plus éloignée de la ville), les paysans sont obligés de se déplacer à Ouaga,

négocier et même « convoier » les camions jusque dans leurs champs. Cela explique entre autres pourquoi les champs du site 1 sont plus fortement amendés comparativement à ceux des deux autres. Le niveau de l'amendement sur le site 2 est intermédiaire au vue de la situation géographique de ce site qui est à mi-chemin entre les sites 1 et 3. Il y a un gradient de l'amendement quand on passe du site 1 au site 3. Dans le cas présent, il est difficile d'estimer à quelle distance de la ville s'arrête l'influence des DUS, mais il est possible de dire que leur effet est d'autant plus important que la ville est proche.

4.2. CARACTERISTIQUES DES DECHETS URBAINS SOLIDES REPANDUS SUR LES CHAMPS

4.2.1. Résultats

4.2.1.1. Composition centésimale des DUS

La composition centésimale des DUS est résumée dans le tableau 8 et ce, en fonction de trois stades d'évolution des déchets : DUS de 4 mois, DUS de 2 mois puis DUS frais. Il faut rappeler que dans cette partie, les cailloux, les débris de poterie ont été tous regroupés sous le terme « autres matériaux ». Dans la fraction fine (F.0-1mm), on trouve la terre fine, les cendres, les débris végétaux fins.

L'observation de ce tableau fait ressortir de fortes proportions de matières biodégradables. Ces résultats montrent que :

- les DUS de 4 mois contiennent 81 % de matières biodégradables et 19,1 % de non biodégradables.
- les DUS de 2 mois ont 87,5 % de matières biodégradables et 12,5 % de non biodégradables.
- les DUS frais sont composés de 79,9 % de matières biodégradables et 20,1 % de non biodégradables.

Les résultats indiquent par ailleurs qu'en dehors de « autres matériaux » (ceux qui n'ont pu être classés), ce sont les déchets plastiques qui sont les plus importants dans la partie non biodégradable : 5,7 %, 3,0 % et 6,1 % respectivement pour les déchets de 4 mois, 2 mois et frais (tableau 8).

4.2.1.2. Composition granulométrique de la partie biodégradable des DUS

Quatre fractions ont pu être constituées dans ce travail (F.0-1mm, F.1-2mm, F.2-4mm, F>4mm). Globalement, il ressort des résultats que les fractions F.0-1 et F>4mm sont les plus importantes suivies de la fraction F.2-4mm puis F.1-2mm (qui est la moins importante) sur ces déchets. Pour les déchets de 4 mois, la fraction fine est la plus grande (35 %). Cette fraction devient beaucoup moins importante dans les DUS de 2 mois avec 25 %. Sa valeur tombe davantage dans les DUS frais, où elle représente moins de 10 % en proportion (figure10).

4.2.1.3. Teneurs en matière organique des fractions par la perte au feu

Les résultats des teneurs en matière organique des fractions F.0-1mm, F.1-2mm, F.2-4mm des DUS sont consignés dans le tableau 9. Ces résultats montrent que toutes les fractions des DUS ont des teneurs importantes en matière organique dans l'ensemble (plus de 10 %). Ces résultats permettent d'observer par ailleurs que :

- ✓ quel que soit l'âge d'évolution des DUS, la fraction fine (F.0-1mm) est la plus pauvre en matière organique (9,8 %, 10,6 %, 13,5 % respectivement pour les DUS de 4 mois, 2 mois et frais).
- ✓ quel que soit l'état des DUS, la fraction F.2-4mm est la plus riche en matière organique (16,1 %, 22 %, 40 % pour les DUS respectivement pour les DUS de 4 mois, 2 mois et frais).
- ✓ quelle que soit la fraction, on a la hiérarchie suivante en ce qui concerne les teneurs en matière organique : fractions DUS de 4 mois < fractions DUS de 2 mois < fractions DUS frais.

En moyenne, la PAF donne 13,3 % de matière organique pour les DUS de 4 mois, 16,5 % pour les DUS de 2 mois et 28,1 % pour les frais. Par ailleurs, pour les différentes fractions, les teneurs moyennes en matière organique sont de 11,2 %, 20,8 %, 26 % respectivement pour la F.0-1mm, F.1-2mm et F.2-4mm.

Tableau 8 : Composition centésimale (%) des DUS en 3 stades d'évolution.

Fraction	Temps de dépôt		
	4 mois	2 mois	frais (quelques heures)
Matières facilement dégradables			
F. 0-1mm	35,53	24,15	10,03
F. 1-2mm	5,25	7,91	2,25
F. 2-4mm	15,45	14,32	9,22
F > 4mm	24,72	41,13	58,37
Matières difficilement dégradables			
Matière plastiques et nylon	5,65	2,98	6,14
Métal et verre	2,36	0,97	2,66
Chiffons et restes de matelas	0,40	0,00	0,02
Restes de vêtements et cheveux	0,31	0,80	4,92
Piles	0,00	0,49	0,10
Autres matériaux	10,32	7,24	6,29
Total	100,00	100,00	100,00

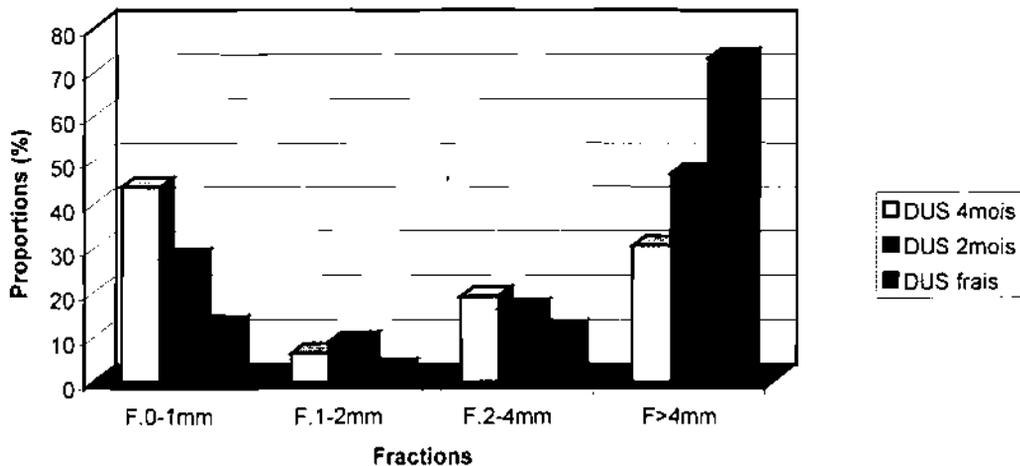


Figure 9 : Comparaison des fractions des trois types de déchets.

Tableau 9 : Taux de matière organique des différentes fractions donnés par la perte au feu.

Fractions	MO (%) DUS 4mois	MO (%) DUS 2mois	MO (%) DUS frais
F.0-1mm	9,8	10,2	13,5
F.1-2mm	13,9	17,7	30,7
F.2-4mm	16,3	21,7	40

4.2.1.4. Caractéristiques chimiques des DUS

Le tableau 10 synthétise la composition chimique des DUS. Les teneurs en éléments majeurs (C, N, P) des DUS évoluent dans le même sens que les résultats de la PAF, à savoir que les DUS de 4 mois < DUS 2 mois < DUS frais. Toutefois, pour la matière organique, ces taux restent inférieurs aux taux déterminés par la PAF.

Sur ces DUS, on note des taux de carbone et donc de matière organique importants, la plus faible teneur étant 9,9 % dans les DUS de 4 mois. Le temps de dépôt semble avoir eu un effet sur le taux de matière organique, les DUS frais étant les plus riches (21,2 %). En effet la teneur de matière organique diminue avec le temps.

Quant à l'azote, ses teneurs vont de 3,54 g/kg sur les DUS frais à 2,79 g/kg sur les DUS de 4 mois. Les taux ici évoluent dans l'ensemble dans le même sens que le carbone, mais avec une différence moins importante de teneurs entre les types de déchets.

Les rapports C/N des DUS sont représentés par la figure 11. On constate que les déchets frais ont le rapport le plus élevé qui est de 35. Le temps de dépôt a modifié ce rapport puisqu'il passe à 27 pour les déchets de 2 mois et mieux, à 21 pour les déchets de 4 mois. C'est dire qu'en déposant juste les déchets, le rapport C/N a été abaissé de plus de 40 % en 4 mois.

Concernant le phosphore, le tableau 11 montre que les déchets de 2 mois sont les plus riches (1963,42 mg/kg). De façon générale, contrairement aux deux éléments précédents, le taux de phosphore est très faiblement corrélé au temps de dépôt.

Les pH_{eau} et pH_{KCl} des DUS sont neutres selon le référentiel de l'INRA (1995) cité par Pansu et Gautheyrou (2003). On note par ailleurs que les pH_{eau} sont dans l'ensemble supérieurs aux pH_{KCl} . Toutefois, cette différence qui est moins qu'une $\frac{1}{2}$ unité n'est pas importante (0,28 ; 0,3 ; 0,48 respectivement pour les DUS de 4 mois, les DUS de 2 mois et les frais).

Tableau 10 : Composition chimique la fraction 0-2mm des trois types de déchets.

Type de DUS	Carbone g/kg	MO %	N g/kg	C/N	P. total mg/kg	pH_{eau}	pH_{KCl}
DUS 4 mois	57,2	9,9	2,8	21	1334,4	7,1	6,8
Dus 2 mois	90,4	15,6	3,4	27	1963,4	7,2	6,9
DUS frais	123,2	21,2	3,5	35	1659,5	7,5	7

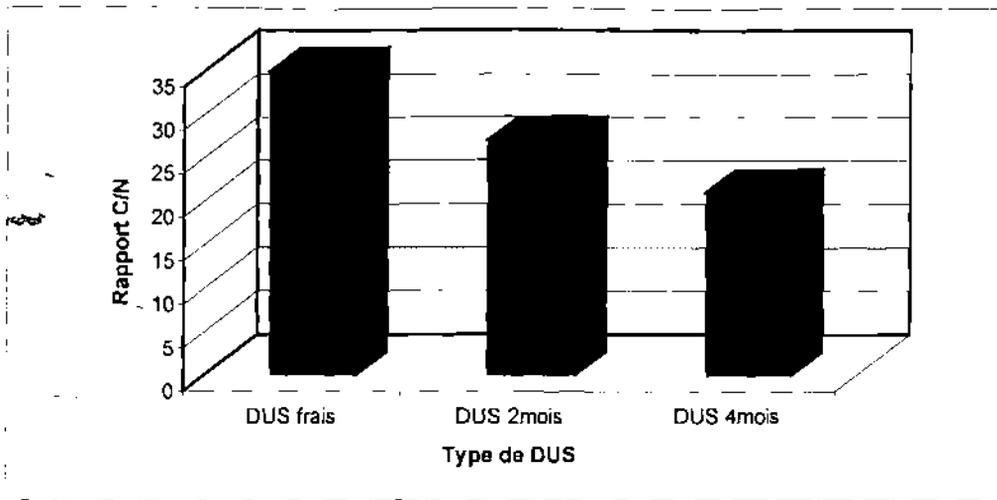


Figure 11 : Rapport C/N des trois types de déchets urbains solides.

4.2.2. Discussion

Les déchets de la ville de Ouagadougou que nous avons prélevés comportent d'importantes proportions de matières biodégradables. Cette composition déterminée par un tri manuel, reste imparfaite compte tenu de l'hétérogénéité des déchets urbains. Des résultats similaires avaient été obtenus par Bilgo (1992) et Traoré (2000). Ces fortes proportions de matières récupérables sont liées au niveau de vie, aux habitudes de consommation des populations. Ces matières sont faites essentiellement de débris végétaux, des cendres, de restes alimentaires, etc. En général, dans les pays en voie de développement, les déchets contiennent de fortes proportions de matières putrescibles (Waas, 1996). Dans la partie non biodégradable, les matières plastiques occupent la troisième place. En proportion, ces plastiques occupent entre 3 % et 6 % des DUS quand on considère les poids. Cela semble faible, mais en terme de volume, les déchets plastiques sont impressionnants dans les trois tas que nous avons échantillonnés. Compte tenu du mode d'épandage des déchets sur les sols par les paysans, on se retrouverait avec des sols entièrement couverts par des films plastiques. Selon Yoda (1997) cité par Lompo *et al.* (2002), les sachets plastiques gênent l'aération du sol et surchauffent les espaces cultivables en cas de manque de pluies. C'est dire tout le rôle néfaste que ces plastiques pourraient jouer dans l'agriculture.

Pour les quatre fractions des matières biodégradables, les fractions F.0-1mm et F>4mm sont les plus importantes en masse sur tous les trois types de déchets. La fraction F.0-1mm est un mélange de débris organiques fins et de terre fine et la fraction F>4mm est constituée d'objets organiques grossiers (morceaux de bois, résidus de culture, restes de fruits,

etc.). Toutefois, les fractions fines dans les déchets évolués (temps de dépôt important) sont plus importantes que celles des déchets frais. Cela est lié au fait que sur les déchets de quatre mois et deux mois, les matières ont évolué tandis que sur les déchets frais, elles sont encore intactes (grossières). Cela est confirmé par les résultats de la perte au feu et des analyses chimiques (taux de carbone, rapport C/N). En effet, les taux de matière organique obtenus sont plus importants sur les déchets frais, puis suivent les déchets de deux mois et les déchets frais. La matière organique des déchets frais est encore brute alors que celle dans les autres déchets, par les processus de minéralisation et d'humification, aurait évolué pour donner d'autres produits. C'est ce qui expliquerait que le rapport C/N décroisse de 35 sur les déchets frais à 21 sur les déchets de quatre mois. Or, quand le rapport C/N atteint 25, il y a équilibre entre la libération d'azote par la minéralisation et la consommation par les microorganismes transformateurs de l'azote libéré (réorganisation) (Bonneau, 1995 cité par Baize, 2000). Selon le même auteur, quand le rapport C/N devient inférieur à 25, la libération d'ammonium et de nitrates l'emporte sur la réorganisation et l'alimentation des plantes devient possible. Dans ces conditions, les déchets de quatre mois devraient assurer une meilleure croissance des plantes.

Mais de façon générale, les teneurs en carbone, azote et phosphore trouvées sur ces déchets sont faibles et rejoignent les résultats de Bilgo (1992) sur les déchets urbains.

En somme, il faut noter que même si les déchets ont de teneurs en éléments chimiques relativement faibles, ils pourraient servir d'amendement organique et apporter quelques éléments nutritifs aux plantes sur les terres périurbaines relativement dégradées. On pourrait alors s'attendre à une modification importante des caractéristiques chimiques et biologiques des sols recevant ces déchets.

4.3. EFFETS DES DUS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS

4.3.1. Résultats

4.3.1.1. Effet sur le stock de carbone total et de matière organique (MO)

Le tableau 11 présente les teneurs en carbone total des parcelles amendées et des témoins sur les trois sites. Les teneurs de carbone des sols amendés sur tous les sites sont supérieures à celles des sols non amendés ($p < 0,001$). Elles vont de 5,2 à 9,2 mg/g de sol pour les champs amendés contre 4,3 à 5,9 mg/g de sol pour les témoins. L'analyse statistique montre que l'amendement des déchets sur les sols est responsable de cet accroissement ($p < 0,001$) ; on observe également un effet site sur ces teneurs en carbone ($p < 0,009$). Mais, on note qu'il n'y a pas d'interaction site-amendement. Toutefois, parmi les sols amendés, le site 2 est le plus riche en carbone (9,2 mg/g de sol) tandis que les moins riches sont les sols amendés du site 3 (5,2 mg/g de sol). Cette même hiérarchie est observée sur les témoins des trois sites.

Cela est illustré par la figure 12 qui montre un accroissement du taux de carbone de 91,1 % sur le site 1, 56,3 % sur le site 2 et 24,7 % sur le site 3 suite à l'apport des déchets urbains solides. En moyenne, on a une augmentation de 57,4 % du carbone total du sol.

La comparaison des taux de matière des sols aux normes montre que ces taux vont de bas pour les sols non amendés et les sols amendés du site 3 (teneurs comprises entre 0,5 et 1 %) à moyen pour les sols amendés des sites 1 et 2 et les sols témoins du site 2 (teneurs comprises entre 1 % et 2 %).

Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols (horizon 0-10 cm) des trois sites.

Site	Amendement	Carbone (mg.g ⁻¹)		Azote total (mg.g ⁻¹)		C/N		Phosphore (µg.g ⁻¹)		pH eau		pH KCl	
		moy.	se	moy.	se	moy.	se	moy.	se	moy.	se	moy.	se
Site1.	A	8.10	±0.67	0.55	±0.05	14.9	±0.6	293	±64	7.31	±0.26	6.71	±0.28
	NA	4.42	±0.40	0.26	±0.02	17.2	±1.3	134	±14	6.59	±0.21	5.70	±0.26
Site2	A	9.22	±1.38	0.49	±0.06	19.0	±2.0	248	±36	7.51	±0.02	6.99	±0.05
	NA	5.92	±0.60	0.30	±0.05	21.8	±4.3	197	±22	6.59	±0.32	5.82	±0.34
Site3	A	5.20	±0.73	0.37	±0.05	14.2	±1.0	183	±33	6.90	±0.25	6.19	±0.25
	NA	4.25	±0.29	0.29	±0.03	14.7	±0.5	204	±30	6.10	±0.09	5.04	±0.12
Moyenne (3sites)	A	7.67	±0.71	0.48	±0.04	16.1	±1.0	245	±29	7.27	±0.13	6.66	±0.15
	NA	4.91	±0.33	0.28	±0.02	18.1	±1.7	177	±15	6.45	±0.14	5.55	±0.17

ANOVA

Effet Site	0.009	0.286	0.042	0.758	0.064	0.017
test Newman-keuls	S3=S1≤S2		S3=S1≤S2			S3<S1=S2
Effet Amendement	0.001	<0.001	0.317	0.060	<0.001	<0.001
	A>NA	A>NA			A>NA	A>NA
Effet Interaction	0.234	0.11	0.868	0.089	0.902	0.936

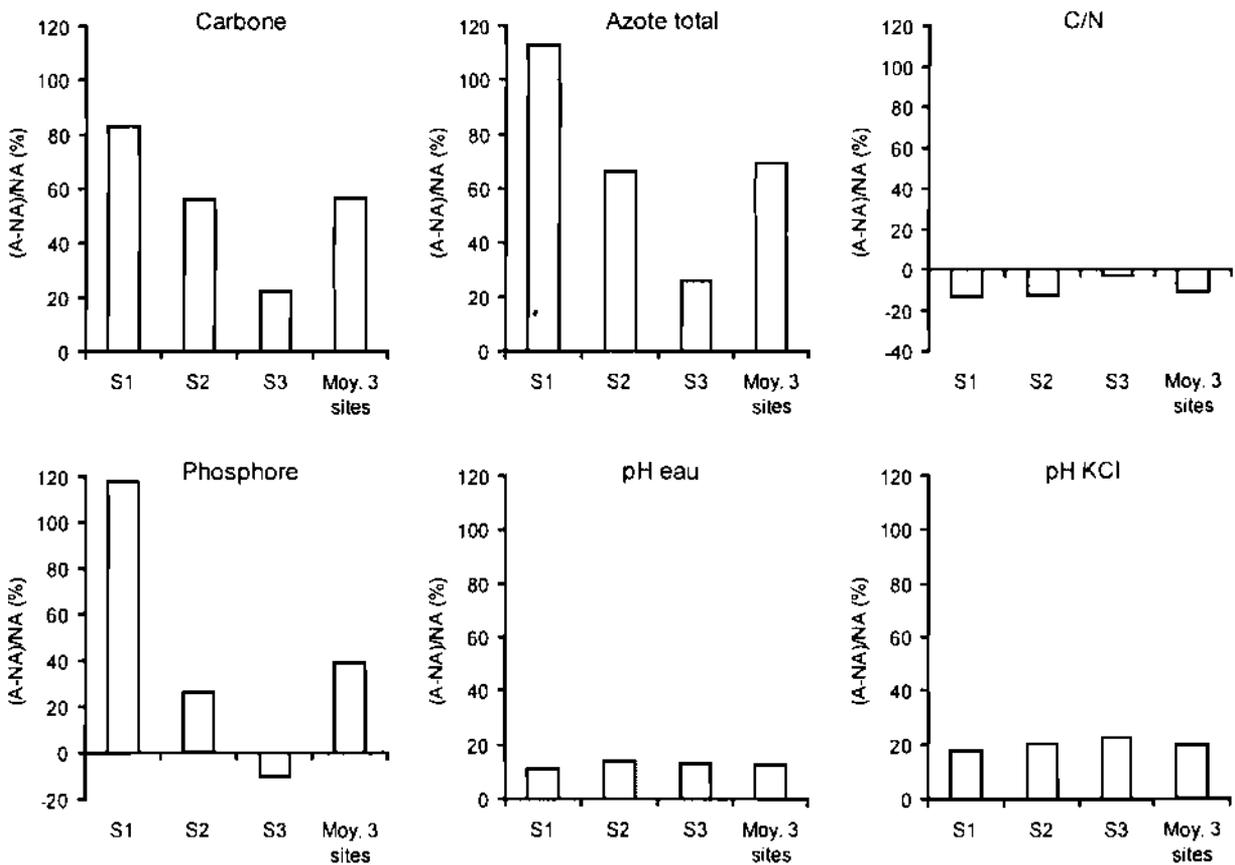


Figure 12 : Variation (%) des caractéristiques chimiques entre parcelles amendées et non amendées.

3.3.1.2. Effet sur l'azote total du sol

Le niveau de l'azote total du sol suit la même évolution que le niveau du carbone total (tableau 11). Les parcelles amendées avec les DUS ont leurs teneurs en azote supérieures à celles des parcelles non amendées. Les teneurs des sols témoins sont 0,26 mg/g, 0,30 mg/g et 0,29 mg/g respectivement sur les sites 1, 2 et 3. Ces teneurs passent à 0,55 mg/g, 0,49 mg/g et 0,37 mg/g sur les sols amendés des sites 1, 2, 3 respectivement. Les résultats statistiques montrent une différence significative entre ces teneurs. L'amendement des DUS a permis d'améliorer le niveau d'azote ($p < 0,001$). Il n'y a aucun effet du site sur ces teneurs en azote.

On retient que par rapport au témoin, l'apport des déchets a entraîné un accroissement des taux d'azote total de 73,1 % en moyenne avec des variations allant de 116,1 % d'augmentation sur le site 1 à 28,4 % sur le site 3 en passant par 74,8 % sur le site 2 (figure 12).

Toutefois les taux d'azote restent bas quel que soit le traitement et sur tous les sites parce qu'ils sont compris entre 0,02 % et 0,06 %.

4.3.1.3. Rapport C/N

En général, ces rapports sont plus élevés sur les sols témoins comparativement aux sols amendés et ce, sur l'ensemble des trois sites (tableau 11). Mais de façon générale, ces rapports sont tous élevés pour des sols cultivés car ils sont compris entre 14,2 et 21,8. Cependant, on remarquera qu'il n'existe aucune différence significative entre ces rapports ($p = 0,317$).

4.3.1.4. Effet sur la teneur en phosphore total

Le phosphore total suit la même évolution que les deux autres éléments précédents (C et N), c'est-à-dire un accroissement sur les champs amendés avec DUS par rapport aux champs témoins sauf sur le site 3 (tableau 11). Cet accroissement n'est pas significatif au seuil de 5 %. La figure 12 montre que sur les deux premiers sites, on a une augmentation des teneurs en phosphore de 111 % et 27,62 % respectivement sur les sites 1 et 2. L'apport de déchets sur le site 3 n'a pas amélioré le taux de phosphore total. En somme, l'effet de l'apport des DUS est plus marqué sur le site 1, puis suivent les sites 2 et 3. Sur le site 1, on remarque une grande variabilité des teneurs en phosphore des sols amendés. L'effet moyen sur les trois sites est un accroissement de 43,65 % du phosphore du sol avec l'amendement en déchets. Ces teneurs sont moyennes sur les sols amendés des sites 1, 2 et sur les sols témoins du site 3. Elles sont basses sur les autres sols.

4.3.1.5. Effet sur les pH_{eau} et pH_{KCl}

Selon les normes de l'INRA (1995) citées par Pansu et Gautheyrou (2003), les sols vont de acides pour les sols non amendés à neutres pour les sols amendés. De façon générale, les résultats (tableau 11) montrent que les pH_{eau} des parcelles amendées avec les déchets sont supérieurs aux pH_{eau} des témoins sur tous les sites. Ces pH pour les sols amendés vont de 6,90 à 7,51 et de 6,10 à 6,59 pour les sols témoins. L'analyse statistique montre une différence significative entre ces valeurs (valeurs sols amendés et valeurs sols témoins) ($p < 0,001$).

Cette observation est également valable pour le pH_{KCl} . En effet, l'amendement crée une différence significative entre les pH_{KCl} des sols ($p < 0,001$). On note une influence moins importante du site sur ce pH ($p < 0,017$). Par ailleurs, la différence entre pH_{eau} et pH_{KCl} est assez faible sur les champs amendés (comprise entre 0,4 et 0,8) tandis que sur les champs témoins, cette différence va de 0,6 à plus d'une unité.

Les déchets ont donc permis comme le montre la figure 12, de rehausser le pH_{eau} des sols de 13,1 % en moyenne (11,4 %, 15 % et 13,1 % respectivement sur les sites 1, 2 et 3). Quant au pH_{KCl} , le relèvement atteint 21,1 % en moyenne, soit 18,7 % sur le site 1, 21,9 % sur le site 2 et 22,7 % sur le site 3.

4.3.2. Discussion

Les résultats révèlent que les sols du site 2 sont les plus riches en matière organique quand bien même ils ne sont pas les plus amendés, comparativement aux sols du site 1. Cela pourrait s'expliquer par la texture argileuse des sols sur ce site. En effet, selon Feller *et al.* (1991), le taux de matière organique du sol est fortement corrélé à sa teneur en éléments fins qui influencent l'accumulation du carbone.

Sur les trois sites étudiés, les taux de matière organique des sols amendés ont augmenté de 91 %, 56 % et 24 % par rapport aux témoins respectivement sur les sites 1, 2, 3. Ces augmentations sont attribuables aux déchets urbains qui contribuent à relever le niveau organique des sols. En effet, comme il a été mentionné plus haut, les déchets ont des teneurs relativement importantes en matière organique et par conséquent amélioreraient le niveau organique du sol. Ces accroissements des teneurs en matière organique sont importants quand on sait que la pauvreté des sols en matière organique est une des limites à l'amélioration de la productivité de nos sols. Dans le contexte de manque de la matière organique, les DUS pourraient constituer une alternative pour l'amélioration du statut organique des sols. Toutefois, ces accroissements de la matière organique restent nettement inférieurs aux

accroissements de l'ordre de 700 % obtenus sur des sols de décharges au sud-est du Nigéria par Anikwé et Nwobodo (2002).

Quant à l'azote, les déchets ont permis le relèvement de l'azote minéral total du sol car les teneurs sur les sols amendés sont nettement supérieures à celles des sols non amendés. On obtient des augmentations atteignant 116 %, 75 %, et 28 % respectivement sur les sites 1, 2 et 3. L'augmentation du carbone des sols amendés permettrait d'expliquer cet accroissement du taux d'azote. D'ailleurs selon Piéri (1989), la matière organique est le lieu de stockage d'azote et la seule réserve d'azote dans le sol. C'est dire que cette augmentation de l'azote total s'expliquerait par l'amélioration du statut organique du sol et également par un apport direct d'azote par les déchets.

Le phosphore dans les sols tropicaux se trouve essentiellement sous forme organique (Morel, 1989 cité par Ouédraogo, 2003). L'apport de matière organique par les déchets pourrait avoir une action favorable sur l'augmentation du phosphore du sol.

Sur tous les sites et dans tous les traitements, il y a eu une augmentation de pH de l'ordre de 13 % (pH_{eau}) et de 21 % (pH_{KCl}). Cette augmentation serait attribuable aux Ca^{2+} et Mg^{2+} apportés par les DUS, et permettant de relever le pH du sol. Aussi, les différences entre pH_{eau} et pH_{KCl} des sols amendés sont inférieures à celles des sols non amendés. Selon Sédogo (1977), cette différence permet de voir le degré de saturation du sol ; plus elle est élevée, plus le sol a une forte acidité potentielle, plus ce sol sera sensible à l'acidification.

En définitive, les déchets ont contribué à améliorer certaines propriétés chimiques des sols, toute chose qui pourrait influencer l'ensemble des activités biologiques de ces sols.

4.4. EFFETS DES DUS SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DES SOLS

Pour l'appréciation de ces effets, trois paramètres ont été utilisés :

- ✓ La minéralisation du carbone organique par les microorganismes du sol en condition contrôlée ;
- ✓ La minéralisation de l'azote organique du sol en NH_4^+ et NO_3^- sous l'action de divers processus microbiologiques ;
- ✓ La diversité catabolique qui permet d'apprécier la diversité des communautés microbiennes du sol.

4.4.1. Résultats

4.4.1.1. Effet sur le dégagement de CO₂ des sols incubés

4.4.1.1.1. Evolution des flux journaliers de CO₂

L'évolution de la minéralisation journalière du carbone des sols des champs est représentée sur les figures 13.a et 13.c. Ces figures révèlent que sur tous les sites et quel que soit le traitement (amendé ou non), les courbes d'évolution de la minéralisation journalière présentent trois phases :

- une phase de croissance rapide des flux correspondant à un dégagement de CO₂ de plus en plus important les deux ou trois premiers jours d'incubation. Cette phase est matérialisée par un pic ;
- une phase de décroissance marquée dès le troisième jour (abrupte parfois), indiquant un ralentissement de la minéralisation. Elle n'est toutefois pas régulière ;
- une phase de flux très faible et tendant vers la valeur zéro avec cependant un léger pic sur presque toutes les parcelles entre le 10^{ème} et le 12^{ème} jour d'incubation. Il s'en suit une tendance à la stabilisation des flux.

Sur tous les sites, le pic de la parcelle amendée est toujours au-dessus de celui du témoin indiquant un dégagement de CO₂ plus important les trois premiers jours sur les sols amendés. Ce pic est noté au 2^{ème} jour d'incubation sur tous les échantillons. En effet, l'analyse statistique (tableau 12) montre une différence significative entre les traitements seulement les deux premiers jours d'incubation ($p < 0,018$ pour le 1^{er} jour et $p < 0,001$ au 2^{ème}). Durant les autres jours de l'incubation, l'amendement n'induit aucune différence dans le dégagement de CO₂ du sol. Toutefois, on note un effet du site sur le dégagement de CO₂ jusqu'au 10^{ème} jour d'incubation. Par la suite, les courbes ont tendance à se confondre, indiquant que les minéralisations deviennent similaires en fin d'incubation.

Les courbes (figure 13.a) indiquent que les pics des sols amendés des sites 2 et 3 ont à peu près la même amplitude, laquelle est nettement supérieure à celle des sols amendés du site 1. Les amplitudes des pics des sols témoins suivent à peu près le même ordre que celles des pics des sols amendés c'est-à-dire site 2 > site 3 > site 1.

4.4.1.1.2. Evolution des quantités cumulées du CO₂ dégagé

Elle est représentée sur les figures 13.b et 13.d et montre un effet de l'amendement des déchets sur les sols par rapport aux témoins. En effet, quel que soit le site, le cumul du CO₂

dégagé sur le sol amendé est supérieur au cumul de CO₂ sur les témoins. L'analyse statistique (tableau 13) montre une forte influence de l'amendement sur le cumul de CO₂ dégagé pendant les 10 premiers jours d'incubation. Cette influence est plus marquée le deuxième jour ($p < 0,001$).

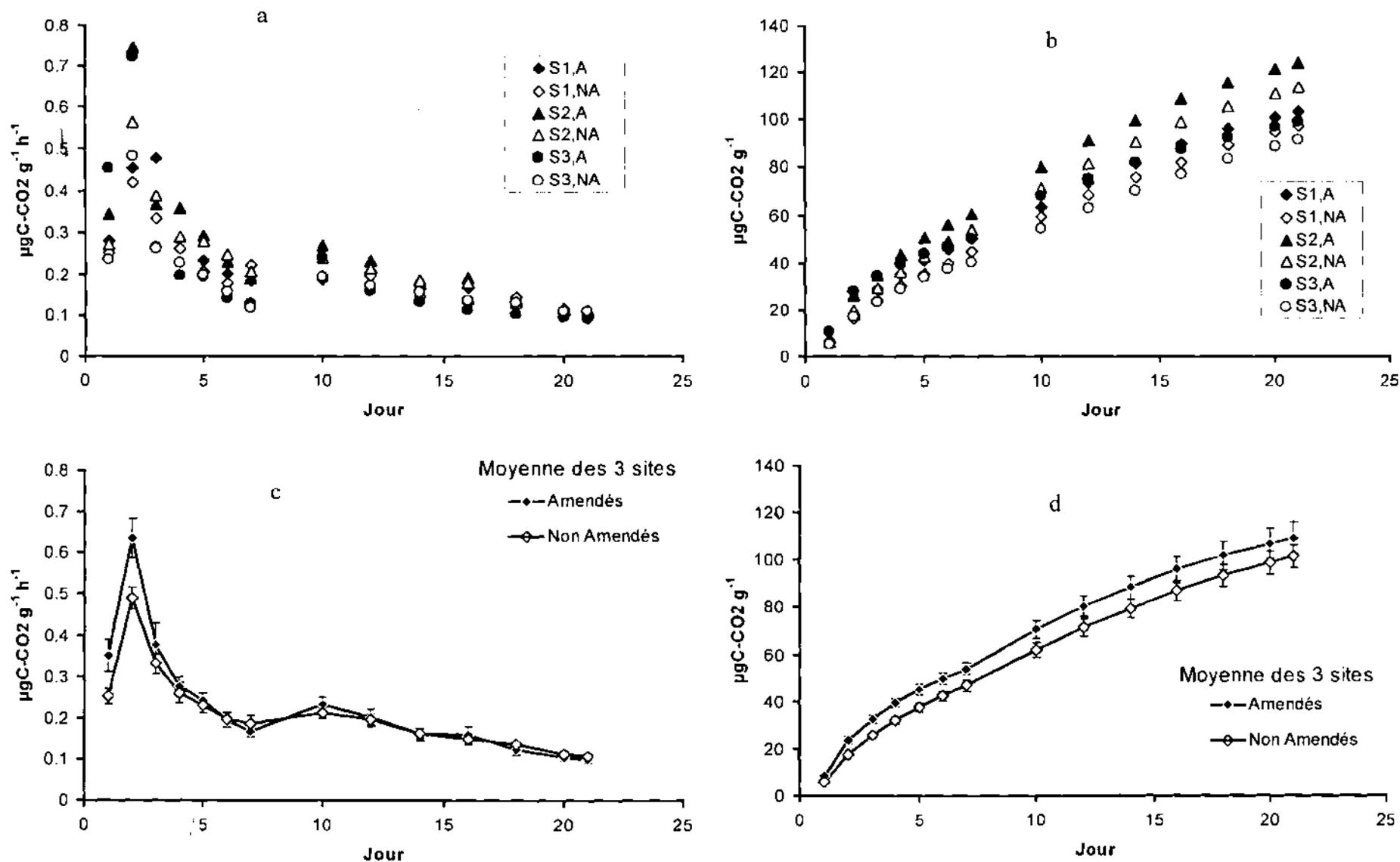


Figure 13: Evolution de la minéralisation journalière (a, c) et des quantités cumulées de CO₂ (b, d) sur les différents traitements des trios sites.

Tableau 12 : Quantités de CO₂ dégagées par jour avec les calculs statistiques : flux CO₂ en µgC-CO₂.g⁻¹.h⁻¹.

Site	Amendement	jour													
		1	2	3	4	5	6	7	10	12	14	16	18	20	21
Site1	A	0.28±0.05	0.45±0.04	0.48±0.14	0.26±0.02	0.23±0.03	0.2±0.03	0.18±0.02	0.19±0.02	0.21±0.05	0.17±0.03	0.17±0.05	0.13±0.03	0.1±0.02	0.09±0.01
	NA	0.25±0.04	0.42±0.04	0.33±0.04	0.26±0.01	0.21±0.02	0.18±0.01	0.22±0.03	0.2±0.03	0.2±0.02	0.15±0.02	0.13±0.02	0.14±0.01	0.12±0.02	0.11±0.01
Site2	A	0.34±0.03	0.75±0.06	0.37±0.02	0.36±0.04	0.29±0.03	0.23±0.02	0.19±0.01	0.27±0.04	0.23±0.03	0.18±0.02	0.19±0.02	0.14±0.01	0.12±0.01	0.11±0.01
	NA	0.27±0.04	0.56±0.04	0.39±0.02	0.29±0.05	0.28±0.02	0.25±0.03	0.21±0.02	0.24±0.02	0.22±0.02	0.19±0.02	0.18±0.02	0.13±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01
Site3	A	0.45±0.1	0.72±0.07	0.26±0.04	0.2±0.03	0.19±0.04	0.14±0.02	0.13±0.03	0.24±0.02	0.16±0.02	0.13±0.02	0.11±0.02	0.1±0.02	0.09±0.02	0.09±0.02
	NA	0.23±0.02	0.48±0.01	0.26±0.05	0.23±0.06	0.2±0.05	0.16±0.04	0.12±0.02	0.2±0.02	0.17±0.03	0.16±0.02	0.14±0.02	0.13±0.02	0.11±0.02	0.11±0.02
Moyenne 3 sites	A	0.35±0.04	0.63±0.05	0.38±0.05	0.28±0.02	0.24±0.02	0.19±0.02	0.17±0.01	0.23±0.02	0.2±0.02	0.16±0.01	0.16±0.02	0.12±0.01	0.11±0.01	0.1±0.01
	NA	0.25±0.02	0.49±0.03	0.33±0.02	0.26±0.02	0.23±0.02	0.2±0.02	0.19±0.02	0.21±0.01	0.2±0.01	0.16±0.01	0.15±0.01	0.14±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01
ANOVA (probabilité « Ho :Egalité des moyennes »)															
Effet Site		0.327	<0.001	0.118	0.027	0.015	0.01	0.008	0.06	0.189	0.314	0.132	0.592	0.646	0.614
Effet Amendement		0.018	0.001	0.456	0.717	0.664	0.877	0.418	0.318	0.856	0.874	0.749	0.361	0.489	0.412
Effet Interaction		0.181	0.11	0.419	0.422	0.853	0.661	0.648	0.55	0.869	0.605	0.602	0.684	0.714	0.602

Tableau 13 : Quantités cumulées de CO₂ dégagé avec les calculs statistiques en µgC-CO₂.g⁻¹ de sol.

Site	Amendement	jour													
		1	2	3	4	5	6	7	10	12	14	16	18	20	21
Site1	A	6.7±1.3	17.6±1	29±4.1	35.3±4	40.9±4.4	45.7±5	50.1±5.2	63.6±6.4	73.5±8.5	81.7±9.9	89.8±12	95.9±13.5	100.9±14.2	103.1±14.5
	NA	6±0.9	16.1±1.5	24.1±1.8	30.4±1.8	35.4±1.7	39.6±1.7	45±2	59.1±3.5	68.6±4.3	75.7±4.9	82.1±5.8	89.1±6.3	94.7±6.8	97.2±7.1
Site2	A	8.2±0.6	26.1±1.6	35±1.8	43.6±2.2	50.6±2.7	56.1±3.2	60.6±3.3	80.1±5.3	91.3±6.6	99.7±7.2	108.9±8.2	115.4±8.4	121.2±8.6	123.9±8.7
	NA	6.5±0.9	20.1±1.2	29.4±1.7	36.3±2.5	43.1±3	49.1±3.5	54±3.9	71.3±4.9	81.7±5.3	90.6±5.9	99.2±6.5	105.6±6.7	111.1±6.7	113.7±6.7
Site3	A	10.9±2.5	28.2±2.5	34.6±2.5	39.3±2.2	43.9±1.9	47.3±1.9	50.4±2.2	67.7±2	75.4±2.5	81.9±3	87.3±3.7	92.2±4.5	96.8±5.2	99±5.6
	NA	5.6±0.4	17.2±0.7	23.5±0.9	29±2.4	33.8±3.5	37.6±4.4	40.5±4.9	54.5±5.5	62.8±6.8	70.4±7.6	77±8.5	83.3±9.2	88.7±10.2	91.4±10.6
Moyenne 3 sites	A	8.4±0.9	23.7±1.5	32.7±1.8	39.4±1.9	45.2±2.1	49.9±2.4	54±2.5	70.7±3.4	80.4±4.3	88.2±4.8	95.9±5.6	101.9±6.1	107±6.4	109.4±6.5
	NA	6.1±0.4	17.8±0.8	25.8±1.1	32.1±1.5	37.7±1.8	42.4±2.2	46.9±2.5	62.2±3.1	71.6±3.6	79.5±4	86.8±4.5	93.3±4.7	98.8±4.9	101.4±5
ANOVA (probabilité « Ho :Egalité des moyennes »)															
Effet Site		0.327	<0.001	0.08	0.029	0.014	0.011	0.011	0.009	0.017	0.023	0.028	0.041	0.048	0.051
Effet Amendement		0.018	<0.001	0.002	0.003	0.006	0.015	0.03	0.042	0.087	0.135	0.18	0.251	0.299	0.322
Effet Interaction		0.018	0.017	0.428	0.325	0.767	0.875	0.826	0.691	0.824	0.926	0.985	0.984	0.977	0.972

4.4.1.1.3. Evolution des coefficients de minéralisation du carbone

Le carbone minéralisé varie de la façon suivante sur tous les sites : amendé > non amendé. Toutefois, ces quantités ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (tableau 9).

Quant aux coefficients de minéralisation (figure 14), ils varient généralement entre 19,2 et 2,20 mg C-CO₂/g de C sur les sols non amendés tandis que sur les sols amendés, ils vont de 1,27 à 1,90 mg/g de C sur les sols amendés. Ainsi, on constate que les coefficients de minéralisation des sols témoins sont tous supérieurs à ceux des sols amendés. La seule différence significative entre la parcelle amendée et son témoin se trouve au niveau du site 1, les autres sites ne montrant pas de différence significative. Mais en moyenne, les coefficients de minéralisation des témoins sont significativement différents de ceux des sols amendés ($p = 0,024$).

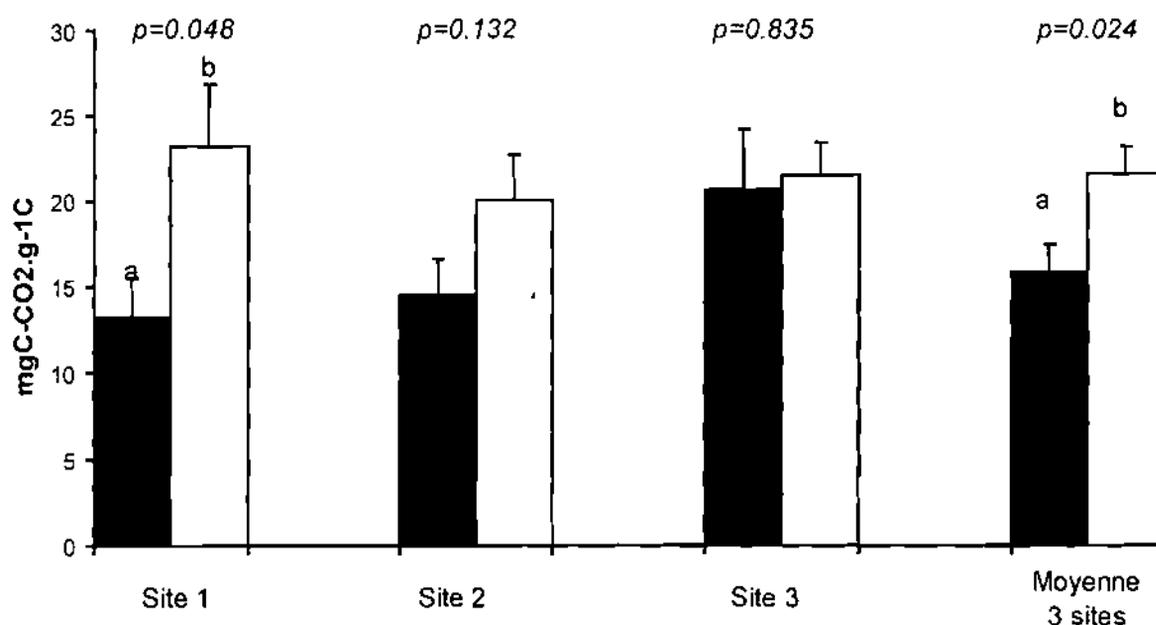


Figure 14 : Coefficients de carbone minéralisé (CO₂) au bout de 21 j d'incubation sur des sols amendés (noir) et non amendés (blanc)

4.4.1.2. Effet de l'apport des DUS sur la minéralisation de l'azote

Des résultats du dosage de l'azote minéral, les remarques suivantes peuvent être faites en ce qui concerne l'évolution des formes d'azote minéral (NH₄⁺ et NO₃⁻) au cours de l'incubation :

✓ les teneurs en nitrates (NO_3^-) augmentent au fur et à mesure que diminuent les teneurs de l'ion ammonium (NH_4^+), quel que soit le traitement sur tous les deux sites (figure 15) ;

✓ sur le site 1, les teneurs de NH_4^+ sont maximales le 3^{ème} jour et le 7^{ème} jour d'incubation, puis elles diminuent le 14^{ème} jour et le 21^{ème} jour. Alors que sur le site 2, la chute de NH_4^+ est brutale en début d'incubation (figure 15) ;

✓ les teneurs en NO_3^- des parcelles amendées sont toujours supérieures à celles des parcelles non amendées sur les deux sites. On note que les différences entre sols amendés et sols témoins sont significatives au seuil de 5 % (tableau 14) ;

✓ la teneur en NH_4^+ de l'amendé du site 1 est supérieure à celle du témoin. Mais, c'est seulement au 7^{ème} jour d'incubation que cette différence entre teneurs en NH_4^+ est significative au seuil de 5 % (tableau 14). C'est le contraire sur le site 2 car les teneurs des sols témoins sont significativement plus importantes que celles des sols amendés en début d'incubation. Mais par la suite, ces teneurs deviennent comparables ;

✓ les courbes d'azote minéral total donne la hiérarchie suivante sur les deux sites : N minéral total sol amendé > N minéral total sol témoin (tableau 14). La différence sur le site 1 est significative au seuil de 5 % durant toute l'incubation. Sur le site 2, elle n'est significative qu'à partir du troisième jour d'incubation.

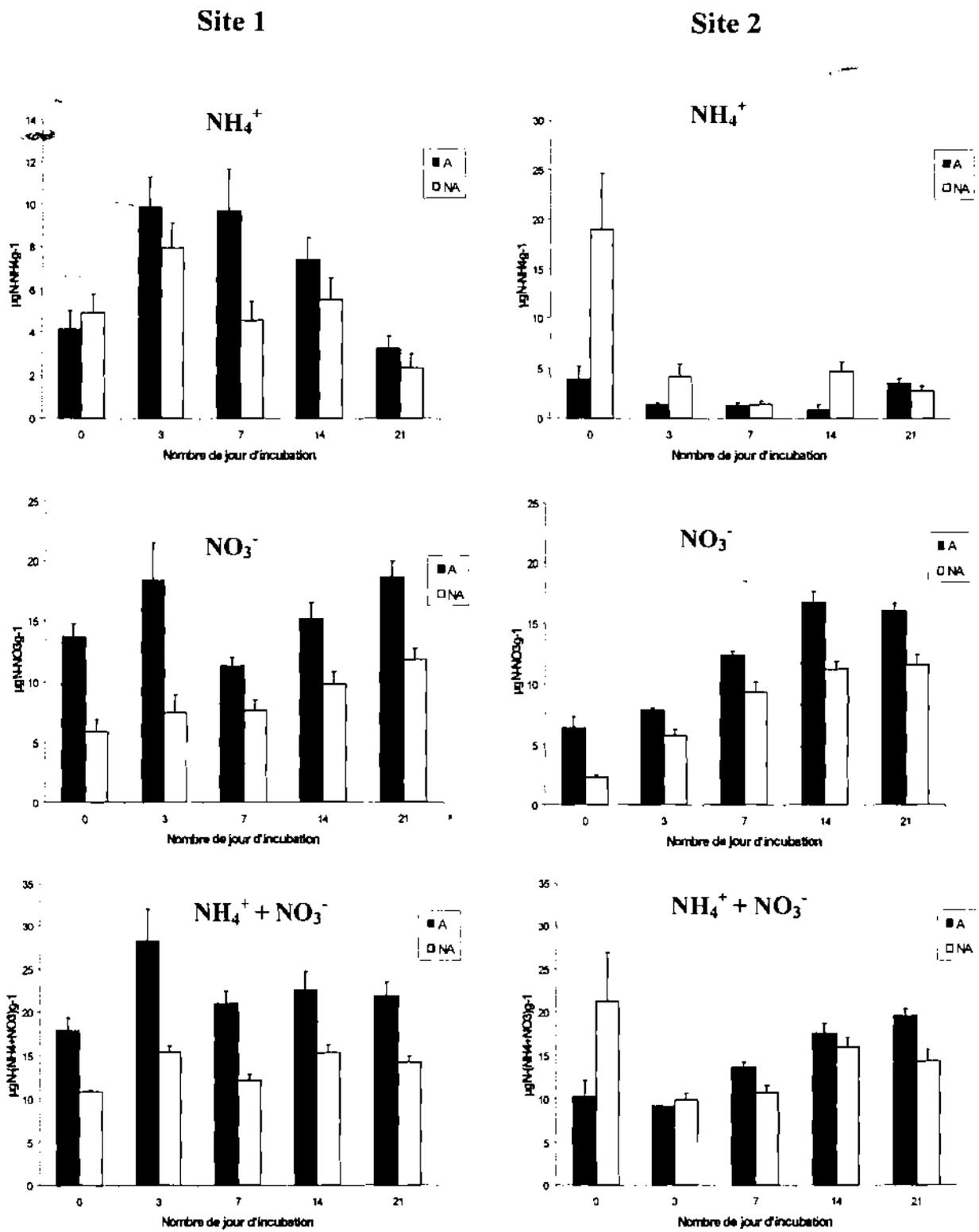


Figure 15 : Azote minéral au cours de l'incubation des sols des sites 1 et 2. A : amendé ; NA : non amendé.

Tableau 14 : Azote minéral durant l'incubation d'échantillons A et NA.

^a Probabilité d'accepter l'hypothèse nulle.

Variable	Site	Traitement	Tests		Nombre de jours d'incubation									
			Statistiques ^a		0		3		7		14		21	
			moy.	se	moy.	se	moy.	se	moy.	se	moy.	se	moy.	se
NH4	Site 1 A		4.14	0.86	9.87	1.41	9.71	1.95	7.38	1.03	3.23	0.57		
		$H_0: X_t = X_{t-1}$			0.002	0.925	0.197	0.022						
		NA	4.92	0.86	7.96	1.17	4.54	0.86	5.5	1.02	2.33	0.64		
					0.024	0.011	0.466	0.018						
				0.529	0.305	0.022	0.205	0.306						
	Site 2 A		3.86	1.28	1.3	0.18	1.24	0.28	0.82	0.56	3.48	0.52		
		$H_0: X_t = X_{t-1}$			0.013	0.957	0.663	0.011						
		NA	18.9	5.61	4.14	1.26	1.38	0.37	4.65	1	2.73	0.52		
					0.001	0.463	0.387	0.611						
				0.03	0.05	0.783	0.008	0.331						
	NO3	Site 1 A		13.7	1.05	18.3	3.09	11.3	0.72	15.2	1.31	18.6	1.33	
			$H_0: X_t = X_{t-1}$			0.06	0.005	0.109	0.165					
NA			5.9	0.25	7.45	0.69	7.64	0.66	9.82	0.92	11.8	0.78		
					0.122	0.841	0.03	0.047						
				<0.001	0.002	0.001	0.002	<0.001						
Site 2 A			6.41	0.9	7.82	0.22	12.4	0.33	16.7	0.94	16	0.59		
		$H_0: X_t = X_{t-1}$			0.147	<0.001	<0.001	0.487						
		NA	2.31	0.18	5.72	0.5	9.33	0.84	11.3	0.63	11.6	0.83		
					0.001	0.001	0.042	0.743						
				0.001	0.003	0.007	0.001	0.001						
NH4+NO3		Site 1 A		17.9	1.46	28.2	3.73	21	1.47	22.6	2.03	21.9	1.6	
			$H_0: X_t = X_{t-1}$			0.002	0.025	0.61	0.811					
	NA		10.8	0.96	15.4	1.49	12.2	0.92	15.3	1.03	14.1	0.9		
					0.004	0.039	0.044	0.441						
				<0.001	0.003	<0.001	0.003	<0.001						
	Site 2 A		10.3	1.82	9.11	0.04	13.6	0.55	17.5	1.13	19.5	0.8		
		$H_0: X_t = X_{t-1}$			0.441	0.006	0.014	0.189						
		NA	21.3	5.62	9.87	0.82	10.7	0.86	15.9	1.14	14.3	1.35		
					0.006	0.827	0.182	0.675						
				0.093	0.38	0.018	0.345	0.008						

Il ressort du tableau 14 que les quantités d'azote minéral après trois semaines d'incubation sont de 21,9 $\mu\text{g/g}$ de sol pour le sol amendé du site 1 contre 14,1 $\mu\text{g/g}$ de sol pour le témoin. Sur le site 2, ces quantités vont de 19,5 $\mu\text{g/g}$ à 14,3 $\mu\text{g/g}$ de sol respectivement pour les sols amendés et les sols témoins. Ces quantités d'azote minéralisé sont significativement différentes au seuil de 5 % (tableau 15).

Quant aux coefficients de minéralisation ($N_{\text{minéralisé}}/N_{\text{total}}$), ils sont respectivement de 39,8 mg/g de N pour les sols amendés du site 1 et 54,2 mg/g de N pour les sols témoins. Pour le site 2, ils vont de 39,8 mg/g de N au niveau des sols amendés à 47,7 mg/g de N sur les témoins. Au niveau des deux sites, les coefficients de minéralisation des sols non amendés sont significativement supérieurs à ceux des sols amendés.

Tableau 15 : Comparaison de l'azote minéralisé au bout de 21 jours d'incubation et des coefficients de minéralisation des parcelles amendées et non amendées des sites 1 et 2.

Site	Traitement	Azote total Nt mg/g de sol	Azote minéralisé Nm $\mu\text{g/g}$ de sol	Coefficient de minéralisation Cm (mg/g de N du sol) Nm/Nt
1	A1	0,55	21,9 ^a	39,82 ^a
	NA1	0,26	14,1 ^b	54,23 ^b
2	A2	0,49	19,5 ^a	39,80 ^a
	NA2	0,30	14,3 ^b	47,66 ^b

Pour chaque site, les valeurs dans la même colonne portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Newman-Keuls.

4.4.1.3. Effet de l'amendement sur la diversité catabolique fonctionnelle

4.4.1.3.1. Respiration induite par les substrats

La figure 16 montre que les acides carboxyliques induisent les plus forts dégagements de CO_2 . L'acide ketoglutarique est le substrat organique qui induit la respiration la plus importante, tout traitement confondu. On note que la respiration la plus faible est observée sur le tri-sodium citrate.

L'analyse en composante principale (ACP) (figure 17.a et 17.b) montre que tous les acides carboxyliques sont fortement corrélés à l'axe 1 (40,8 % de la variabilité expliquée) tandis que les autres substrats sont corrélés à l'axe 2 (22,8 % de la variabilité expliquée), avec une plus forte corrélation des carbohydrates. En observant le plan des individus, on constate que les sols amendés, produisant les plus forts dégagements de CO_2 suite à l'ajout de substrats

acides sont situés du même côté que les acides carboxyliques (à gauche). Alors que les sols non amendés sont placés du côté opposé aux acides (à droite). Ceci montre que les acides carboxyliques sont préférentiellement métabolisés dans les sols amendés avec les déchets solides.

Les sols des sites 1 et 2 ont le même comportement pendant l'ajout des substrats et sont différents des sols du site 3 (figure 17.d). Les sols amendés du site 3 respirent fortement en présence d'hydrates de carbone (glucose, saccharose, mannose), d'acides aminés (cystéine, tyrosine, arginine), de polymère (cyclohexane).

4.4.1.3.2. Effet des DUS sur la richesse catabolique

Le tableau 16 montre les richesses cataboliques et les indices de Shannon et de Simpson-Yule (indice d'équitabilité) des différents traitements.

De façon générale, sur les sites 1 et 2, les richesses (nombre de substrats ayant induit une respiration significative) des sols amendés sont légèrement supérieures à celles des témoins. C'est l'inverse sur le site 3. Mais l'analyse de variance ne révèle aucune différence significative entre les traitements, induite par le facteur « amendement ».

Pour les indices de Shannon (tableau 16), les valeurs sont comprises entre 3,835 et 4,579 et ne sont pas significativement différentes quand on considère l'amendement. Mais, il existe un effet site au niveau de ces indices ($p < 0,004$).

Au niveau des indices d'équitabilité (tableau 16), les sols non amendés sont tous légèrement supérieurs aux sols amendés sans qu'il n'apparaisse de différence significative.

En moyenne, les indices de Shannon et de Simpson-Yule des sols témoins sont un peu au-dessus de ceux des sols amendés mais restent statistiquement identiques.

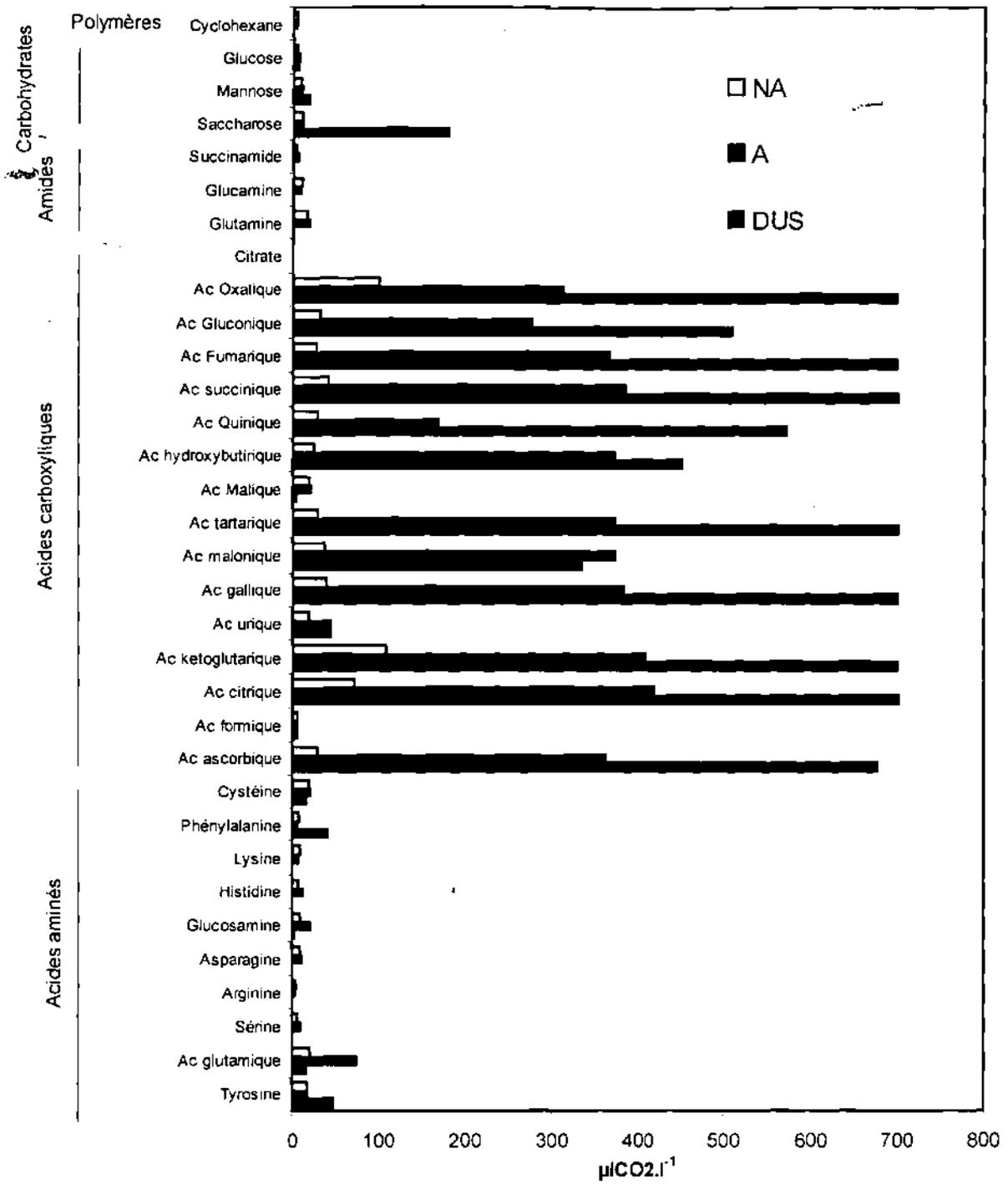


Figure 16 : Réponse respiratoire à l'addition de différentes molécules organiques sur des parcelles amendées et non amendées en déchets urbains solides.

Tableau 16 : Richesses cataboliques et indices de diversité catabolique.

Site	Traitement	Richesse	Indice de Shannon	« Equitability »
Site1	A	29±1	3.997±0.15	0.827±0.027
	NA	26±2.4	3.858±0.127	0.836±0.018
Site2	A	29.4±2.6	3.835±0.064	0.8±0.014
	NA	26.6±2.6	3.861±0.258	0.835±0.025
Site3	A	31±0.7	4.219±0.122	0.856±0.026
	NA	32±0	4.579±0.045	0.916±0.009
Moyenne 3 sites	A	29.7±1	4.002±0.076	0.826±0.014
	NA	27.9±1.4	4.065±0.132	0.858±0.015
Déchets Urbains Solides bruts		18±2.6	3.69±0.059	0.894±0.031
Anova (sur parcelles)				
Effet Site		0.137	0.004	0.14
<i>Test de Tukey</i>			S2=S1<S3	S2=S1<S3
Effet Amendement		0.341	0.518	0.062
Effet Interaction		0.568	0.294	0.513

4.4.2. Discussion

Les résultats du dégagement journalier de CO₂ montrent des quantités plus importantes de CO₂ dégagé sur les sols amendés lors des trois premiers jours de l'incubation comparativement aux sols non amendés. Selon Duthil (1973), la microflore du sol dépend des apports de matières organiques fraîches ; les populations microbiennes sont capables de se multiplier ou de s'éteindre brutalement selon la présence ou l'absence de métabolites nutritifs indispensables. On peut alors affirmer avec Duthil (1973) que l'apport de matériaux fermentescibles correspond à une régénération des populations microbiennes. L'augmentation de matière organique sur les sols amendés pourrait contribuer à expliquer les différences de dégagement de CO₂ observées entre les sols. Plusieurs auteurs avaient abouti aux mêmes observations (Sédogo, 1981 ; Hien, 1990 ; Bilgo, 1999). De façon générale, les courbes de dégagement journalier ont trois phases. Hien (1990) estime que la phase ascendante (pic) notée en début d'incubation, limitée à quelques heures, est liée à la minéralisation des composés organiques facilement assimilables libérés en début d'incubation. Ces composés seraient des cadavres microbiens, lesquels microbes sont morts pendant la phase de dessiccation et qui permettent un développement important de la microflore (Jenkinson, 1966 cité par Hien, 1990). La seconde phase correspond à une baisse rapide du dégagement de CO₂ liée à l'épuisement progressif des composés facilement biodégradables. Cette phase de

décroissance comporte un léger pic au 10^{ème} jour d'incubation ici. Selon Hien (1990), il correspond à la biodégradation des composés néoformés par les microorganismes de seconde génération. La dernière phase indique une faible activité biologique en fin d'incubation et correspond à la décomposition des composés résistants tels que la lignine.

Les coefficients de minéralisation du carbone des sols témoins sont significativement ($p = 0,024$) supérieurs à ceux des sols amendés. Selon Jenny (1950) cité par Floret *et al.* (1993), le coefficient de minéralisation de la matière organique varie avec la quantité de matière organique présente. Dans les sols à faible teneur en matière organique, l'épuisement des quantités de composés organique par la minéralisation est plus rapide (Sédogo, 1981 ; Hien, 1990). Cela expliquerait pourquoi sur les sols amendés, plus riches en matière organique, les taux de minéralisation sont plus faibles par rapport à ceux des sols non amendés moins riches en matière organique. En plus cette différence pourrait également s'expliquer par la nature des caractéristiques chimiques et biochimiques des matières organiques incorporées dans le sol (Sédogo, 1981 ; Bilgo, 1999). L'apport de matières organiques difficilement biodégradables par les déchets urbains solides contribuerait à expliquer les précédents résultats. La même observation a été faite sur les taux de minéralisation de l'azote qui sont plus importants sur les sols témoins. Cela vient exprimer le fait que la matière organique apportée par les déchets soit difficile à minéraliser par les microorganismes du sol. Piéri (1989) a trouvé des résultats similaires en montrant que les coques d'arachide non transformées (beaucoup rencontrées dans les DUS), améliorent le bilan du carbone total du sol, mais cette amélioration serait apparente car il n'y a aucun enrichissement de la fraction organo-minérale du fait de la faible biodégradabilité de ces coques d'arachide. C'est pourquoi, il propose un indice appelé rapport taux de fibres/contenu cellulaire (NDF/CC) pour apprécier la qualité de ces genres de fertilisants organiques. Une détermination de cet indice et un fractionnement de la matière organique des sols amendés pourraient confirmer les résultats trouvés.

L'azote organique dans le sol subit l'aminisation avec production d'acides aminés, puis l'ammonification qui transforme l'azote aminé en azote ammoniacal, et sous l'action des bactéries nitrificatrices, cet azote est transformé en nitrates (Dommergues et Mangenot, 1970 cités par Sédogo, 1981 ; Soltner, 1986 ; Baize, 2000). C'est la raison pour laquelle au cours de l'incubation, les taux d'azote ammoniacal diminuaient pendant que ceux des nitrates augmentaient. Selon Faurie (1980) cité par Sédogo (1981), les teneurs en NO_3^- et NH_4^+ dans le sol sont sous la dépendance de l'activité des germes hétérotrophes utilisant l'azote minéral du sol pour leurs propres synthèses protéiques. L'immobilisation de l'azote est en relation

avec la teneur en composés carbonés assimilables, constituant une source d'énergie à la croissance microbienne. Cela pourrait contribuer à expliquer les résultats trouvés sur le site 2.

Les résultats de la diversité catabolique soutiendraient les observations faites sur la minéralisation du carbone et de l'azote. En effet, les sols amendés avec les déchets urbains ont fortement réagi en présence d'acides carboxyliques lors de l'expérience. Cela serait indicateur de la présence d'une forte population de champignons sur ces sols (Duponnois, communication personnelle). Les indices de Shannon et de Simpson-Yule indiquent une faible diversité des communautés microbiennes sur les sols amendés comparativement aux sols témoins, même si la différence n'est pas significative. Ce qui veut dire que la différence entre sols amendés et sols non amendés apparaît au niveau des valeurs absolues de respiration en présence des diverses molécules et très peu sur le nombre de molécules qui ont induit une respiration. Selon Soltner (1986), Berthelin *et al.* (1994), les champignons sont généralement responsables de la décomposition des molécules complexes et difficilement décomposables telles que la lignine. L'apport des déchets urbains n'aurait pas conduit à une diversification des espèces microbiennes présentes dans le sol mais aurait favorisé le développement d'un groupe spécifique compte tenu de l'inaccessibilité des autres organismes à la matière organique apportée. Ces résultats confirment toute l'importance que la matière organique peut avoir sur le fonctionnement biologique des sols.

4.5. EFFETS DES DUS SUR LE COMPORTEMENT DES PLANTS EN POTS

4.5.1. Résultats

4.5.1.1. Effet sur la croissance en hauteur du sorgho

L'allure des courbes de croissance (figure 18.a) est ascendante au début, mais à partir du 30^{ème} jour après semis (JAS), on note un ralentissement de la croissance pour la plupart des traitements (tableau 17).

Les courbes de croissance en hauteur des plants (figure 18.a) indiquent que les hauteurs des plants sont identiques jusqu'au 10^{ème} jour, date à laquelle les plants sur les sols amendés du site 1 voient leur croissance s'accélérer. Les plants sur les sols amendés du site 2 se démarquent des autres dès le 15^{ème} jour. Les autres plants suivent une croissance presque identique. L'analyse statistique (tableau 17) montre une différence significative au seuil de 5 % entre les hauteurs des plants sur les sols amendés et celles des plants sur les sols témoins

dans les sites 1 et 2. Cette différence n'est pas significative pour le site 3. En moyenne, les plants sur les sols amendés ont une meilleure croissance que ceux sur les sols témoins (figure 18.b).

4.5.1.2. Effet sur la production de matière sèche du sorgho

Les différentes biomasses sont illustrées sur la figure 19. Comme dans le cas des hauteurs, sur les sites 1 et 2, les biomasses aériennes sont significativement différentes entre plants ayant évolué sur les sols amendés et ceux des sols témoins. Sur le site 3, ces biomasses aériennes sont comparables.

Quant aux biomasses racinaires, c'est seulement sur le site 1 qu'il y a une différence significative entre les traitements, les sols témoins ayant les plus faibles biomasses.

En moyenne, l'amendement a permis d'augmenter significativement la biomasse aérienne des plants mais n'augmente pas la biomasse racinaire.

Le tableau 18 montre les coefficients de corrélation entre les propriétés des sols et les biomasses des plants. On observe une corrélation positive et significative entre les teneurs en carbone, azote, NO_3^- des sols et les biomasses totales des plants. La biomasse aérienne est significativement et positivement corrélée aux teneurs en carbone, azote, NO_3^- et aux pH des sols. Les biomasses racinaires ne sont corrélées à aucune propriété du sol.

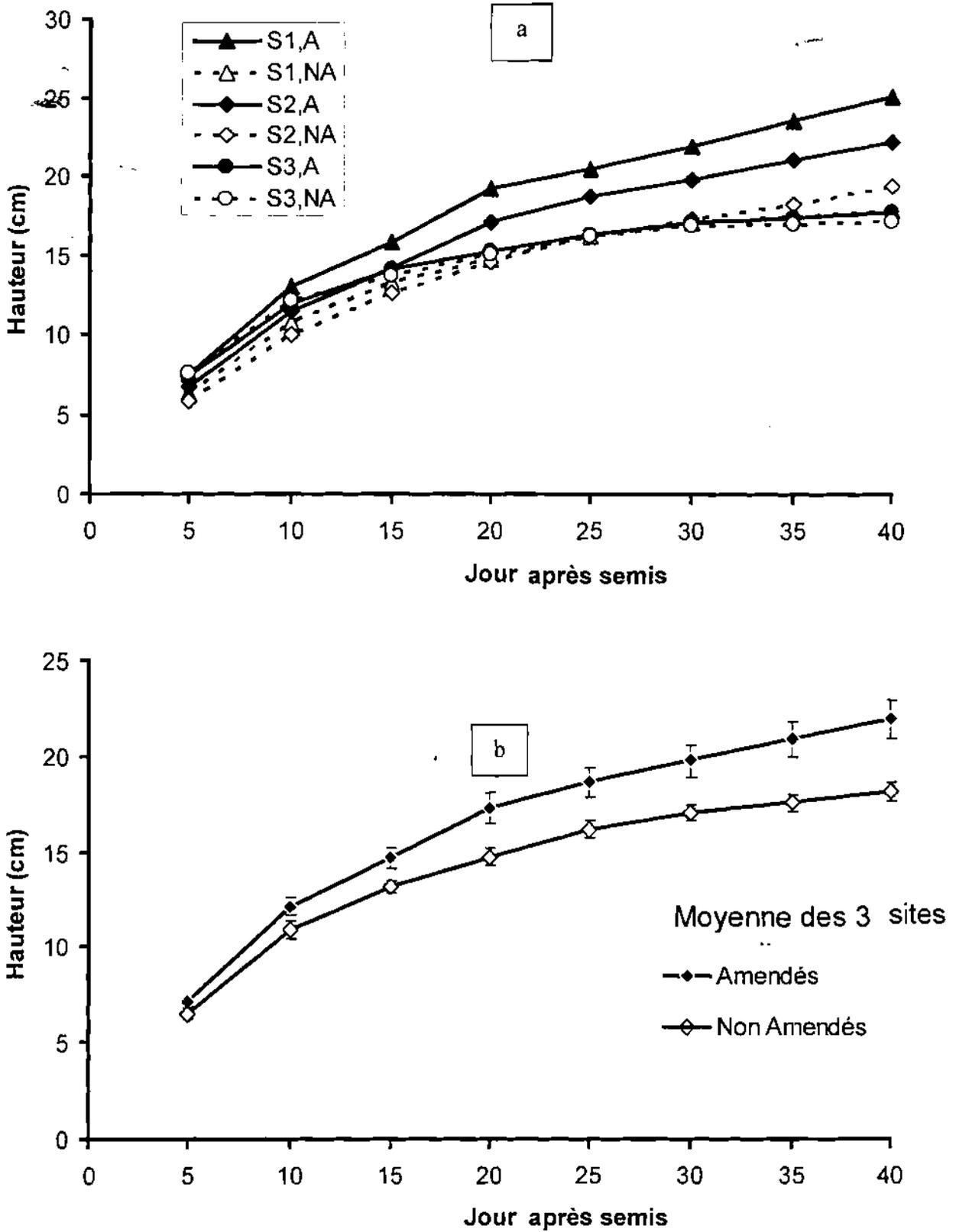


Figure 18 : Hauteurs des plants relevées pour un test de croissance du sorgho en pot sur les différents types de sols. a : hauteurs des plants par site et par traitement ; b : hauteurs moyennes par traitement.

Tableau 17 : Comparaisons des hauteurs en cm (moyenne \pm erreur standard) des pieds de sorgho aux différentes dates après semis.

Site	Traitement	Jours Après Semis							
		5	10	15	20	25	30	35	40
Site1	A	7.5 \pm 0.2	13 \pm 0.3***	15.8 \pm 0.5***	19.3 \pm 0.5***	20.5 \pm 0.5	22 \pm 0.6	23.6 \pm 0.6**	25.1 \pm 0.8**
	NA	6.3 \pm 0.4	10.8 \pm 0.5***	13.3 \pm 0.4***	14.7 \pm 0.4***	16.2 \pm 0.6	17 \pm 0.5	17.5 \pm 0.6	17.8 \pm 0.7
Site2	A	6.7 \pm 0.6	11.5 \pm 1.2***	14.2 \pm 1.3***	17.1 \pm 1.8***	18.7 \pm 1.7**	19.8 \pm 1.9	21.1 \pm 1.6	22.2 \pm 1.5
	NA	5.8 \pm 0.5	10 \pm 1.1***	12.6 \pm 0.9***	14.6 \pm 1.2***	16.2 \pm 1.1***	17.3 \pm 1	18.3 \pm 0.9	19.4 \pm 0.9**
Site3	A	7.3 \pm 0.1	12 \pm 0.2***	14 \pm 0.1***	15.2 \pm 0.5***	16.3 \pm 0.5	17.1 \pm 0.5	17.4 \pm 0.5	17.7 \pm 0.7
	NA	7.5 \pm 0.2	12.1 \pm 0.3***	13.7 \pm 0.2***	15 \pm 0.3***	16.2 \pm 0.5	16.9 \pm 0.5	17 \pm 0.6	17.2 \pm 0.7
Anova (modèle complet)									
Effet Site		<0.001	0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Effet Traitement		0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Effet Interaction		0.018	0.008	0.017	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Anova par site (Effet Amendement H0 : $x_A = x_{NA}$)									
Site 1		0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Site 2		0.011	0.007	0.005	0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001
Site 3		0.488	0.609	0.227	0.665	0.738	0.584	0.300	0.171

Analyse de variance : modèle complet ($Y = \text{effet Site} + \text{effet Amendement} + \text{Effet Interaction}$) et par site ($Y = \text{effet Amendement}$). Les signes * indiquent une différence significative entre la mesure et celle mesurée précédemment (** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$).

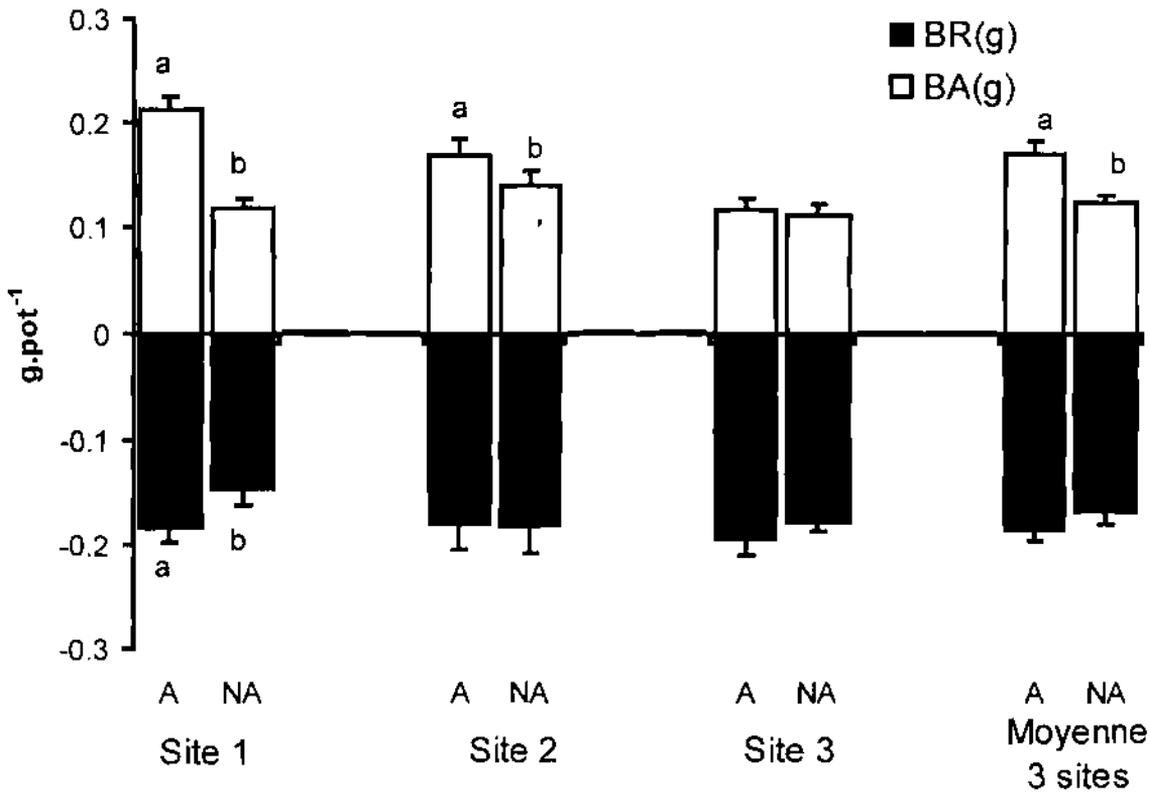


Figure 19 : Biomasse aérienne (BA) et racinaire (BR). Les barres d'erreurs représentent l'erreur Standard.

Deux lettres différentes indiquent une différence significative.

Tableau 18 : Coefficients de corrélation entre les biomasses produites par pot et les différentes propriétés du sol.

Propriétés des sols	Biomasse aérienne	Biomasse racinaire	Biomasse totale
Carbone total	0,883	0,353	0,720
Azote total	0,851	0,296	0,672
C/N	-0,249	0,083	-0,114
Phosphore total	0,530	-0,034	0,312
pH eau	0,557	0,050	0,370
pH KCl	0,592	0,092	0,412
NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺	0,313	0,411	0,395
NO ₃ ⁻	0,659	0,261	0,536
NH ₄ ⁺	-0,210	0,206	-0,030
Minéralisation carbone	-0,585	0,052	-0,338
Minéralisation nette azote	0,222	-0,010	0,133

En gras, valeurs significatives au seuil alpha = 0,050.

4.5.2. Discussion

La croissance en hauteur du sorgho sur les sols amendés est significativement différente de celle des sols témoins sur les sites 1 et 2. Sur le site 3, il n'y a pas de différence significative. En moyenne, on a des biomasses aériennes sont significativement différentes sur les traitements (amendé et témoin), mais les biomasses racinaires restent comparables. Notons que la bonne croissance des plants et leur résistance aux différentes agressions (parasitisme par exemple), résultent non seulement d'une bonne alimentation en éléments N, P, K, mais également d'une disponibilité suffisante en éléments secondaires et oligo-éléments et en divers activateurs (Soltner, 1986). Or, les matières organiques semblent jouer un rôle capital dans la fourniture de ces oligo-éléments. En effet, selon Soltner (1986), l'humus favorise l'alimentation des plantes en oligo-éléments, fournit des activateurs de croissance agissant à très faible dose. On comprend donc pourquoi, les plants qui ont poussé sur les sols amendés ont une meilleure croissance car ces sols sont beaucoup plus riches en matière organique et assureraient mieux la couverture des besoins des plants cités précédemment. Cela rejoint les observations de Duthil (1973), selon lesquelles, la décomposition de la matière organique est progressive et doublement intéressante :

- d'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien au souci d'une alimentation régulière et continue des plants ;

- d'autre part, elle apparaît complète en ce sens que la destruction microbienne des débris végétaux enfouis, libère aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autres éléments moins connus tels que Mg, Zn, B, Cu, Fe, etc., tous utiles à la croissance des plants.

Par ailleurs, les résultats de l'azote minéral montrent que les teneurs en NO_3^- sont significativement importantes dans les sols amendés par rapport à celles des sols témoins. Cette forme est pourtant la forme minérale de l'azote facilement assimilable par les plants (Baize, 2000). Ces sols sont donc plus aptes à satisfaire les besoins azotés des plants. C'est cela qui peut contribuer à expliquer les différences de croissance notées. Les analyses de variance sur les pH des sols montrent leur accroissement significatif sur les sols amendés. Selon Boyer (1976) cité par Hien (1979), le relèvement du pH favorise l'absorption du phosphore par les plantes. Les plantes sur les sols amendés auront donc accès plus facilement au phosphore, élément important dans leur croissance. Mais, la non détermination du phosphore assimilable, ne nous permet pas de confirmer cela.

En somme, en améliorant certaines caractéristiques du sol, chimiques notamment, les déchets ont créé des conditions favorables au développement des plants d'où la différence notée avec les plants sur les sols non amendés. L'absence de différence significative sur le site 3 serait du même coup expliquée, compte tenu de la faible amélioration des caractéristiques du sol liée au faible niveau d'amendement des DUS sur ce site. En effet, le tableau de corrélation montre une corrélation positive et significative entre les biomasses des plants et les teneurs en carbone total, azote total et nitrates. Cela confirmerait le rôle de ces propriétés sur la croissance des plants. Or, ces caractéristiques ont été améliorées avec les apports de DUS, ce qui montre l'importance de ces DUS sur le comportement des plants. Les résultats ont montré que la matière organique apportée par les DUS serait peu minéralisable. Pourtant, les biomasses les plus élevées sont obtenues sur les parcelles les plus amendées. Ce qui voudrait dire que l'amélioration de la production végétale observée serait plus déterminée par un apport direct d'éléments minéraux présents dans les DUS. Ce que l'on mesure avec l'essai en pot serait alors plus un arrière effet qu'un effet direct. Arrière effet qui reste d'ailleurs faible puisque l'écart finalement entre plants sur sols amendés et sols non amendés n'est pas très important.

CONCLUSION GENERALE

Dans la zone périurbaine de Ouagadougou, les paysans utilisent les déchets urbains solides comme source de matière organique. Des investigations réalisées dans cette zone ont révélé :

- que ces déchets comportent d'énormes quantités de matières récupérables, comme amendement organique pour les sols ;
- qu'il y a un véritable engouement des paysans pour l'utilisation de ces déchets.

Les études chimiques effectuées au laboratoire pour apprécier les effets des déchets sur les propriétés des sols ont montré que sur l'ensemble des trois sites, les niveaux des sols en éléments C, N, P restent assez bas. Toutefois, on note que :

- > les déchets ont contribué à relever le taux de matière organique des sols de 57 % ;
- > le taux d'azote total du sol a été augmenté de 73 % suite à l'apport de déchets ;
- > le phosphore total a été amélioré de plus de 43 % ;
- > les pH des sols qui étaient acides au départ sont passés à neutres avec l'amendement des déchets.
- > les croissances en hauteur et les biomasses aériennes des plants sur les sols amendés ont été significativement améliorées. Ce n'est pas le cas au niveau des biomasses racinaires.

En somme, l'amélioration des propriétés chimiques des sols est très importante. Cependant, les études de minéralisation du carbone et de l'azote indiquent que la matière organique sur les parcelles amendées serait difficilement minéralisable et par conséquent pourrait permettre d'émettre un doute de son accessibilité par les microorganismes du sol. D'ailleurs, la diversité catabolique fonctionnelle ne montre pas une amélioration, ni de la quantité, ni de la diversité des communautés de microorganismes dans les sols amendés. C'est pourquoi des études supplémentaires doivent être poursuivies. Ce sont :

- * un fractionnement granulométrique de la matière organique des sols sous apport des déchets urbains solides pour voir la répartition de la matière organique apportée dans les différentes fractions du sol ;
- * un suivi de la dynamique réelle de cette matière organique apportée par la technique de marquage isotopique artificielle du ^{14}C et ^{15}N ;
- * une détermination de la qualité biochimique des matières rencontrées dans les déchets ;

- * une estimation des communautés microbiennes des sols amendés et témoins par la SIR (Substrat Induced Respiration);
- * une étude des propriétés physiques (stabilité structurale, aération, humidité, etc.) des sols sous apport de déchets urbains pour appréhender les modifications induites à ce niveau.

En plus de l'amélioration des propriétés chimiques du sol, les déchets ont permis un accroissement, significatif parfois des hauteurs et des biomasses des plants de sorgho en vase de végétation. Mais si des améliorations sont observées, de grosses inquiétudes restent posées sur :

- le niveau de pollution chimique, sanitaire et même esthétique des sols recevant ces déchets ;
- l'assimilation de certains métaux lourds par les cultures et les risques de maladies pour le consommateur.

Toutes ces raisons font qu'il est impérieux pour la recherche, de définir des normes de pollution spécifiques à notre cité et s'approprier les techniques de biorémediation dans l'objectif de dépollution de certains sites si besoin en était. A ce titre, des plantes génétiquement modifiées pouvant jouer le rôle de bio-accumulateurs existent déjà dans certains pays et pourraient être testés sur nos sols.

Enfin, à l'endroit du politique et du décideur, dans le souci de sauvegarder la principale activité, une importante source d'alimentation de milliers d'habitants de la capitale, la délimitation d'une zone agricole protégée de tout lotissement dans la périphérie de Ouagadougou est vitale. Faute de quoi, la paupérisation ira en s'aggravant avec toutes les conséquences que cela entraînerait. Par exemple, l'ancienne ceinture verte, jusqu'ici inoccupée peut servir de zone teste. Pour améliorer la qualité des déchets arrivant chez le paysan, une campagne de sensibilisation doit être faite pour permettre un tri à la base et inciter des structures comme FASOPLAST à envisager la production de sachets biodégradables. Dans tous les cas, le Centre d'Enfouissement Technique (CET) en construction pourrait être une aubaine pour beaucoup de paysans, si celui-ci propose des prix bas et accessibles à ces milliers d'agriculteurs sans revenu consistant.

BIBLIOGRAPHIE

Anikwé M.A.N., Nwobodo K.C.A., 2002. Long term effect of municipal waste disposal on soil properties and productivity of sites used for urban agriculture in Abakaliki, Nigeria. Elsevier Science Ltd, 10p.

Arcens M.T., 1997. La participation de la communauté à la gestion des déchets solides. Programme UWEP/ CREPA, 9p.

Bacyé B., 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydromorphes de la zone soudano-sahélienne (province du Yatenga). Thèse Doct. , Univ. Aix-Marseille III. 243p.

Bacyé B., Moreau R., 2000. Evolution du statut organique et du pouvoir minéralisateur des sols cultivés dans une région semi-aride (province du Yatenga au BF). In : Thiombiano L., De Blic P., Bationo A. Gestion durable des sols et environnement en Afrique. Actes du premier colloque international de Ouagadougou. pp.219-226.

Badiane A., Chotte J.L., 1997. Un pôle bio-fonctionnement des sols tropicaux au Sénégal. Sér. Echanges, N°12, 3p.

Bado B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de PhD, Univ. de Laval. 167p.

Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} édition revue et augmentée. Edit. INRA, 257p.

Bayili P. P., 2000. Structures de pré collecte des déchets solides dans les villes de Ouagadougou et Cotonou : Comment consolider leur rôle et place dans les plans de gestion des déchets qui se mettent en place ? In : Atelier de restitution des résultats de la recherche action DST-ALTER EGO sur la gestion des déchets solides de Ouagadougou. pp.96-99.

Berthelin J., Leyval C., Toutain F., 1994. Biologie des sols : Rôles des organismes dans l'altération et l'humification. In : Bonneau M., Souchier B. Pédologie 2 : Constituants et propriétés du sol. Edit. MASSON, 2^{ème} édition, pp 143-237.

Bilgo A., 1992. Contribution à la valorisation agricole des différentes sources de Matière organique au Burkina Faso : évaluation des potentialités et des caractéristiques des déchets agricoles, agro-industriels et urbains. Mém. De fin d'études IDR, Univ. Ouagadougou. 87p.

Bilgo A., 1999. Les différents modes de gestion des jachères courtes et leurs impacts sur le sol : cas de la région de Bondoukuy (Burkina Faso). Mém. DEA. FAST, Univ. de Ouagadougou. 74p.

Boli Z., Roose E., 1999. Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanienne humide du Nord-Cameroun. In : Floret C, Pontanier R., la jachère en Afrique tropicale. Rôles, Aménagements, Alternatives. Actes du Séminaire international, Dakar. pp. 149-154.

- BUNASOLS, 1998.** Etude morpho-pédologique de la province du Kadiogo. Echelle 1/50000^{ème}. Rapport technique N°III, 70p.
- Cissé G., 1997.** Impact sanitaire de l'utilisation d'eau polluée en agriculture urbaine. Cas du maraîchage à Ouagadougou (B F). Thèse ès sciences techniques N°1639, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 310p.
- Compaoré E., Fardeau J.C., Morel J.L., Sédogo M.P., 2001.** Le phosphore bio disponible des sols : Une clé de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures. Vol.10, N°2. 18p.
- Degens B.P., Harris J.A., 1997.** Development of a physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. Soil Biol. Biochem. Vol. 29, n° 9/10, pp.1309-1320.
- Delville P.L., 1996.** Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel (diagnostic et conseil aux paysans). Collection le « Point sur ». Ministère de la coopération CTA.397p.
- Dévišcher S., 1997.** Propriétés et valorisation du compost. Mém. D.E.S.S, Univ. Picardie, 60p.
- Deyoko A., Nama R., Nombé A., Sawadogo I., Sanou F., 1993.** Stratégie d'aménagement du « Grand Ouaga », (horizon 2000). 127p.
- Drechsel P. and Kunze D., 2001.** Waste composting for Urban and Peri-urban Agriculture: Closing the Rural-Urban nutrient cycle in Sub-Saharan Africa. IWMI and FAO. CABI Publishing, New York. 229p.
- Duthil J., 1973.** Eléments d'écologie et d'agronomie. Collection des ingénieurs des techniques agricoles. Edit. JB. Baillière, Tome II. 262p.
- Feller C., Cheval M., Ganry F., 1977.** Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. ORSTOM-Dakar, 22p.
- Feller C., Fritsch E., Poss R., Valentin C., 1991.** Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 26 : 25-36.
- Floret C., Pontanier R., Serpantié G., 1993.** La jachère en Afrique tropicale. Dossier MAB 16, 86p.
- Fontès J., Guinko S., 1995.** Carte de la végétation et du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération française. Projet campus. 67p.
- Ganry F., Cissé L., 1991.** L'amendement organique des sols sableux : une assurance contre les préjudices de la sécheresse. Cas de Thilmakha (isohyète 300mm). In : Fondation Internationale pour la Science (IFS). Influence du climat sur la production des cultures tropicales. Compte rendu de Séminaire, CTA. pp. 314-326.

Guène O., 2000. Potentialités pour la promotion de l'agriculture urbaine à travers la valorisation des déchets en Afrique de l'Ouest (cas de Ouaga). Volet « ETB ». Etat des lieux en gestion des déchets solides et liquides. CREPA, IAGU, ALTER EGO, 36p.

Guinko S., 1984. Végétation de la Haute-Volta. Tome 1. Doct. d'Etat ès Sciences naturelles. Univ. Bordeaux III. 318p.

Hien V., 1979. Rôle de la matière organique libre dans la fertilité d'un sol ferrugineux tropical de Haute-Volta. Interaction avec l'effet dépressif de la monoculture du sorgho. Mém. DEA, ENSA (Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc). 46p.

Hien V., 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso. Thèse Doct., INPL, Lorraine, 149p.

Kabatas and Pendias, 1984. Trace elements in soils and plants. CRC press, Boca Raton. 15p.

Kilundo R. N., 2002. Les déchets au service de l'agriculture urbaine à Butembo /Nord-Kivu /RDC. In : Villes africaines, IAGU-Liberté VI Extension, N°5, Dakar. pp.3-4.

Koné D., Kientga M., 2001. Rapport de la consultation locale sur l'agriculture urbaine à Ouaga (BF) 04-05 Décembre 2001 (projet de recherche/ consultation pour le développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest). EIER, 49p.

Koné D., Kientga M., 2002. Rapport du forum de restitution aux producteurs de Ouagadougou (BF). 25 Avril 2002 (projet de recherche/ consultation pour le développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest). EIER, 26p.

Logan, 2000. Soil and environmental quality. In : Sumner M.E., Handbook of soil science, CRC, New-York. pp.131-139.

Lompo F., 1983. Problématique de la matière organique dans la zone du plateau Mossi. Etude de la disponibilité en résidus culturaux et de leurs modes de transformation (station agronomique de Saria. Mém. De fin d'études, UO. 100p.

Lompo F., Bonzi M., Youl S., 2000. Caractérisation de l'agriculture urbaine et péri-urbaine de la ville de Ouagadougou. Projet APUGEDU, contrat ERB IC 18-CT98-0288-INCO-UE. INERA, 26p.

Lompo F., Youl S., Bonzi M., 2002. Le potentiel de développement de l'agriculture urbaine et péri-urbaine en rapport avec la gestion déchets urbains en Afrique de l'Ouest. Synthèse des principaux résultats. APUGEDU, contrat ERB IC 18-CT98-0288-INCO-UE. INERA, 49p.

Maystre Y.L., Dieserens T., Duffon V., Leroy D., Simos L.J., Viret F., 1994. Déchets urbains: nature et caractérisation. Presses polytechniques et universitaires Romandes. 220p.

Mbouaka M. E., 2000. Etude de l'efficacité agronomique des composts d'ordures ménagères au Burkina Faso : cas de la ville de Ouagadougou. Mém. De fin d'études IDR, UPB. 80p.

Cirad-Gret, Ministère Français des Affaires Etrangères, 2002. Mémento de l'agronome, 5^{ème} éd. 1691p.

Miller, 2000. Land application of wastes. In : Sumner M.E., Handbook of soil science, CRC, New-York. pp. 48-61.

Mustin M., 1987. Le compost : gestion de la matière organique. Edit. François Dubusc, 954p.

Nacro H.B., 1997. Hétérogénéité de la matière organique dans un sol de savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire) : caractérisation chimique et étude, in vitro, des activités microbiennes de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse Doct., Univ. Pierre et Marie Curie-Paris VI. Spécialité : écologie. 302p.

Ndèye F., Guèye D., Sy M., 2002. Les activités agricoles dans le développement des villes africaines : un secteur dynamique aux capacités contributives avérées. In : Villes africaines, IAGU-Liberté VI Extension, N°5, Dakar. pp.2-3.

Nicou R., 1991. Intérêts et limites de l'apport de matière organique en zone soudano-sahélienne : Effets sur l'alimentation hydrique et sur le rendement de culture d'arachide et de mil). In : Fondation Internationale pour la Science (IFS). Influence du climat sur la production des cultures tropicales. Compte rendu de Séminaire Ouagadougou, CTA. pp.93-128.

Noël L., Carre J., Legeas M., 2002. Eléments pour la prise en compte des effets des unités de compostage de déchets sur la santé des populations riveraines. Rapport d'étude, ENSP France, 40p.

Nombré A., Traoré S.A., Bonkougou S.R., Nama R., Ouédraogo M., 1997. Schéma Directeur d'Aménagement du « Grand Ouaga » (horizon 2010). projet Village-Centre-Banlieue de Ouagadougou (PVCBO). 3^{ème} projet urbain, document final.330p.

Nzajibwami C., 2002. L'agriculture urbaine à Bujumbura, un secteur d'activité encore marginalisé dans les politiques urbaines. In : Villes africaines, IAGU-Liberté VI Extension, N°5, Dakar. pp.4-6.

Ouédraogo B., 2002. Avantages sociaux et économiques du recyclage des eaux usées dans l'agriculture urbaine des villes Ouest-Africaines. In : RUAFA, CTA, ETC, réutilisation des eaux usées en agriculture urbaine : « un défi pour les municipalités en Afrique de l'Ouest ». Atelier régional. pp. 1-19.

Ouédraogo L., Tankoano J.P., Traoré I., 2001. Mapping urban and periurban agricultural areas in Ouagadougou, Burkina Faso (practical application of IKONOS-2 "Very High Resolution" satellite imagery). Thesis Report GIRS-2001-35. Center for geo-information. 47p.

Ouédraogo N.M., 2003. Effet de différentes herbacées sur le statut chimique et microbiologique du sol en condition expérimentale (station de recherche INERA de Kamboinsé). Mém. De fin d'études IDR, UPB. 73p.

Ouédraogo O., 1989. Etude d'un procédé de compostage de résidus de canne à sucre et appréciation de la valeur fertilisante des composts. Mém. De fin d'études IDR, Univ. de Ouagadougou. 78p.

Pansu M., Gautheyrou J., 2003. L'analyse du sol minéralogique, organique et minéral. Edit. Springer, 993p.

Piéri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara. Ministère de la coopération. 444p.

Schéma Directeur de Gestion des déchets (SDGD) de la ville de Ouaga, 2000. Projet d'amélioration des conditions de vie urbaine (PACVU). N/Réf. 15572. 217p.

Sédogo M.P., 1977. Etude de l'influence des boues résiduaires sur les propriétés physico-chimiques et la matière organique du sol. DEA AGRO-ECO-PEDOLOGIE. Option: Mise en valeur des sols. Institut National Polytechnique de Lorraine, Univ. de NANCY I. 29p.

Sédogo M.P., 1981. Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride : matière organique du sol et nutrition azotée des cultures. Thèse de Doct. Ing., Institut National Polytechnique de Lorraine. 195p.

Séréme A., 1995. Gestion des ordures ménagères : cas de la ville de Ouagadougou (BF). Thème de recherche. Institut Africain de gestion urbaine (IAGU). Recherche appliquée sur la gestion urbaine en milieu africain (RAGUMA). 40p.

Soltner D., 1986. Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol, 14^{ème} édition : collection sciences et techniques agricoles, 464p.

Traoré O., 2000. Contribution à l'étude du potentiel de développement de l'agriculture urbaine et périurbaine de la ville de Ouagadougou. Mém. De fin d'études IDR, UPB. 99p.

Waas E., 1996. Valorisation des déchets organiques dans les quartiers populaires des villes africaines. Projet FNRS N°5001-038104. Module 7, développement et environnement. Programme prioritaire SKAT.143p.

Youl S., 2002. Valorisation des déchets urbains solides dans l'agriculture (péri) urbaine. Atelier avec les décideurs (APUGEDU), synthèse des travaux, INERA Ouagadougou. 9p.

Youl S., 2002. Valorisation des déchets urbains solides dans l'agriculture (péri) urbaine. Atelier avec les décideurs (APUGEDU), annexes : présentation INERA Ouagadougou. 30p.

Annexe1

FICHE D'ENQUETE N°.....

Date :/...../03

I / Présentation du ménage

- Nom du chef de ménage..... Situation géographique du champ
..... 1 : ; 2 : ; 3 : ; 4 :
- Nombre de personnes composant le ménage : Superficie du champ :
Nbre : ; Actifs : ; inactifs :
- Avez-vous d'autres activités ? Oui ; Non . Lesquelles ?
-
- La production satisfait-elle les besoins en consommation de votre ménage? Oui ; non
Sinon qu'achetez-vous et quelle quantité pour complément ?
-
- Vendez-vous une partie de votre production ? Oui ; Non . Pourquoi ?
-
- Pratiquez-vous : le labour ? Oui ; Non , la rotation culturale ? Oui ; Non , l'usage
des engrais minéraux ? Oui ; Non , les traitements phytosanitaires ? Oui ; Non

1 : Zone de la forêt ; 2 : Zone de Wapassi ; 3 : Zone de village ; 4 : Ancienne zone INERA

II / Les déchets urbains solides (DUS) vus par les paysans

- Utilisez-vous des DUS ? Oui ; Non . Pourquoi ?
-
- Depuis quand les utilisez-vous ? Et comment ?
-
- Utilisez-vous les DUS de façon continue ? Oui ; Non
- Que contiennent-ils selon vous ?
-
- Accepteriez-vous les boues de vidange ? Oui ; Non . Pourquoi ?
-
- Comment obtenez-vous les DUS ? Achats ; Apports personnels ; Autres . Lesquels ?

.....

-Combien achetez-vous les DUS ?

-Quelle quantité vous utilisez chaque année ?

-Que pensez-vous des DUS en terme d'apports aux sols ?

.....

-Comment appréciez-vous la qualité de votre sol depuis l'utilisation des DUS ?

.....

-Depuis l'utilisation des DUS avez-vous constatez une intense activité biologique du sol ? (y a t-il plus de termites, de vers de terre, de fourmis, de champignons, d'herbacées ? etc.)

.....

-Pensez-vous que les DUS aient des effets négatifs sur votre santé (blessures, autres maladies, etc.) ? Oui ; Non ; Ne sais pas

-Selon vous, que peut rapporter 1 ha de terrain sous apport de DUS ?

-Quelle est la taille approximative de votre culture (évaluation de biomasse) ?

Que faites-vous des résidus de culture ?

.....

.....

III / Etat du terrain

-Nature du sol Présence d'arbres et d'arbustes dans le champ

..... 1 ; 2 ; 3

-Pente du terrain

1' ; 2' ; 3'

1 : forte densité ; 2 : assez denses ; 3 : très parsemés.

1' : pente assez forte ; 2' : pente très faible ; 3' : pente nulle.

Annexe2: Composés organiques utilisés pour établir les profils cataboliques des sols

Substrats organiques	Conc. (mM)	Substrats organiques	Conc. (mM)
<u>Acides aminés</u>		<u>Acides carboxyliques</u>	
L-Arginine	15	L-Acide ascorbique	100
L-Asparagine	15	Acide citrique	100
L-Cystéine	15	Acide formique	100
L-Glutamine	15	Acide fumarique	100
L-Histidine	15	Acide gallique	100
L-Lysine	15	Acide gluconique	100
L-Phénylalanine	15	L-Acide glutamique	100
L-Sérine	15	Acide 3-hydroxybutyrique	100
L-Tyrosine	15	Acide kétobutyrique	100
		2-Acide kétoglutarique	100
		DL-Acide malique	100
<u>Amides</u>		Acide malonique	100
D-Glucosamine	15	Acide succinique	100
N-Méthyl D- glucamine	15	D-Acide quinique	100
Succinamide	15	Acide tartarique	100
		Acide urique	100
		Acide oxalique	100
<u>Hydrates de carbone</u>		Tri-sodium Citrate	100
D-Glucose	75		
D-Mannose	75		
D-Saccharose	75		
<u>Polymère</u>			
Cyclohexane	100		

Annexe 3 : Normes BUNASOLS d'appréciations des caractéristiques chimiques des sols.

		Très bas Défavorable	Bas	Moyen	Elevé	Très élevé Favorable
Matière Organique (MO)	%	< 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0
	Cotation	1	2	3	4	5
Azote total (N)	%	< 0,02	0,02 - 0,06	0,06 - 0,10	0,10 - 0,14	> 0,14
	Cotation	2	2,5	3	3,5	4
Phosphore total (P')	ppm	< 100	100 - 200	200 - 400	400 - 600	> 600
	Cotation	2,50	2,75	3,0	3,25	3,50

Annexe 4 : Normes ORSTOM d'appréciation de quelques caractéristiques chimiques des sols tropicaux (Kaboré, 1995 cité par Traoré, 2000).

Eléments chimiques	Teneurs de l'élément				
Carbone (%)	< 2	2 à 3,2	3,4 à 5,2	5,2 à 8,6	> 8,6
	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
Azote (%)	< 0,05	0,05 à 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,25	> 0,25
	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
Rapport C/N	< 8	8 à 12		12 à 25	
	Sol à faible réserve en MO		MO bien décomposée		MO mal décomposée
Phosphore total	< 0,05	0,05 à 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,30	> 0,30
	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche

Annexe 5 : Normes INRA, 1995 d'appréciation des pH des sols citées par Pansu et al. (2003).

pH < 3,5 : sol hyper-acide ;

3,5 < pH < 5,0 : sol très acide ;

5,0 < pH < 6,5 : sol acide ;

6,5 < pH < 7,5 : sol neutre ;

7,5 < pH < 8,7 : sol basique ;

pH > 8,7 : sol très basique.

Annexe 4

Tableau : Composition chimique des différentes parcelles amendés et leurs témoins.

N° éch.	Site	Amendement A/NA	Carbone g/kg	MO %	Azote total g/kg	C/N	Phosphore total mg/kg	pHeau	pHKCl
1	F	A	7.97	1.37	0.60	13	261.02	7.5	6.89
2	F	NA	3.14	0.54	0.20	16	115.3	6.1	5.2
3	F	A	8.04	1.39	0.50	16	187.02	7.48	6.95
4	F	NA	3.89	0.67	0.24	16	114.04	6.2	5.37
5	F	A	8.59	1.48	0.53	16	219.48	7.64	7.08
6	F	NA	5.05	0.87	0.30	17	112.22	6.69	5.41
7	F	A	10.02	1.73	0.71	14	544.01	7.64	7.05
8	F	NA	4.65	0.80	0.31	15	183.41	7.27	6.64
9	F	A	5.87	1.01	0.40	15	251.96	6.3	5.58
10	F	NA	5.37	0.93	0.24	22	146.11	6.7	5.89
11	T	A	6.84	1.18	0.47	15	215.96	7.44	7.05
12	T	NA	4.09	0.71	0.24	17	177.86	6.9	6.17
13	T	A	7.22	1.24	0.41	18	213.37	7.55	7.14
14	T	NA	6.19	1.07	0.41	15	247.91	7.5	6.81
15	T	A	14.53	2.50	0.71	20	391.99	7.51	6.85
16	T	NA	7.3	1.26	0.41	18	247.92	6.83	6.01
17	T	A	8.88	1.53	0.34	26	210.59	7.52	7
18	T	NA	6.97	1.20	0.18	39	174.58	5.92	4.91
19	T	A	8.65	1.49	0.54	16	207.52	7.54	6.92
20	T	NA	5.06	0.87	0.25	20	136.64	5.82	5.18
21	O	A	4.59	0.79	0.42	11	137.33	7.5	6.75
22	O	NA	4.91	0.85	0.38	13	169.42	6.3	5.44
23	O	A	3.71	0.64	0.25	15	133.96	6.55	5.99
24	O	NA	4.4	0.76	0.29	15	134.61	5.84	4.84
25	O	A	4.97	0.86	0.32	16	169.77	6.32	5.51
26	O	NA	3.34	0.58	0.22	15	290.04	6.09	4.92
27	O	A	7.51	1.29	0.48	16	289.26	7.23	6.5
28	O	NA	4.36	0.75	0.28	16	22.15	6.17	4.97

F: Site 1: ancienne ceinture verte de Ouagadougou

T: Site 2: zone de Toudbwéogo-Wapassi

O: Site 3: zone du village de Ourgou

Annexe 5
Fiche de prélèvement de sols sur les différentes parcelles

Date de prélèvement :/...../03 Identification de la parcelle :

Identification des herbacées dans chaque cadre de prélèvement de 1m×1m

Cadre 1 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 2 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 3 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 4 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 5 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 6 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 7 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 8 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 9 : Nbre de pieds de Striga <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>
Cadre 10 : Nbre de pieds de Striga : <input style="width: 50px; height: 20px;" type="text"/>	Autres herbacées : 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 1' <input type="checkbox"/> 2' <input type="checkbox"/> 3' <input type="checkbox"/>

Remarques générales sur la parcelle :

NB : Les prélèvements sont faits le long d'un transect de 20m avec un prélèvement tout les 2m soit 10 prélèvements en tout par transect : à l'intérieur d'un cadre de 1m×1m, un trou de 30cm×30cm est fait et la terre est prélevée sur une profondeur de 10cm.

1 : Très abondantes ; 2 : Abondantes ; 3 : Peu abondantes ; 4 : Très parsemées ; 5 : Absentes.

1' : Grande diversité ; 3' : Diversité moyenne ; 3'' : Très faible diversité.