



**Valorisation agronomique des sous-produits de l'assainissement écologique :
évaluation de l'effet de fertilité de l'urine et du compost à base de fèces humaines
sur le Gombo (*Abelmoschus esculentus*) et la Courgette (*Cucurbita pepo*)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Eau-Assainissement

Présenté et soutenu publiquement le 12/Novembre/2013 par

Idrissa Abdourahamane TOURE

Travaux dirigés par :

Dr. Nowaki HIJIKATA, Agriculture, reuse group in Améli-EAUR Project

M. Drissa SANGARE, Doctorant à 2iE/Centre Commun de Recherche Eau et Climat (CCREC)

Jury d'évaluation du stage

Président : Dr. LAHMAR Rabah

Membre et correctrice : Dr. SOU Mariam

Promotion [2012/2013]

DEDICACES

Nous dédions ce mémoire de fin de formation à notre famille pour le soutien moral et financier durant les études.

REMERCIEMENTS

Les résultats mentionnés dans ce document n'auraient pas été obtenus, sans le soutien technique, et moral du projet Améli-EAUR. Je tiens à adresser au projet ma profonde gratitude. J'exprime aussi toute ma reconnaissance au programme PIMASO de l'Union Européenne de m'avoir accordé une bourse de mobilité pour ma formation de Master 2 à l'Université Senghor de l'Egypte.

Je tiens particulièrement à dire toute ma gratitude à :

- Dr. HIJIKATA Nowaki, Agriculture, reuse group in Améli-EAUR Project, pour m'avoir accepté comme Stagiaire dans le cadre du projet Améli-EAUR, et pour n'avoir ménagé aucun effort durant le stage pour la réussite de ce présent mémoire ;
- M. SANGARE Drissa, Doctorant à la fondation 2iE, qui par ses conseils et ses critiques a bien voulu Co-superviser ce travail en dépit de ses multiples occupations ;
- Dr. MAIGA Ynoussa, Post doctorant à la fondation 2iE, pour son aide précieuse qui m'a permis d'obtenir le stage ;
- Dr. SOU Mariam, coordinatrice du projet Améli-EAUR, pour son accord pour que je puisse effectuer le stage au sein du projet ;
- Dr, KONATE Yacouba, responsable pédagogique du Master Eau et Assainissement, pour les efforts qu'il fournit afin de nous mettre dans les meilleures conditions de travail ;
- M. MOUMOUNI Diarafou Ali, Doctorant à la fondation 2iE, pour sa sympathie et ses conseils qui ont été très significatifs pour l'aboutissement de cette étude ;
- Tout le personnel administratif et corps enseignant de 2iE qui ont fait que ces deux années d'expérience soient enrichissantes tant sur le plan académique que social ;
- Tous mes camarades de classe, pour les moments de joies et de peines partagés durant les études.

Que ceux qui, de près ou de loin, ont contribué, d'une manière ou d'une autre à la conception, la réalisation du présent mémoire et qui n'ont pas été cités trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

AVANT-PROPOS

La présente étude a été effectuée au sein de l'Améli-EAUR, dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin de formation du Master. Le projet Amélioration de l'accès à l'Eau potable à l'Assainissement en zone Urbaine et Rurale (Améli-EAUR) est mis en place avec l'objectif d'une amélioration durable de l'eau et d'assainissement dans la région du Sahel en Afrique. Il a débuté en 2010 pour 5 ans dans la ville de Ouagadougou et de Ziniaré (Burkina Faso). Il est financé par l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA) et l'Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). Ses principaux objectifs sont de :

- Traiter les déchets solides et liquides des ménages en développant des technologies appropriées d'assainissement (toilette à compostage, système de traitement des eaux grises) ;
- Développer des technologies peu coûteuses, simples et robustes pour le traitement de l'eau potable pour la population rurale dans la région du Sahel ;
- Soutenir et renforcer la capacité d'exécution et l'accès à ces technologies pour les bénéficiaires.

Ses domaines d'intervention sont :

- Collecte et hygiénisation des excréta humains ;
- Traitement des eaux grises en zones rurale et péri-urbaine ;
- Valorisation des sous-produits de l'assainissement écologique en agriculture ;
- Evaluation de l'acceptation sociale des technologies proposées.

RESUME

Le Burkina Faso à l'instar des pays sahéliens est confronté à de graves problèmes d'assainissement, de ressources en eau et de sécurité alimentaire. En effet, le faible niveau de productivité des sols avec son corollaire l'insuffisance alimentaire constitue une contrainte majeure au développement du pays. Car au Burkina Faso, l'agriculture contribue pour environ 40% au Produit Intérieur Brut (PIB). Face à ces défis, la réutilisation des excréta humains comme source de nutriments en agriculture peut être une approche mieux indiquée pour le Burkina Faso. Dans cette étude, des urines et compost à base de fèces collectés au niveau de six familles situées au Burkina Faso plus précisément à Kamboinsè et à Ziniaré ont été testés comme source de substances nutritives sur le gombo et la courgette en comparaison avec l'engrais minéral. Pour aboutir aux résultats, notre objectif était d'évaluer la productivité du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et de la courgette (*Cucurbita pepo*) avec l'utilisation des excréta humains hygiénisés. Un bloc randomisé disposé suivant 3 lignes a été utilisé pour les deux cultures. Les doses par parcelle de 2 kg de compost et 0,5 litre d'urine/application ont permis d'avoir des résultats dont les valeurs sont différentes et compétitives avec l'engrais chimique et dépassant largement celles du témoin. Ainsi la hauteur des plants du gombo a atteint une taille d'environ 100 cm pour le mixte compost-urine contre 80 cm pour le NPK. Au niveau du rendement, 96 à 123 fruits ont été récoltés pour les plantes du gombo qui ont été fertilisées avec les excréta humains contre 47 fruits pour le témoin et un poids compris entre 1923 à 3106 g pour les plants traitées contre seulement 853 g pour le témoin. Concernant le poids de la biomasse totale des courgettes, nous avons enregistré pour les fruits 2,4 à 8 kg pour les plantes traitées contre 1,7 kg pour le témoin. Les feuilles et les tiges des courgettes ont donné à peu près 0,7 à 1,2 kg pour les plantes traitées avec les excréta humains, 1,8 kg pour le témoin et 0,4 kg pour le NPK. Ces résultats montrent des valeurs pour les plantes fertilisées avec les excréta humains supérieures à celles du NPK et du témoin. Ils attestent donc le fait que les excréta humains hygiénisés peuvent être utilisés comme fertilisants en agriculture à la place des engrais chimiques. Pour ce faire les populations notamment rurales doivent être informées, suivies et aidées financièrement pour une mise en place intégrale de cette nouvelle technologie mal connue, leur permettant d'améliorer le revenu familial et de maintenir l'environnement sain.

Mots-clés : réutilisation, excréta humains, fertilisants, nutriments, productivité.

ABSTRACT

Burkina Faso, like most Sahelian countries is facing water resources, sanitation and food security problems. Indeed, the low level of soil productivity with its consequences of food shortage is a major constraint to the development of the country. In Burkina Faso, agriculture contributes about 40% to the Gross Domestic Product (GDP). In view of, these challenges, the reuse of human excreta as a source of nutrients in agriculture may be a more appropriate approach for Burkina Faso. In this study urine and feces - based compost collected from six families living in Kamboinsé and Ziniaré at Burkina Faso were tested as a source of nutrients on okra and zucchini in comparison with mineral fertilizer. Therefore, the main objective of this work is to assess the yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) and zucchini (*Cucurbita pepo*) with the use of sanitized human excreta as fertilizer. A randomized block arranged along three lines was used for both crops. The plots where 2 kg of compost and 0.5 liters of urine were applied proved to be more efficient and competitive than chemical fertilizers and far exceeding those of the control. In addition, the height plant of okra plant has reached a size of about 100 cm for mixed compost - urine against 80 cm for NPK. In terms of, performance: 96-123 fruits were harvested and weighing between 1923-3106 g for okra plants that have been fertilized with human excreta against 47 fruits of 853 g of weight for the control. Regarding, the weight of the total biomass of zucchini, it was recorded for fruit 2.4 to 8 kg for the treated plants against 1.7 kg for the control. The leaves and stems of zucchini gave about 0.7 to 1.2 kg for plants treated with human excreta, 1.8 kg for the control and 0.4 kg NPK. These results showed that the yield of plants treated with human excreta as fertilizer gives better performance than those of NPK of the control. This confirms that, the sanitized human excreta can be used as fertilizer in agriculture in place of chemical fertilizers. To do this include the rural population must be informed , monitored and supported financially for a full implementation of this new unknown technology , allowing them to improve family income and maintain a healthy environment.

Keywords: reuse, human excreta, fertilizers, nutrients, yield

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
AVANT-PROPOS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES UTILISES	x
INTRODUCTION GENERALE	1
Question de recherche	2
Objectifs de l'étude.....	2
Hypothèses.....	3
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. GENERALITES SUR LA REUTILISATION DES EXCRETA HUMAINS EN AGRICULTURE ET SUR LE CADRE DE L'ETUDE	5
1.1. Présentation du Concept de l'assainissement écologique.....	5
1.2. La valeur fertilisante des excréta humains	7
1.3. Risques liés aux excréta et précautions de leurs utilisations en agriculture	8
1.4. Traitement hygiénique des excréta à travers le stockage.....	9
1.4.1. Traitement des urines	9
1.4.2. Traitement des fèces	10
1.5. Cadre de l'étude.....	12
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	14
II. Méthodologie	15
2.1. Collecte des sous-produits : urines et compost à base des fèces humaines.....	15
2.2. Description du dispositif expérimental.....	15
2.3. Description des traitements	16
2.4. Paramètres de suivi	19
2.4.1. Semis	19
2.4.2. Méthodes d'irrigation.....	19
2.4.3. Entretien	19
2.4.4. Observations et mesures.....	19
2.4.5. Récoltes des fruits	20
2.4.6. Analyse des échantillons des plantes et sols au laboratoire	20
2.4.7. Traitement et analyse des données	21

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	22
III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	23
3.1. Résultats.....	23
3.1.1. Culture du gombo pendant la saison pluvieuse	23
3.1.2. Culture de la courgette pendant la saison sèche	29
3.2. Discussion.....	33
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	38
ANNEXES	I

LISTE DES FIGURES

Figure 1: schéma global de l'approche Améli-EAUR	6
Figure 2: voies de transmission des pathogènes entériques	8
Figure 3: localisation de Ouagadougou dans la Province de Kadiogo	12
Figure 4: dispositif expérimental utilisé pour l'application des fertilisants sur les plantes.....	16
Figure 5: collecte des fertilisants	17
Figure 6: technique d'application de l'urine	17
Figure 7: plantes et fruits du gombo.....	23
Figure 8: hauteur des plantes du gombo.....	24
Figure 9: nombre de fruits récoltés pour le gombo	25
Figure 10: poids des fruits frais du gombo	25
Figure 11: poids des tiges et feuilles fraîches de trois plantes coupées du gombo	26
Figure 12: poids des tiges et feuilles sèches de trois plantes coupées du gombo.....	26
Figure 13: biomasse fraîche de la culture du gombo.....	27
Figure 14: biomasse sèche de la culture du gombo	28
Figure 15: plantes et fruits de la courgette	29
Figure 16: poids des fruits de la courgette.....	30
Figure 17: nombre de fruits récoltés pour la courgette	30
Figure 18: poids des tiges et feuilles fraîches des trois plantes coupées de la courgette	31
Figure 19 : biomasse fraîche de la culture des courgettes	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: quantité annuelle de nutriments dans les excréta de 10 personnes comparés avec les fertilisants chimiques	7
Tableau 2: Durée de stockage des urines en fonction des pathogènes et les cultures recommandées	10
Tableau 3: traitement primaire (et secondaire) recommandés des fèces sèches avant utilisation.....	11
Tableau 4: périodes et doses d'application des sous-produits de l'assainissement	18
Tableau 5: composition chimique des excréta utilisées	18
Tableau 6: paramètres mesurés et matériels utilisés	21
Tableau 7: paramètres physico-chimiques des sols après la récolte des gombos	28
Tableau 8: paramètres physico-chimiques des sols après la récolte des courgettes	32

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES UTILISES

2iE : Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

Améli-EAUR : Amélioration de l'accès à l'Eau potable à l'Assainissement en milieu Urbain et Rural

CE : Conductivité Electrique

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

ECOSAN : Assainissement Ecologique

FAO : Food and Agriculture Organisation (*Fonds des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture*)

JAS : Jours Après Semis

JICA : Agence Japonaise de Coopération Internationale

MO : Matière Organique

NPK : Azote, Phosphore et Potassium

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel d'Hydrogène

INTRODUCTION GENERALE

En ce 21^{ème} siècle, l'eau, l'hygiène et l'assainissement constituent un défi majeur pour le développement durable des pays en voie de développement. Ainsi dans ces pays et plus particulièrement au Burkina Faso, l'eau et l'assainissement sont des problèmes urgents car l'accès à l'eau potable dans les centres urbains et ruraux du Burkina Faso était respectivement de 74% et 60% et celui de l'assainissement (eaux usées et excréta) de 14% et 10% (MAHRH, 2006). Les eaux usées pouvant palier à la pénurie d'eau après traitement sont rejetées directement dans l'environnement ainsi que les matières de vidange des fosses étanches et des latrines traditionnelles. En milieu rural où les infrastructures d'assainissement sont insignifiantes, les habitants choisissent les alentours des concessions pour la défécation. En saison de pluies, ces excréta ruissellent avec les eaux de pluie tout en souillant les retenues d'eau et les puits traditionnels à ciel ouvert qui servent comme sources d'eau pour les populations. Par ailleurs, les autres défis importants, responsables d'une insécurité alimentaire auxquels les pays de la sous-région font face sont la baisse croissante de fertilité des sols et l'inaccessibilité des engrais chimiques pour les petits exploitants agricoles (HIJIKATA et al., 2012).

En effet au Burkina Faso comme dans la plus part des pays sahéliens, l'agriculture constitue la base de l'économie pour les populations. Cependant la production demeure faible et insuffisante pour la survie des populations de plus en plus croissantes. La faible pluviométrie rencontrée dans ces pays sahéliens, rend l'agriculture dépendante de l'irrigation, d'où la nécessité d'avoir une eau abondante (fleuves, lacs...) dans le milieu environnant. Alors qu'on estime que d'ici 2050, plus de 40 % de la population mondiale vivra dans des pays confrontés à des problèmes de pénurie d'eau et de stress hydrique (Hinrichsen, Robey & Upadhyay, 1998 cités par WHO, 2006). Dans ces régions également la plus part des agriculteurs utilisent l'engrais minéral onéreux comme fertilisant qui à long terme manifesterait des effets négatifs tant sur les eaux de surface et souterraines. En somme, dans une situation d'insécurité alimentaire, de réduction des sols fertiles, de hausse des prix des engrais sur les marchés mondiaux, il est nécessaire d'utiliser pour l'agriculture les nutriments disponibles, en particulier dans les excréta humains riches en azote et phosphates, ce qui augmenterait la productivité et réduirait les besoins en engrais chimiques. Ainsi, pour faire face à ces défis au Burkina Faso, le projet d'Amélioration de l'Accès à l'Eau potable à l'Assainissement en

milieu Urbain et Rural (Améli-EAUR) a consacré dans l'un de ces volets la valorisation des déchets domestiques solides et liquides en développant des technologies d'assainissement adaptées en région sahélienne et basées sur le concept « don't mix » et « don't collect ». Les technologies expérimentées sont toutes de type autonome et reposent sur l'idée de réduire au maximum la collecte et le mélange des différents flux d'excréments (eaux grises, urine, matières fécales). En effet, la réutilisation de l'urine humaine et les fèces assainies dans les zones rurales et urbaines de manière régulière permettra de préserver les ressources en eau et de réapprovisionner le sol en nutriments jusqu'à une forte productivité agricole (Esrey et al., 1998). Cela est d'autant possible car chaque individu produit 400 à 500 litres d'urine et 25 à 50 kg de fèces par an et se nourrit de moins de 250 kilogrammes de grain pendant un an (Esrey et al., 1998). Cette quantité d'excréta, si on la conserve est suffisante pour produire la quantité de nourritures dont chaque individu a besoin pour survivre durant une année. Par ailleurs, l'urine contient jusqu'à 0,9% ; 0,12% ; 0,26% de N, P et K, respectivement (Vinneras et al., 2004). En outre, l'urine est un engrais riche en azote qui agit rapidement et peut être appliquée directement sur le sol (Hoglund et al., 2000). De plus les matières fécales agissent lentement et contiennent des matières organiques ainsi que d'autres éléments nutritifs utiles à la plante et au sol.

La présente étude initiée compare les effets des sous-produits de l'assainissement écologique avec l'engrais minéral (NPK) sur la productivité du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et la courgette (*Cucurbita pepo*) en milieu sahélien. L'atteinte de cet objectif suscite de nombreuses interrogations telles, pourquoi utilise-t-on les sous-produits de l'assainissement écologique comme fertilisants en agriculture? En d'autre terme quels sont leurs effets sur les sols? D'où la question de recherche suivante :

Question de recherche

Quel est l'avantage de l'utilisation de l'urine et du compost à base de fèces humaines en agriculture?

Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est d'évaluer la productivité du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et de la courgette (*Cucurbita pepo*) avec l'utilisation des excréta humains hygiénisés.

De façon spécifique, il s'agira de :

- Evaluer la croissance des plantes avec l'utilisation des sous-produits de l'assainissement écologique, du NPK et de la cendre ;
- Identifier les meilleurs rendements des plantes après apport des substances nutritives contenues dans l'urine et le compost à base de fèces humaines ;
- Evaluer les propriétés physico-chimiques des sols cultivés après amendement avec les fertilisants ;
- Comparer l'effet des sous-produits de l'assainissement écologique séparés et combinés sur les rendements des cultures.

Hypothèses

L'étude s'articule autour des hypothèses suivantes :

- ✚ L'utilisation des sous-produits de l'assainissement écologique, du NPK et de la cendre permet une croissance élevée des plantes ;
- ✚ L'urine et le compost à base de fèces humaines sont capables de satisfaire les besoins totaux de NPK dont les plantes ont besoin pour donner un bon rendement ;
- ✚ La fertilisation des sols est améliorée avec l'utilisation de l'urine et du compost à base de fèces humaines comme engrais dans l'agriculture ;
- ✚ La combinaison urine et compost donne de meilleurs rendements que l'urine et compost séparément.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons structuré le contenu du mémoire en trois chapitres. Dans un premier temps nous allons faire une revue de littérature pour mieux appréhender le sujet ; ensuite dans le second chapitre nous expliquerons le matériel et méthodes utilisées pour atteindre nos objectifs et enfin le troisième chapitre consacré aux résultats et discussion de l'étude.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LA REUTILISATION DES EXCRETA HUMAINS EN AGRICULTURE ET SUR LE CADRE DE L'ETUDE

Cette partie fait référence aux travaux antérieurs réalisés en rapport avec l'utilisation des excréta humains en agriculture. En effet, l'épandage des excréta humains pour la fertilisation des récoltes est une pratique très répandue qui s'appuie sur une longue tradition dans de nombreux pays à travers le monde (IWMI, 2011). D'après Esrey et al., (1998), les chinois ont pratiqué le compostage des excréta humains et animaux durant des milliers d'années et le Japon a introduit la pratique du recyclage des déchets humains et de l'urine dans l'agriculture au douzième siècle. Ainsi, nous allons donner dans ce chapitre une vue d'ensemble de l'utilisation des excréta humains en agriculture, particulièrement en ce qui concerne les conséquences sanitaires et ensuite faire la présentation biophysique du Burkina Faso sur ses aspects géographiques, socio-économiques et conditions agro-écologiques.

1.1. Présentation du Concept de l'assainissement écologique

L'assainissement écologique est une nouvelle technologie d'assainissement permettant la séparation des urines avec les fèces. Cette séparation facilitera le traitement des urines et des fèces à travers plusieurs méthodes dont le stockage dans un milieu à chaleur élevée. Après le traitement, les sous-produits peuvent être réutilisés en agriculture sans risque. Ainsi selon Hector et al., (2009), l'assainissement écologique est une philosophie, une nouvelle façon de penser, de percevoir les déchets solides et liquides (excrétas, eaux usées,...) non pas comme des rebuts, mais plutôt comme des ressources qui peuvent être valorisées. C'est une approche holistique pour l'assainissement et la gestion de l'eau basée sur la fermeture systématique des cycles de flux de substances nutritives en vue de leurs utilisations en agriculture. La production des fertilisants passe par la mise en place d'un dispositif de collecte des excréta, connu sous le nom de « latrine ». Les latrines de séparation de l'urine et des fèces d'Améli-EAUR ont été mises en place au niveau de six familles différentes (familles pilotes) situées dans deux milieux différents à savoir : deux familles en milieu péri-urbain (Kamboinsé) et les autres en milieu rural (Ziniaré). Le dispositif est conçu de façon à permettre la séparation de l'urine aux fèces. Les utilisateurs des latrines doivent respecter les consignes d'utilisation de façon à séparer dès la génération, les urines des fèces. La séparation des excréta facilite non seulement le traitement mais également elle réduit les problèmes d'odeurs et de mouches autour de la famille pilote. La séparation des excréta permet aussi d'éviter une période de dessiccation plus longue due à l'augmentation de l'humidité dans les fèces par un éventuel

mélange d'urine dans celles-ci. Pour faciliter la dessiccation, Améli-EAUR recommande à chaque utilisateur de latrines d'ajouter un peu de sciure du bois dans la fosse. La sciure permettra non seulement de réduire les odeurs mais aussi de jouer positivement sur la désinfection des fèces à travers le pH (Hector et al., 2009). Les composts à base de fèces sont collectés dans des bacs amovibles. Quant aux urines, elles sont canalisées vers un récipient (bidon) posé dans un trou à l'extérieur de la latrine.

L'éco-assainissement a comme avantages :

- D'introduire le concept de durabilité à l'assainissement ;
- De lier l'assainissement à l'agriculture ;
- D'utiliser les vertus de nos déchets pour assurer le renouvellement des richesses de notre environnement.

Selon toujours Adissoda et al., (2004), les objectifs d'assainissement écologique sont de trois types à savoir : (1) réduire les nuisances causées à l'environnement, (2) préserver la santé humaine et (3) augmenter la fertilité des sols.

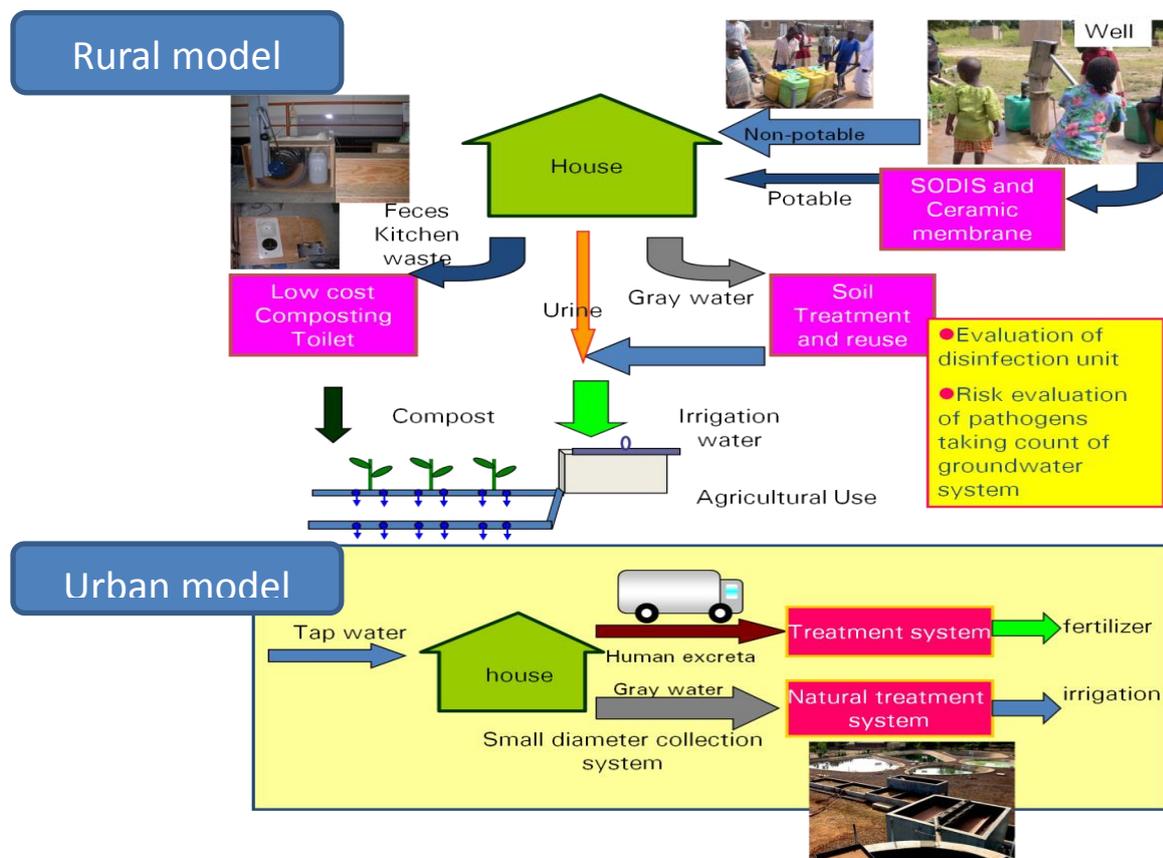


Figure 1: schéma global de l'approche Améli-EAUR

1.2. La valeur fertilisante des excréta humains

Normalement la quantité et la qualité des éléments nutritifs dans l'urine et les fèces sont en fonction des nourritures consommées. Selon, Jönsson et al., (2004), c'est possible d'estimer la quantité totale de N et P excrétée avec les urines et fèces à partir des statistiques de la FAO sur la consommation des protéines (équation 1 et 2).

$$N = 0.13 * \text{Protéine totale} \quad (\text{Equation 1})$$

$$P = 0.011 * (\text{Protéine totale} + \text{Protéine végétale}) \quad (\text{Equation 2})$$

Selon Esrey et al., (1998), les 400 litres d'urine que peut produire un adulte par an contiennent, 4 kg d'azote ; 0,4 kg de phosphore et 0,9 kg de potasse. D'après ces données, la plus grande quantité d'azote, dont ont besoin les plantes pour leur croissance se trouvent dans les urines. Ces éléments nutritifs contenus dans les urines se trouvent sous formes minéralisées et par conséquent, directement assimilables par les plantes.

D'après les mêmes auteurs, la quantité totale de fèces produites par personne et par an est de 25 à 50 kg, contenant jusqu'à 0,55 kg d'azote ; 0,18 kg de phosphore et 0,37 kg de potasse. Les nutriments excrétés dans les fèces sont faibles par rapport à ceux des urines, néanmoins ils contribuent à améliorer la fertilité du sol en augmentant son contenu en matière organique. La teneur en matière organique des fèces accroît en outre la capacité de rétention d'eau du sol et sa capacité d'échange cationique (CEC), ce qui est important pour améliorer la structure des sols et stimuler l'activité microbienne (OMS, 2012).

Tableau 1: quantité annuelle de nutriments dans les excréta de 10 personnes comparés avec les fertilisants chimiques (Dagerskog et al., 2010, Anna et al., 2011-3 et Esrey et al., 1998)

Fertilisants	N (kg)	P (kg)	K (kg)	Qté de maïs produite/an (tha ⁻¹)	Qté de nourriture consommée/10 pers/an (kg)
Urine et fèces de 10 personnes dans un an	28	4,5	13	1,5	2500
50 kg d'urée et 50 kg de NPK (14-23-14)	30	4,9	7		

Le maïs a besoin d'environ 60 kg de N/ha, ce qui ne peut être fourni qu'avec les excréta de 20 personnes suivant les données du tableau 1 ci-dessus. Il faut donc 2 ans pour pouvoir accumuler une quantité de 60 kg de N/ha pour une famille de 10 personnes. Par contre un champ bien fertilisé (60 kg N/ha) peut produire 3 tonnes/ha, comparativement à 0,5 tonnes pour le champ traditionnel (Anna et al., 2011-3). Un excédent de 2,5 tonnes en raison de l'application d'excréta de 20 personnes, soit 125 kg supplémentaires de maïs pour chacune de ces 20 personnes. Pour une consommation de 2500 kg/an/10 personnes, la famille pourra stocker 500 kg/an de maïs.

1.3. Risques liés aux excréta et précautions de leurs utilisations en agriculture

Les fèces humaines contiennent divers agents pathogènes reflétant la prévalence des affections dans la population ; seul un petit nombre d'espèces pathogènes peuvent en revanche être excrétées dans l'urine (OMS, 2012). Les pathogènes les plus importants existant dans l'urine peuvent provoquer la typhoïde, la paratyphoïde et la bilharziose (Esrey et al., 1998). Les risques résultant de l'utilisation de l'urine comme fertilisant et de l'utilisation des eaux ménagères pour l'irrigation sont liés à la contamination croisée par des matières fécales (OMS, 2012). Concernant les fèces, elles secrètent quatre groupes principaux d'organismes représentant un danger pour les humains : les bactéries, les protozoaires, les helminthes et les virus (Esrey et al., 1998). Elles peuvent expulser jusqu'à 120 types différents de virus, dont les plus communs sont les entérovirus, les rotavirus, les adénovirus entériques et des calicivirus humains (norovirus) (Tauxe & Cohen, 1995 cités par Caroline et al., 2004-1). Plusieurs des pathogènes peuvent survivre longtemps et parvenir aux récoltes si l'usage du matériau fécal est pratiqué sans traitement approprié.

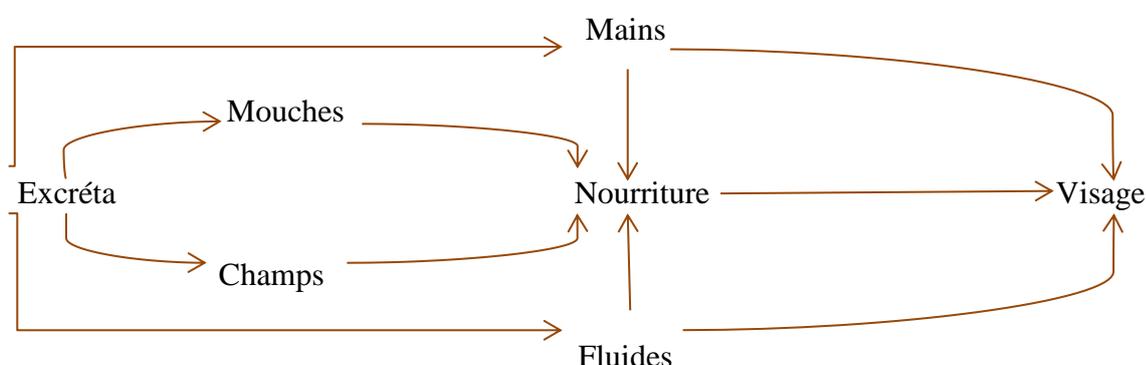


Figure 2: voies de transmission des pathogènes entériques (Esrey et al., 1998)

Si l'on empêche les urines d'être en contact avec les fèces en les recueillant dans un récipient tout en les laissant séjourner pendant seulement un mois ou 45 jours, il n'en aura aucun risque à les utiliser en agriculture. Mais il faut prendre soin lors de leurs applications à ne pas les mettre en contact avec les feuilles des plantes, à moins que ce ne soient des cultures destinées à l'alimentation des animaux. Gonidanga et al., (2004) ont montré que pour les urines, un temps de stockage de 7 jours est suffisant pour observer l'inactivation des coliformes fécaux et quatre semaines pour celles des streptocoques fécaux.. Aussi d'après Helvi Heinonen-Tanski et al., (2007), l'urine récente pourrait servir d'engrais valable pour le concombre, et que ces légumes pourront être mangés sans les faire cuire ou être employé pour la fermentation.

Au niveau des fèces, deux phases de traitement sont nécessaires avant leurs valorisations en agriculture à savoir l'ajout de la sciure de bois simultanément au cours de la production des fèces et la fermeture du bac. Pour une inactivation totale d'E. coli et les helminthes, Strauss et Blumenthal (1990) cités par OMS, (2012) ont suggéré qu'une année de stockage était suffisante en conditions tropicales (28–30 °C), mais qu'une durée de 18 mois serait nécessaire lorsque la température moyenne est plus basse (17–20 °C). Après la destruction des germes pathogènes par la déshydratation et/ou la décomposition, le compost qui en résulte peut être répandue sur le sol pour en augmenter le contenu en matière organique, améliorer la capacité de la nappe phréatique et augmenter la disponibilité en nutriments (Esrey et al., 1998). Ce facteur constitue un avantage pour les pays sahéliens à climat tropical. Le stockage est particulièrement bénéfique sous les climats secs et chauds qui donnent lieu à une dessiccation rapide de la matière, la faible teneur en humidité favorisant l'inactivation des agents pathogènes. La température aussi est un facteur très important pour l'inactivation des pathogènes dans les excréta.

1.4. Traitement hygiénique des excréta à travers le stockage

Les facteurs de destruction des pathogènes fécaux hors de l'organisation sont essentiellement la température, le pH, le temps, la dessiccation et la lumière (Hector et al., 2009) ; (voir annexe 5).

1.4.1. Traitement des urines

Pour traiter les urines, il est important à partir des toilettes ordinaires ou latrines de les recueillir dans un récipient de collecte (bidon). Ce bidon d'urine, une fois rempli est fermé hermétiquement et stocké pendant au moins 30 jours. Durant cette période de conservation, l'urée contenue dans l'urine est dissocié pour former l'ammonium/ammoniac ; cette réaction

s'accompagne d'un changement de pH (qui devient basique) permettant ainsi l'élimination des éventuels germes infectieux (Moussa, 2010). D'après Esray et al., (2001), la plus grande partie de l'azote contenue dans les urines initialement sous forme d'urée est rapidement transformée en ammoniac à l'intérieur d'un récipient de collecte et de stockage. Si le bidon rempli est conservé ouvert, l'élimination des germes sera moins efficace et on aura un produit de faible valeur agronomique car l'azote présent dans les urines sous la forme ammoniacale est volatile et susceptible d'être perdu au cours du traitement. Cependant, la quantité d'ammoniac perdue dans l'air peut être réduite par un stockage dans un réservoir couvert avec une ventilation restreinte. D'après Gonidanga et al., (2004), la déperdition de l'azote est faible lorsque les urines sont stockées dans des conditions anaérobies car dans les conditions aérobies, la teneur en azote subit des pertes d'environ 38% au bout des 45 jours de stockage.

Tableau 2: Durée de stockage des urines en fonction des pathogènes et les cultures recommandées

Température de stockage (°C)	Durée de stockage	Pathogènes potentiellement présents après stockage	Cultures recommandées
4	≥1 mois	Virus, protozoaires	Aliments et fourrages destinés à être transformés
4	≥6 mois	Virus	Aliments destinés à être transformés, fourrage
20	≥1 mois	Virus	Aliments destinés à être transformés, fourrage
20	≥6 mois	Probablement aucun	Tous types de cultures

Source : Jönsson et al., (2000) et Höglund, (2001) cités par Caroline et Thor, (2004-1)

1.4.2. Traitement des fèces

Les fèces sont traitées en deux phases pour permettre l'élimination des pathogènes efficacement. Le premier traitement survient simultanément au cours de la collecte et consiste à l'ajout de la sciure de bois après chaque défécation. Cela permet de diminuer les risques hygiéniques, d'odeurs, et de prolifération des mouches (Jönsson et al., 2004-2). Le second traitement commence après le remplissage du bac à fèces. Il consiste à démonter le bac rempli et le placer à l'écart tout en le remplaçant par un autre bac vide ou de fermer la latrine carrément tout en ouvrant une seconde latrine dans le cas où il existe plusieurs latrines dans la

même cours. Le bac plein est laissé pendant 8 à 12 mois durant lesquels les organismes pathogènes finissent par mourir suite aux conditions de température élevées régnant dans la fosse et à la diminution de l'eau dans les fèces appuyée par la présence de la sciure de bois qui rend le milieu basique non favorable à la vie des pathogènes (Hector et al., 2009). Après ce second traitement, les fèces deviennent hygiéniquement saines, inodores et utilisables en agriculture sans risque pour les cultures et les consommateurs. Ainsi selon Adissoda et al., (2004), la matière fécale ne contient plus de germes pathogènes après une année de stockage et séchage dans la fosse.

Tableau 3: traitement primaire (et secondaire) recommandés des fèces sèches avant utilisation (Caroline et Thor, 2004-1 et OMS, 2012)

Traitement	Critères	Commentaires
Stockage – température entre 20° et 35°C	Durée > 1 an	Elimine la plupart des bactéries. Recroissance de E. coli et Salmonella non prise en considération si réhumidifié ; réduit substantiellement les virus, protozoaires et parasites. Quelques œufs peuvent résister.
Traitement alcalin	pH > 9 durée > 6 mois	Température >35 °C et/ou humidité <25 %. Délai d'élimination prolongé en cas de pH plus bas et/ou d'humidité plus élevée.
Compostage	Température >50 °C pendant plus d'une semaine	Exigence minimale. Délai plus long nécessaire si la température spécifiée ne peut pas être assurée.
Incinération	Incinération complète (<10 % de carbone dans les cendres)	

1.5. Cadre de l'étude

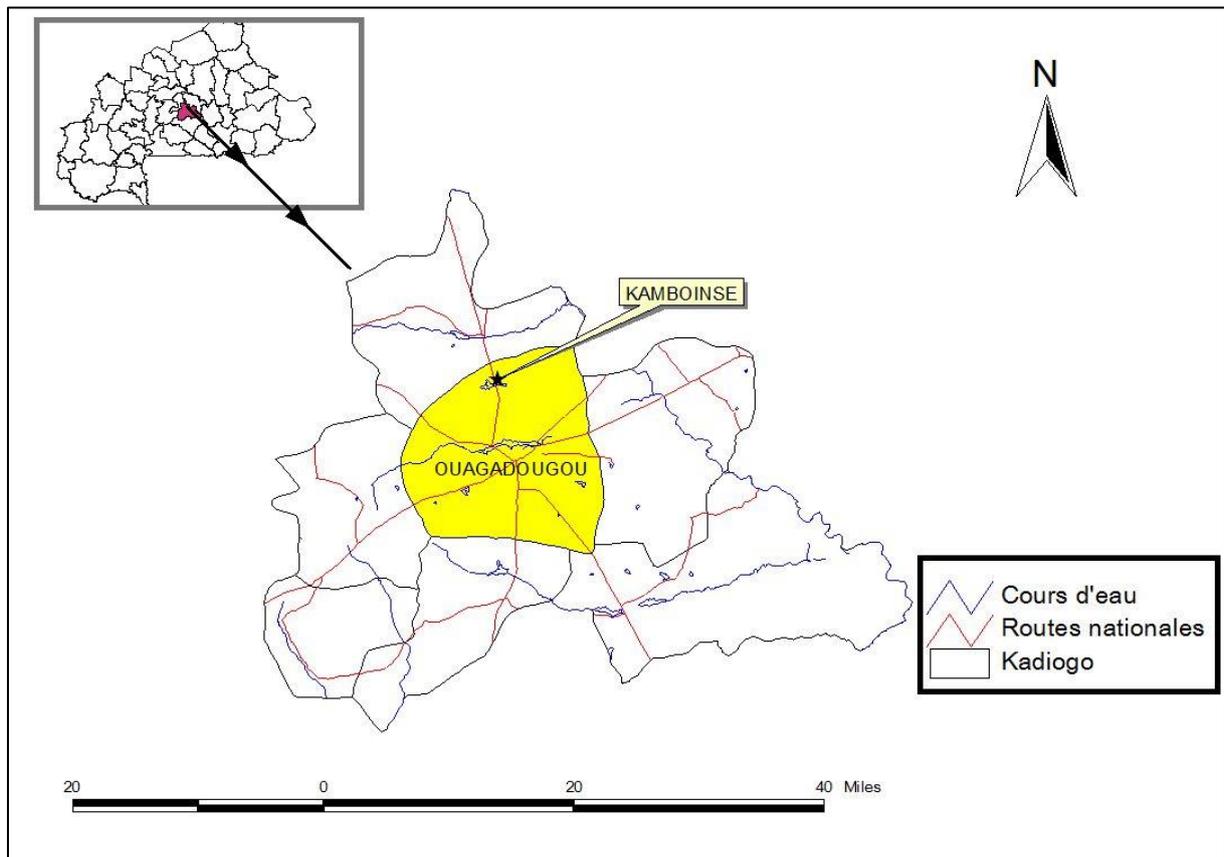


Figure 3: localisation de Ouagadougou dans la Province de Kadiogo

L'étude a été menée sur le site de l'Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) situé dans un milieu péri-urbain, plus précisément à Kamboinsé (voir figure 3). Kamboinsé est un secteur de Ouagadougou situé dans la commune de Sig-Noghin au Nord et à 9 km environ par rapport à la ville de Ouagadougou. La ville de Ouagadougou est située au cœur du Burkina Faso à la longitude Ouest 1°28 à 1°36 et à la latitude Nord 12°20 à 12°26, dans une zone appelée Plateau Central (province du Kadiogo), (Sou, 2009). La superficie de la province Kadiogo est de 2 869 km² (INSD, 2007). La population de la ville de Ouagadougou est estimée à 1 066 082 habitants (INSD, 2007). Celle de Kamboinsé est de 9827 habitants en majorité péri-urbaine avec un nombre de ménages s'élevant à 1795 et 5 comme nombre moyen de personnes par ménage (Enquête socio-économique, 2011).

L'agriculture, l'élevage et le commerce sont les principales activités économiques des habitants de la ville. L'agriculture est dominée par des cultures céréalières comme le mil, le sorgho et le maïs et est confrontée également à l'insuffisance de terres cultivables due à

l'expansion démographique de la ville, l'irrégularité des pluies et la baisse de fertilités des sols. Quant à l'élevage, il est de type intensif et occupe 25% de la population. Les espèces rencontrées sont les bovins, les ovins, les caprins et la volaille.

Le climat de Ouagadougou est tropical de type soudano-sahélien avec deux saisons dans l'année : une saison sèche qui dure de la mi-octobre à la mi-mai et une saison pluvieuse de la mi-mai à la mi-octobre. La saison sèche est la saison la plus longue et est dominée par les vents secs d'harmattan. La hauteur des précipitations annuelles est rarement supérieure à 800 mm par an. La température moyenne est de 24,2°C (INSD, 2007).

La ville de Ouagadougou repose sur des sols peu profonds et pauvres en éléments nutritifs. Ces sols sont essentiellement ferrugineux, de type latéritique reposant sur une grande masse de granites fissurés. Ils sont très riches en oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse ce qui leur donne une couleur rougeâtre. Ces sols se caractérisent aussi par leur faible teneur en potassium, phosphore et une structure fragile très sensible à l'érosion (Ariste et al., 2009).

Le relief est celui du plateau mossi, caractérisé par un ensemble de terrains plats qui descendent en pente douce du Sud vers le Nord et par une absence de points élevés (Ariste et al., 2009).

La végétation est dominée par une savane herbacée avec quelques arbres parsemés par endroit du fait de son exploitation accrue pour les besoins en énergie domestique.

Sur le plan hydraulique, la commune urbaine de Ouagadougou est située dans le bassin versant du Massili. La ville est traversée par quatre marigots du Sud vers le Nord : le marigot central ou de (Paspanga), le marigot de Zogona aménagés en canal, le marigot du Mooro Naaba (ou du Kadiogo) dont seulement un tronçon est aménagé en canal et celui de Wentenga (ou de Dassasgo) (Ariste et al., 2009).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II. Méthodologie

2.1. Collecte des sous-produits : urines et compost à base des fèces humaines

Pour la production des fertilisants, six familles ont été choisies pour l'installation des douches et toilettes à compost. Elles sont placées dans un milieu rural (Ziniaré) et péri-urbain (Kamboinsé). Les ménages sont composés de 6 à 10 personnes. Par mois, 2 bidons de 50 litres d'urines et 1 bac de compost à base de fèces correspondant à 2 seaux de 25 litres sont fournis par famille.

2.2. Description du dispositif expérimental

Le dispositif utilisé pour l'expérimentation relative à l'utilisation des sous-produits de l'assainissement écologique comme fertilisant pour amender les plantes du gombo et la courgette est celui en bloc randomisé disposé suivant 3 lignes (voir figure n° 4). Le sol a été travaillé manuellement à l'avance ; les opérations effectuées sont : un dessouchage, un labour et un binage. Le semis a été effectué en creusant 6 petits trous (poquets) superficiels espacés de 40 cm sur des rangées éloignées de 70 cm par plot¹. Les poquets ont été alternés de manière à éviter que les plantes se gênent lors de leur croissance. Nous avons utilisé 25,20 m² à 16,80 m² de parcelles suivant les cultures, disposées suivants 3 blocs et séparées de sorte qu'on ait 3 répétitions pour chaque fertilisant. Cela nous permettra d'avoir une base de comparaison entre les différents fertilisants utilisés à savoir :

- Le témoin (T), c'est-à-dire sans fertilisant ;
- Le compost à base de fèces hygiénisé (C) : 2 kg/4.2 m² soit 14285,7 kg/ha ;
- L'urine (U) (dilution 1:2) : 500 ml d'urine + 1 litre d'eau par poquet soient 3 litres d'urine + 6 litres d'eau par parcelle à chaque apport soit 21428 litres d'urine/ha et 42857 litres d'eau/ha ;
- Le compost + l'urine (C+U) : 2 kg de compost avant le semi et 500 ml d'urine mélangé avec 1 litre d'eau à partir de la troisième semaine du semi ;
- Le NPK : 1 kg par parcelle ;
- L'urine + cendre (U+Ce) : 4 g de cendre par poquet soient 24 g par parcelle et 500 ml d'urine diluée à l'eau.

¹ Plot signifie parcelle

Les superficies des parcelles élémentaires étaient de 25,20 m², soit 4,2 m x 6 m pour le Gombo et 16,80 m², soit 4,2 m x 4 m pour la courgette. Chaque parcelle élémentaire était constituée de 3 lignes et sur chaque ligne, 5 à 6 parcelles ont été mis en place pour la courgette et le gombo respectivement, soient 15 parcelles pour la courgette et 18 parcelles pour le gombo. Au niveau de la courgette nous n'avons pas utilisé la cendre, raison pour laquelle on a 15 parcelles. Ainsi la superficie totale de la parcelle élémentaire était de 42 m² comprenant 33 parcelles pour les deux cultures (Gombo et Courgette). Les parcelles ont une dimension de 1,4 m de longueur par 1m de largeur pour le Gombo et 1,4 m de longueur par 0,8 m de largeur pour la Courgette. Les largeurs des parcelles sont choisies en tenant compte de la saison et de la taille des plantes à maturité.

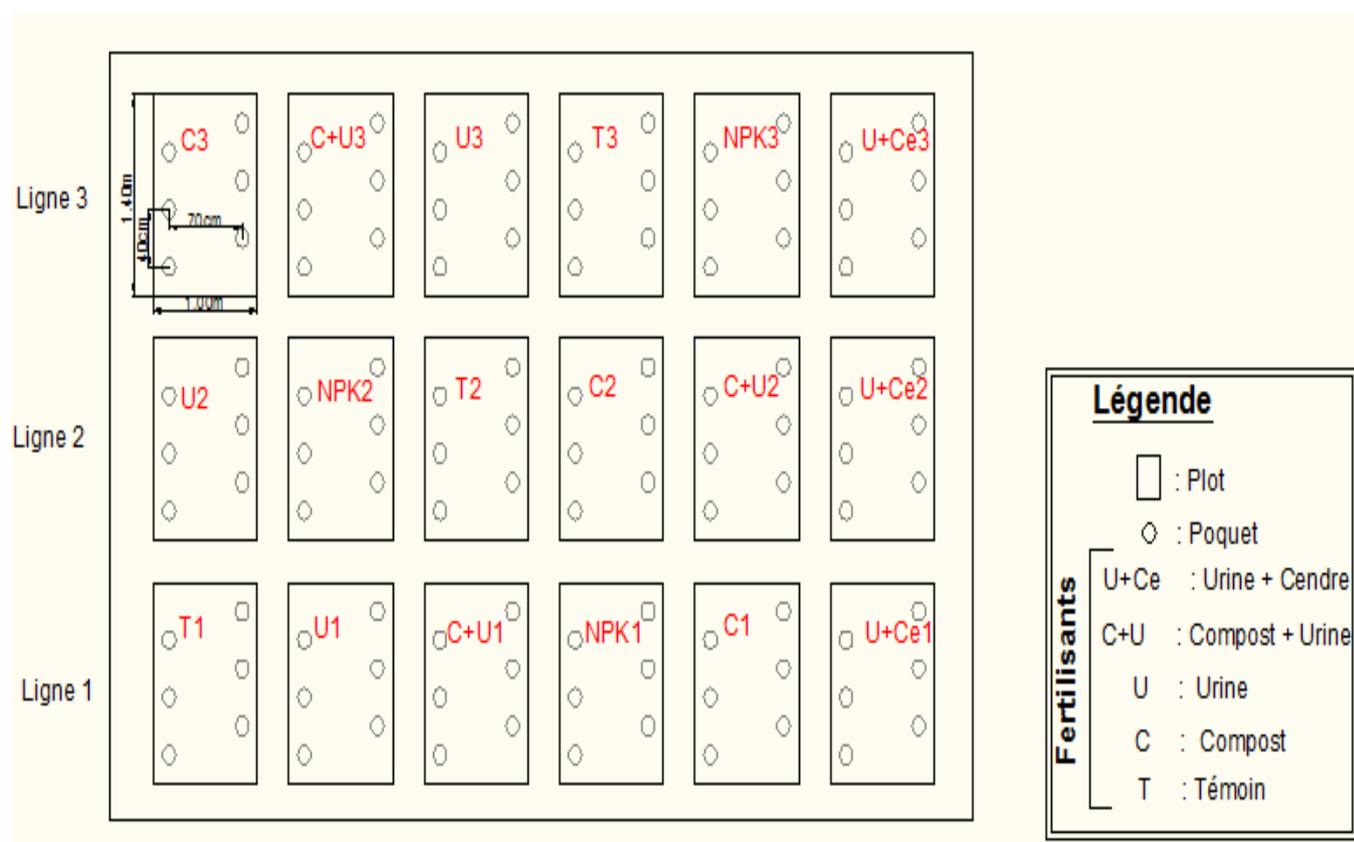


Figure 4: dispositif expérimental utilisé pour l'application des fertilisants sur les plantes

Dans le cadre de la recherche, ce même dispositif expérimental est maintenu pour trois répétitions successives sur les mêmes sols avec d'autres cultures afin d'avoir un degré de fertilité élevé.

2.3. Description des traitements

Les fertilisants sont collectés comme suite :

- Le NPK est mis dans des sachets par kg ;
- La cendre est mesurée à l'aide du tube conique de 45 ml ;
- Les mêmes bidons de 20 litres remplis d'urines et stockés par la famille pilote sont transportés sur le terrain et sont remplacés par d'autres bidons vides ;
- Les bacs à compost sont vidés dans des sacs pour leur transport au champ.



Figure 5: collecte des fertilisants

Les urines ont été appliquées 21 Jours Après Semis (JAS), par dilution à l'eau dans une bouteille de 1,5 litre par plant pour les deux cultures. La bouteille est remplie avec 0,5 litre d'urine diluée dans 1 litre d'eau pour chaque poquet, soit 6 bouteilles par parcelle. On recommence 30 jours après la première application avec la même quantité d'urine et la même dilution. Le mélange d'urine à l'eau permet sa pénétration rapide dans le sol, éviter la volatilisation de l'Azote (N) et également de brûler les feuilles des plantes. Avant d'appliquer nous avons d'abord creusé un petit trou circulaire autour des plantes permettant de retenir l'eau sous la plante. L'application doit être proche du sol pour faciliter l'incorporation de l'urine dans le sol et l'empêcher d'être versée sur les feuilles des plantes.



Figure 6: technique d'application de l'urine

Concernant le compost, deux (2) kilogrammes sont pesés et mis dans des sachets noirs pour l'épandage dans les parcelles. Chaque parcelle reçoit 2 kg de compost avant le binage et le semis des grains. Quant au NPK, 1 kg est utilisé par parcelle avant le binage et le semis des grains également comme pour le cas du compost. Avant l'application de la cendre, on creuse un petit trou autour du plant dans lequel on la verse et la mélange avec le sol.

Tableau 4: périodes et doses d'application des sous-produits de l'assainissement

Périodes d'application		Gombo	Courgette
Urine	21 jours après semis	0,5 litre/poquet	0,5 litre/poquet
	30 jours après la 1 ^{ère} application	0,5 litre/poquet	0,5 litre/poquet
Cendre	7 jours après la 1 ^{ère} application de l'urine	4 g/poquet	4 g/poquet
Compost	Avant semis	2 kg/parcelle	2kg/parcelle

Nous avons appliqué par parcelle, 2 kg de compost et 3 litres d'urine. Ainsi en tenant compte des données du tableau n°5 ci-après, on constate que seulement 0,15 kg de N suffit pour nos parcelles de 25,2 m² car pour 1 ha de maïs, il faut 60 kg d'azote.

Tableau 5: composition chimique des excréta utilisées

Traitement	Volume	Fréquences	Total N	Total P	Total K	Besoins du maïs/ha
Urine	3litres/parcelle	2	5,4 g/l pour 2 apports	0,56 g/l pour 2 apports	0,48 g/l pour 2 apports	60 kg de N
Compost	2 kg/parcelle	1	54,7 g/kg	29,8 g/kg	24,6 g/kg	

2.4. Paramètres de suivi

Les cultures utilisées étaient le gombo (*Abelmoschus esculentus*) et la courgette (*Cucurbita pepo*). Le gombo a été cultivé pendant la saison pluvieuse et la courgette en saison sèche. Le Gombo utilisé est une variété japonaise (TOKITA) et la Courgette, celle de la variété du Burkina, celle utilisée par les maraîchers des principaux sites du milieu urbain. Ces cultures ont été choisies d'abord parce qu'elles sont consommées par les familles pilotes et en général dans toutes les régions du Burkina Faso. Elles font partie donc des légumes les plus préférés des populations et sont parmi les plus répandus dans les exploitations maraîchères de Ouagadougou pour l'autoconsommation. On trouve aussi ces légumes dans tous les marchés de la ville de Ouagadougou. Ils sont donc générateurs d'activités commerciales pour les cultivateurs qui s'en servent souvent pour augmenter le revenu familial. Le choix de ces légumes est dû aussi à leur évolution facile dans les conditions climatiques (tropicales) de la zone d'étude.

2.4.1. Semis

Après le binage et le mixage des fertilisants, cinq (5) graines de chaque culture (Gombo et Courgette) ont été semé à la main directement dans des poquets.

2.4.2. Méthodes d'irrigation

Pendant la sèche, les courgettes ont été arrosées avec l'eau du robinet. Les gombos étant semés pendant la saison pluvieuse, sont arrosés par l'eau de la pluie et rarement avec l'eau du robinet, les jours où il ne pleut pas.

2.4.3. Entretien

L'entretien des plantes a été fait 30 JAS par sarclage. Le nombre des plants a été réduit à deux (2) par poquet, soit en tout 12 plants par parcelle à partir du 30^{ème} JAS.

2.4.4. Observations et mesures

Toutes les observations et les mesures ont été faites sur un échantillon de 18 parcelles pour le gombo et 15 parcelles pour la courgette. Les paramètres agronomiques qui ont faits l'objet de mesures ou d'observations sont les suivants :

❖ Hauteur des plantes par parcelle

La mesure de la hauteur a été effectuée à partir du 14^{ème} JAS et a été suivie à chaque deux (2) semaines jusqu'à la récolte des fruits. Pour la mesure on choisit la tige la plus longue et on place le mètre suivant sa longueur jusqu'à son extrémité supérieur où commence le limbe.

❖ **Rendement en fruits par fertilisant**

Après la récolte, les fruits ont été pesés en gramme un à un par type de fertilisant pour la détermination du rendement de deux cultures utilisées. Après pesage des fruits frais par fertilisant, cinq (5) fruits sont choisis de taille moyenne et mis dans une enveloppe pour être séchés et repesés encore. Le rendement pour la culture du gombo a représenté 2 récoltes et celui de la culture de la courgette 3 récoltes.

❖ **Nombre de fruits récoltés par fertilisant**

Le nombre de fruits par poquet est déterminé au stade de maturité après la récolte. Le nombre est déterminé après le pesage des fruits un à un par fertilisant.

❖ **Poids des feuilles par fertilisant**

Après la récolte, nous avons choisi au hasard trois poquets par parcelle et coupé les feuilles de ses plantes jusqu'à l'extrémité des tiges que nous avons ensuite pesé en sachet puis dans des enveloppes, nous avons mis une petite quantité de feuilles pour les peser au frais et repeser après séchage.

❖ **Poids des tiges par fertilisant**

Le poids des tiges a été déterminé après la récolte et consiste à peser dans une enveloppe le poids des tiges qui ont été choisies au hasard et découpées en petits morceaux avant et après séchage.

2.4.5. Récoltes des fruits

Les récoltes ont été effectuées à deux reprises pour le gombo et trois pour la courgette : la première a été faite 61 jours après semis, la seconde 14 jours après la première récolte des fruits et la troisième 14 jours aussi après la seconde.

Après les fruits, nous avons choisi trois plantes dans chaque parcelle au hasard auxquelles nous avons collecté les feuilles, les tiges jusqu'aux sols pour les analyses au laboratoire. Sur le terrain les échantillons sont collectés dans des sachets marqués au feutre pour éviter qu'ils ne se mélangent au cours de leur transport au laboratoire.

2.4.6. Analyse des échantillons des plantes et sols au laboratoire

Au laboratoire, les fruits, les feuilles et les tiges ont été pesées à l'état frais puis sec après séchage dans une étuve à 105°C avant d'être découpées en petits morceaux pour faciliter les

analyses microbiologiques. Après avoir pesé à la balance de précisions (AND GH-120) et mesuré la longueur des fruits frais par le mètre ruban, nous avons choisi cinq (5) fruits pour chaque fertilisant de taille moyenne et avons mis dans une enveloppe pour séchage dans l'étuve à 105°C afin de les repeser ensuite secs et avoir un poids réel sans eau.

Les prélèvements de sols en fin d'expérimentation ont été effectués dans les poquets après avoir coupé les plantes. Ainsi pour l'analyse du pH et la conductivité électrique (CE), quatre (4) grammes de sols pour chaque fertilisant ont été pesés à la balance électrique et mis dans des tubes coniques. 10 ml d'eau distillée ont été ajoutés aux 4 g de sol afin d'obtenir une dilution 1 :2,5. La solution a été ensuite agitée pendant 30 mn avant la mesure du pH à l'aide du pH-mètre électrique WTW. Ensuite 10 ml ont été ajoutés encore à la solution précédente (dilution 1 :5) pour la mesure de la CE avec le conductimètre électrique WTW.

La matière organique des sols a été déterminée en prélevant les sols dans des creusets et les placer dans l'étuve à 105°C puis dans le four pendant 3 heures à 500°C. Les sols ont été pesés à chaque étape c'est-à-dire à l'état humide d'abord, ensuite après passage dans l'étuve et en fin après le four.

Tableau 6: paramètres mesurés et matériels utilisés

Paramètres	Matériels utilisés
pH	Multi-paramètre WTW 340i
Conductivité électrique (CE)	
Matière organique	Etuve et Four

2.4.7. Traitement et analyse des données

La carte présentée a été réalisée à l'aide du logiciel ArcView GIS 3.2 et la figure représentant le dispositif expérimental à l'aide du logiciel AutoCAD 2010.

Les données brutes sont stockées dans MS Excel 2010 pour l'analyse statistique et la production des graphiques. Toutes les analyses statistiques ont été analysées à l'aide du logiciel R version 2.15.1. Les effets significatifs des différents traitements sur les paramètres agronomiques et des sols cultivés ont été étudiés à l'aide d'un test ANOVA suivi de test de Tukey ($\alpha = 0,05$).

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce chapitre, les principaux résultats sont présentés et discutés.

3.1. Résultats

- **Date de germination**

Les graines ont commencé à pousser après trois à quatre jours du semis pour tous les traitements y compris le témoin.

- **Date de la floraison**

Nous avons commencé à observer les fruits à partir de la sixième semaine seulement pour les plantes qui ont été fertilisées.

3.1.1. Culture du gombo pendant la saison pluvieuse



Figure 7: plantes et fruits du gombo

3.1.1.1. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été suivie chaque 2 semaines à partir du 14^{ème} JAS jusqu'à la récolte des fruits. Dans la première période de mesure, les résultats obtenus qui sont illustrés sur la figure n° 8, montrent que la croissance a commencé de façon homogène dans tous les traitements. La longueur des plants varie de 10 à 15 cm, il n'y a pas des différences significatives. Dans la deuxième période de mesure (39 JAS), la croissance devient hétérogène avec une longueur variant entre 20 à 40 cm. la différence devient importante pour les plantes qui ont été fertilisées qui s'éloignent largement des celles du témoin. Enfin dans la troisième période de mesure (61 JAS), l'analyse de variance révèle une différence significative entre la taille des plantes avec environ 56 cm de différence entre la hauteur des

plantes fertilisées par rapport au témoin. Les plantes fertilisées avec le mixte du compost et l'urine sont devenues les plus élancées d'une taille d'environ 100 cm. Les plus courtes plantes sont celles du témoin avec 45 cm de taille contre 80 cm à peu près pour les 4 autres fertilisants (compost, urine, cendre et NPK).

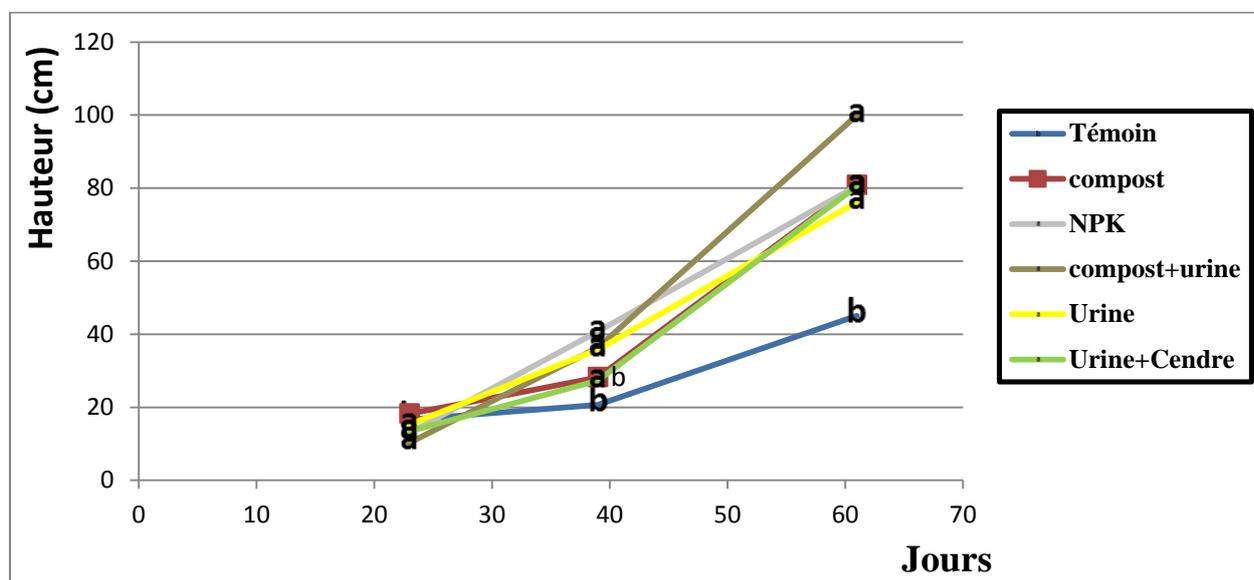


Figure 8: hauteur des plantes du gombo

3.1.1.2. Rendement de la culture du gombo

Le rendement des plantes du gombo obtenu après la récolte et le pesage des fruits de chacune des 18 parcelles élémentaires est présenté sur les figures n° 9 et 10. Nous avons effectué deux récoltes sur les mêmes plantes en fonction des différents fertilisants. L'observation des figures n°9 et 10 nous montre un rendement au niveau des plantes traitées avec les excréta humains supérieur à celui du témoin et comparable à celui de l'engrais chimique avec une valeur totale pour le mixte compost-urine de 123 fruits pour un rendement de poids de 3106 g supérieure par rapport aux autres, suivant les deux récoltes. L'analyse générale des figures montre qu'à la première récolte le nombre de fruits est compris entre 60 à 86 pour les plantes qui ont été fertilisées contre 36 fruits pour le témoin et un poids compris entre 1400 à 2155 g pour les plantes qui ont été fertilisées contre seulement 644 g pour le témoin. A la deuxième récolte, l'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence significative au niveau du nombre et du poids des fruits. Le nombre de fruits varie entre 22 à 53 pour les plantes traitées avec les excréta et le NPK et un poids compris entre 523 à 1162 g contre 11 fruits et un poids de 209 g pour le témoin. Par ailleurs, nous avons les rendements les plus élevés à la 1^{ère} récolte qu'à la 2^{ème} récolte avec une différence significative entre les plantes traitées avec les différents fertilisants et celles du témoin.

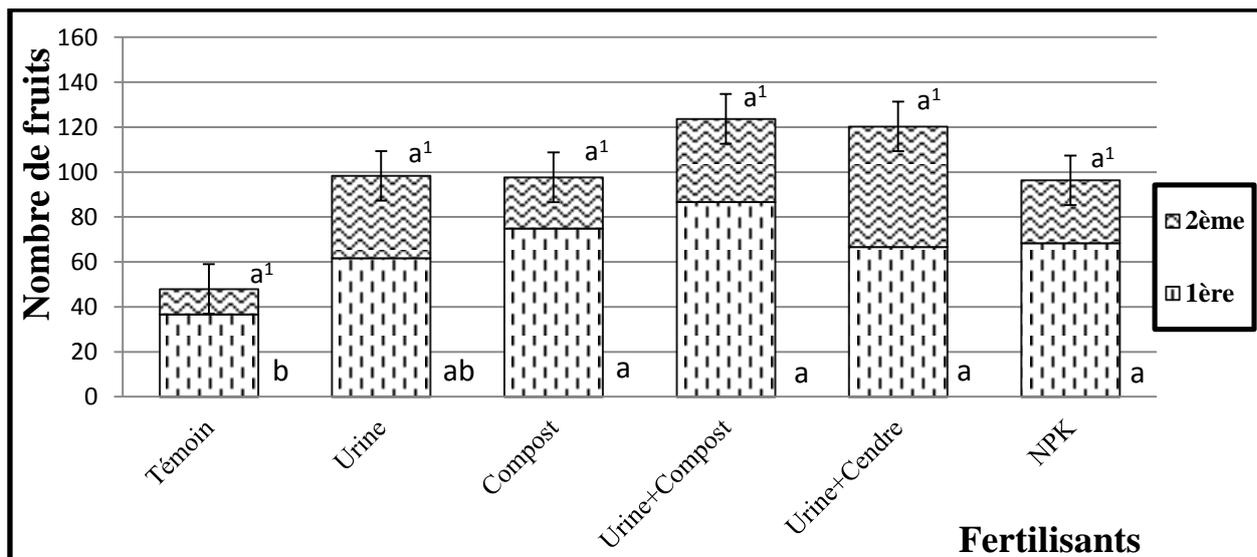


Figure 9: nombre de fruits récoltés pour le gombo

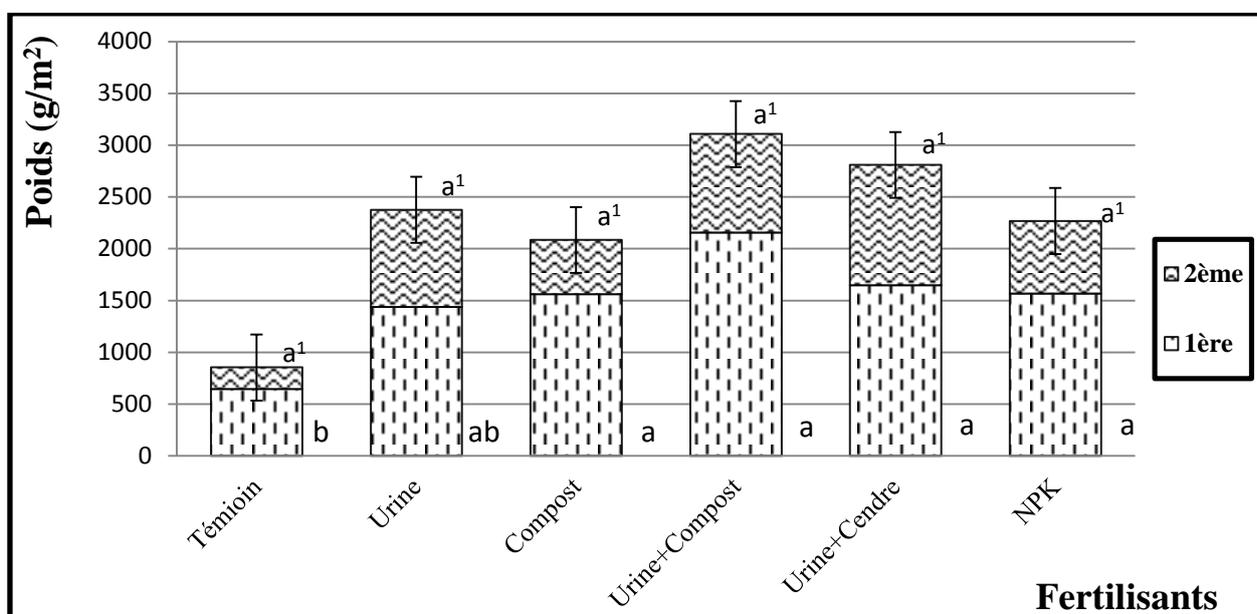


Figure 10: poids des fruits frais du gombo

3.1.1.3. Poids des tiges et feuilles du gombo

Les figures n°11 et 12 présentent respectivement le poids des tiges et feuilles fraîches et sèches des trois plantes qui ont été coupées pour les analyses. L'analyse des figures 11 et 12 nous montre en général que les plantes qui ont été fertilisées avec les excréta humains ont un poids dans les deux cas (tiges et feuilles) supérieur à celui du NPK et du témoin. Au niveau des tiges, l'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p < 0.05$) entre les valeurs obtenues par les combinaisons compost-urine et cendre-urine. Par contre il y'a une différence significative entre ces valeurs et celles des fertilisants qui n'ont pas été mélangés. Pour le mixte compost-urine les valeurs atteignent jusqu'à 1580 g et 650 g dans le

cas des tiges et feuilles fraîches et 460 g et 180 g pour les tiges et feuilles sèches respectivement. Les valeurs sont d'environ 937 à 670 g et 260 à 190 g pour le tiges-feuilles fraîches et sèches respectivement concernant les autres fertilisants à l'exception du mixte cendre-urine qui a donné un poids qui équivaut à 1200 g pour les tiges fraîches et 330 g les tiges sèches. Toutes les valeurs pour ces deux paramètres sont supérieures à celles des plantes du témoin qui ont donné une valeur de 360 g pour les tiges et feuilles fraîches et 104 et 93 g pour les feuilles sèches et tiges sèches respectivement.

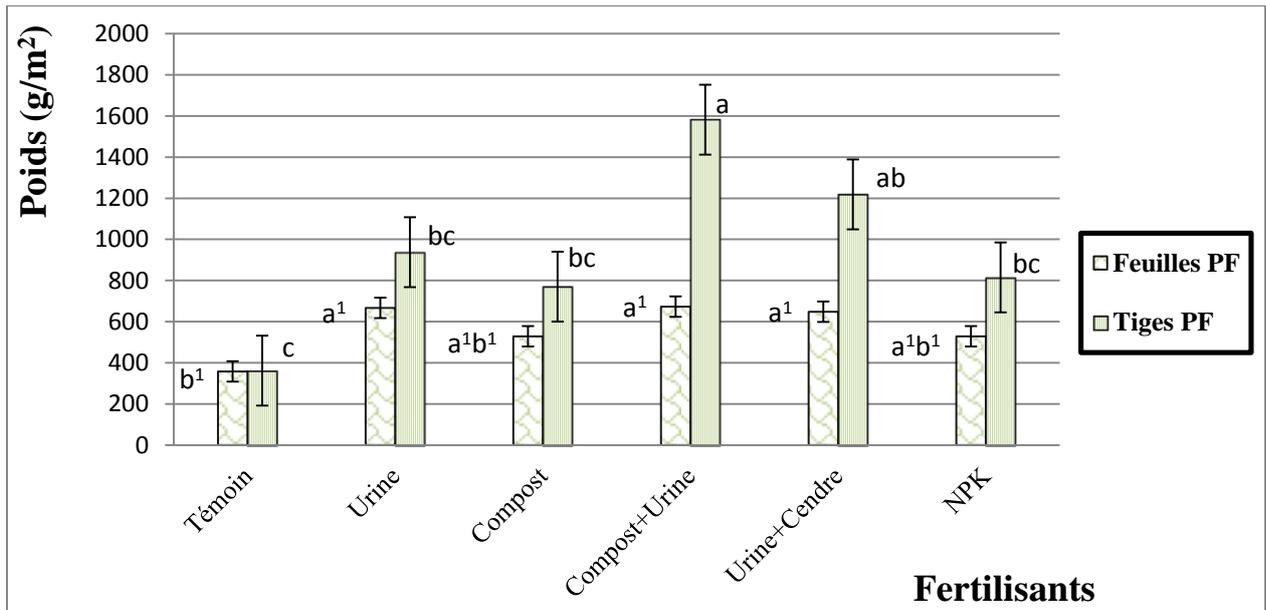


Figure 11: poids des tiges et feuilles fraîches de trois plantes coupées du gombo

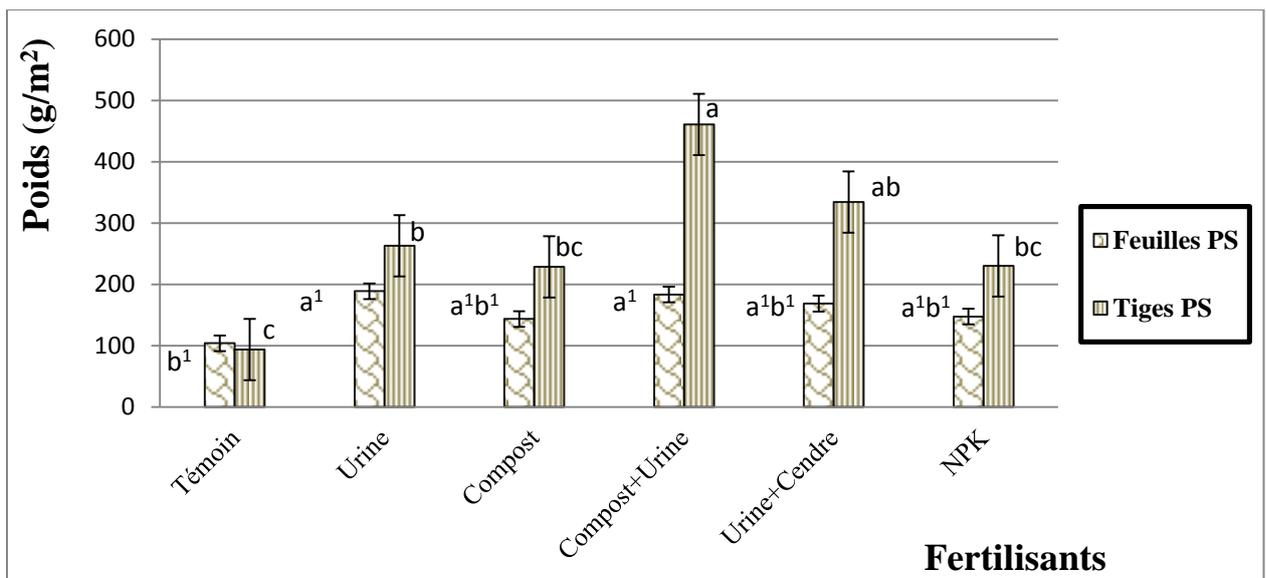


Figure 12: poids des tiges et feuilles sèches de trois plantes coupées du gombo

3.1.1.4. La biomasse totale du gombo

Les figures n°13 et 14 présentent les poids de la biomasse fraîche et sèche. Au niveau de la biomasse fraîche, le mixte compost-urine présente la valeur la plus élevée en poids contre celle du témoin présentant la plus faible. Pour les fruits, les valeurs du poids des plantes traitées sont comprises entre 2000 à 3100 g contre 850 g pour le témoin ; les feuilles des plantes traitées présentent un poids compris entre 500 à 670 g contre 350 pour celles du témoin et les tiges pèsent 770 à 1580 g pour les plantes traitées avec les différents fertilisants contre 360 g pour le témoin. Pour la biomasse sèche, le poids représente 100 g pour les feuilles sèches du témoin et compris entre 147 à 188 g pour les plantes traitées. Pour les tiges sèches le poids des plantes traitées varie entre 230 à 460 g contre 93 pour le témoin. Concernant les fruits des plantes traitées, la valeur de leur poids est comprise entre 11 à 30 g et seulement 3,5 g pour le témoin. Dans l'ensemble, les faibles valeurs sont enregistrées au niveau du témoin.

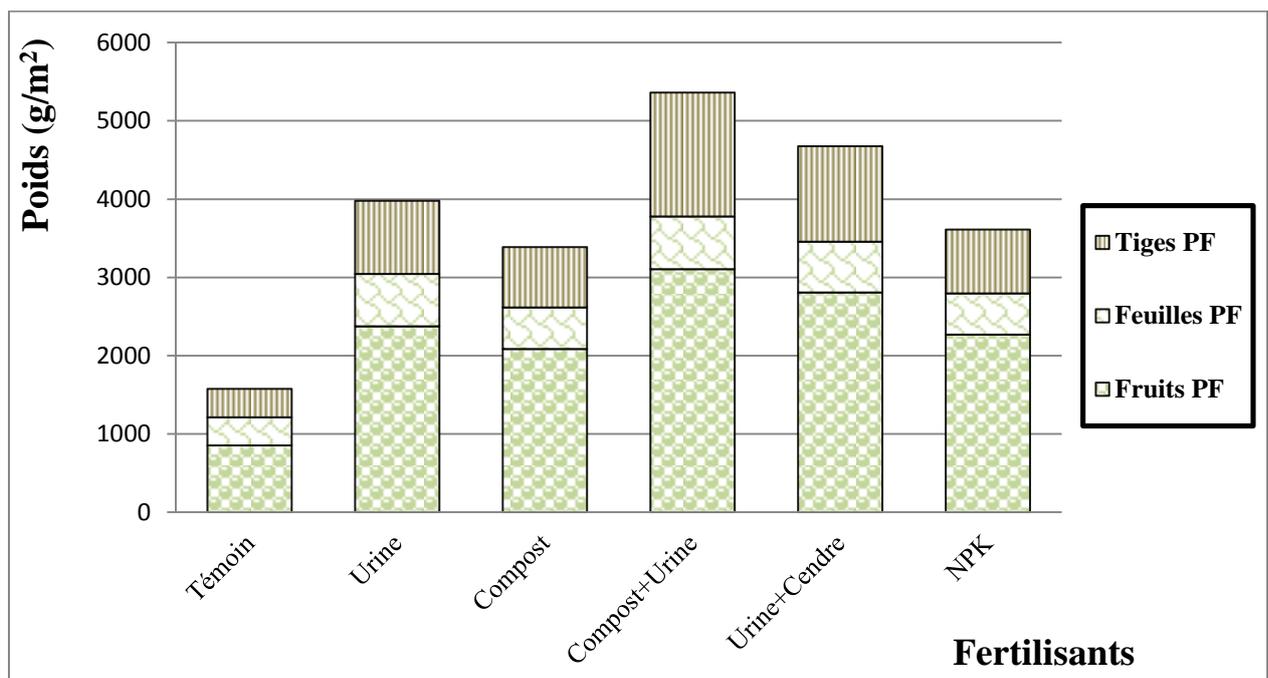


Figure 13: biomasse fraîche de la culture du gombo

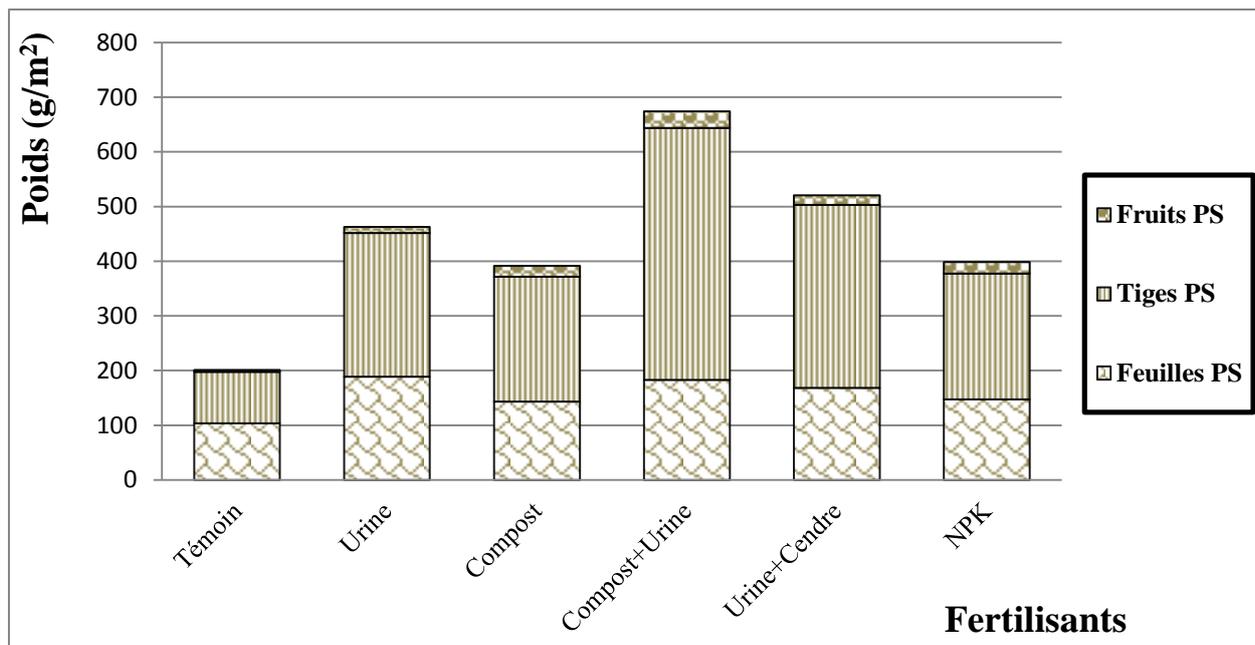


Figure 14: biomasse sèche de la culture du gombo

3.1.1.5. Paramètres des sols après la récolte du gombo

Pour évaluer les sols, nous avons mesuré le taux de matière organique, le pH et la conductivité électrique. Les résultats sont présentés dans le tableau n°7 ci-dessous. La valeur du pH des sols dans le cas du gombo est généralement acide et varie entre 5 et 6. Les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre 160 à 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La matière organique est caractérisée par une couche de surface humifère avec des valeurs comprises entre 15,9 à 20,9 mg/g-sol. L'analyse de variance ne montre pas une différence significative entre les valeurs.

Tableau 7: paramètres physico-chimiques des sols après la récolte des gombos

	Témoin	Compost	Compost+Urine	Urine	NPK	Cendre+Urine
Matière Organique [mg/g-sols]	15,9±1,9a	19,7±0,4a	18,2±1,9a	19,7±4,0a	16,6±1,9a	20,9±1,5a
pH (1 : 2.5)	5,9±0,8a	6,0±0,3a	5,8±0,1a	5,7±0,3a	5,0±0,6a	5,6±0,2a
CE (1 : 5) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	289±204a	540±606a	247±9a	160±55a	241±15a	196±51a

3.1.2. Culture de la courgette pendant la saison sèche

La courgette est une culture qui peut être semée pendant les deux saisons du Burkina. Elle ne supporte pas de grosses pluies et exige beaucoup de chaleur, raison pour laquelle elle a été semée en saison sèche.



Figure 15: plantes et fruits de la courgette

3.1.2.1. Rendement de la courgette

Les figures n° 16 et 17 présentent les rendements obtenus pour la courgette, représentant trois récoltes sur les mêmes plantes en fonction des différents fertilisants. A la première récolte, concernant le poids et le nombre des fruits, on remarque que seuls les plantes traitées avec l'urine, le compost et la combinaison urine avec le compost ont donné de résultats significatifs. Aucun fruit n'a été récolté au niveau du témoin et du fertilisant NPK. En effet les excréta humains ont permis d'obtenir respectivement pour le mélange compost-urine, un nombre moyen de fruits équivalent à 4 ; 3,66 et 3,33 pour les trois récoltes et un poids total de 8 kg. Pour le compost et l'urine nous avons respectivement un nombre moyen de fruits équivalent à 7 et 7,33 pour un poids total de 3,8 kg et 6 kg et seulement 4,3 et 5,6 fruits correspondant au témoin et le NPK pour un poids total de 1,7 kg et 2,4 kg respectivement.

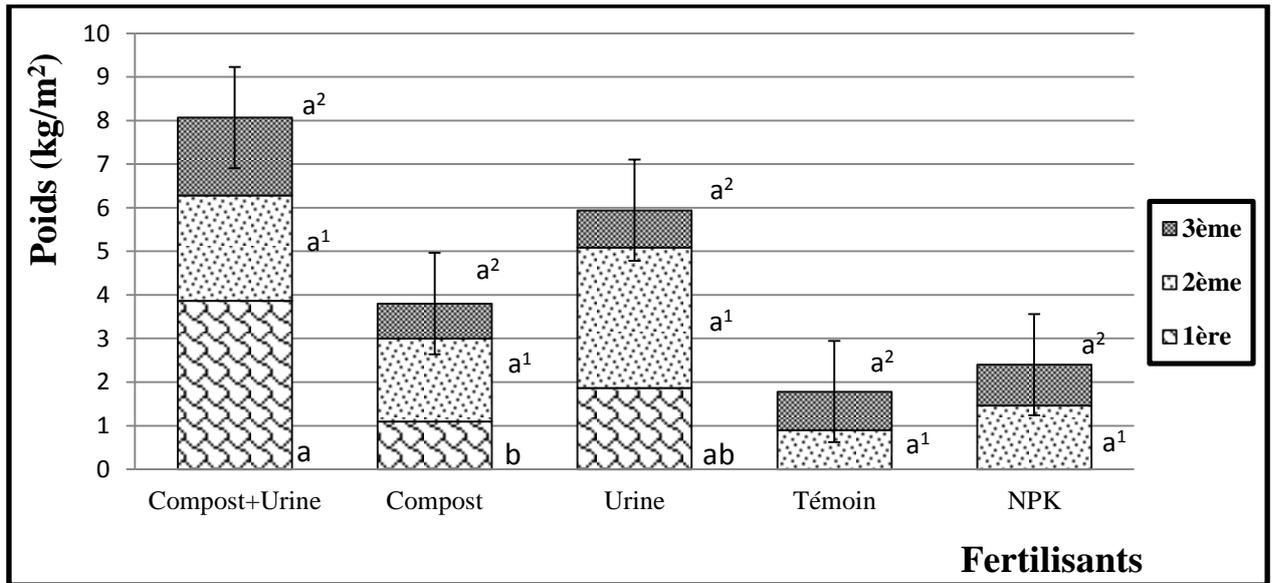


Figure 16: poids des fruits de la courgette

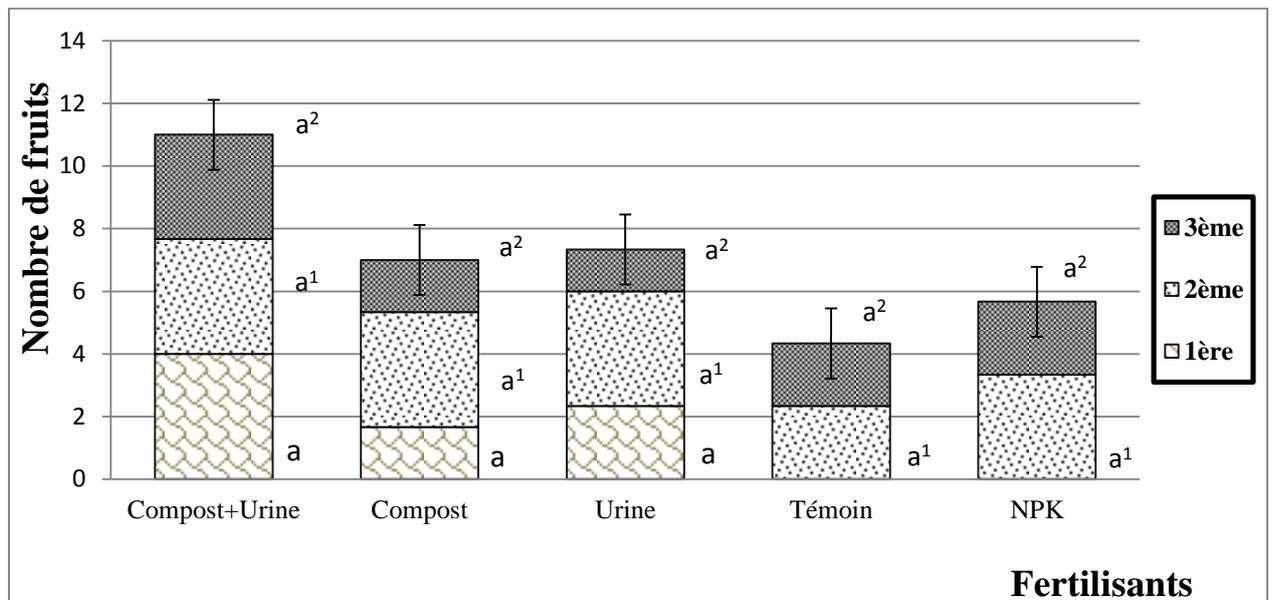


Figure 17: nombre de fruits récoltés pour la courgette

3.1.2.2. Poids des tiges et feuilles de la courgette

La figure n° 18 présente la valeur moyenne du poids des feuilles et tiges des 3 plantes qui ont été coupées pour les analyses. L'analyse de variance montre une différence significative entre le poids des feuilles et tiges des plantes qui ont été fertilisées avec les sous-produits de l'assainissement écologique par rapport à celui du témoin et du NPK. Les excréta humains ont permis d'obtenir un poids moyen largement supérieur par rapport à celui du NPK et du témoin avec une valeur comprise entre 1300 à 1700 g pour les excréta humains contre 800 et 600 g respectivement pour le témoin et le NPK dans le cas des tiges. Au niveau des feuilles on

observe le même cas avec une valeur moyenne élevée pour le compost suivie de celles du mixte compost-urine et de l'urine, toutes supérieures à celles du témoin et du NPK.

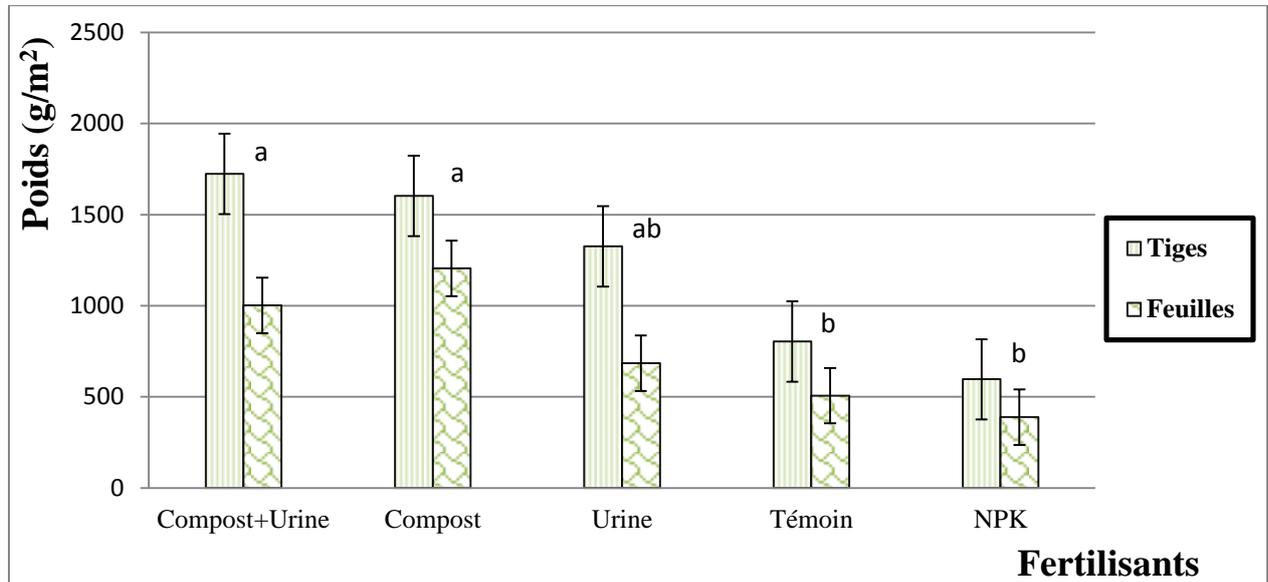


Figure 18: poids des tiges et feuilles fraîches des trois plantes coupées de la courgette

3.1.2.3. La biomasse totale de la courgette

La figure n°19 présente les résultats cumulés des parties aériennes des plantes à savoir les fruits, les feuilles et les tiges. L'analyse montre ici aussi qu'il y a un grand écart entre les plantes qui ont été fertilisées par les sous-produits de l'assainissement écologique par rapport à celles du témoin et du NPK. Au niveau des fruits, les valeurs pour les plantes traitées sont comprises entre 2,4 à 8 kg contre 1,7 kg pour celles du témoin. Le poids des feuilles pesées est compris entre 0,7 à 1,2 kg pour les plantes traitées avec les excréta humains hygiénisés et le NPK contre 0,5 kg pour le témoin et concernant les tiges, on observe le même cas avec toujours une valeur inférieure pour le témoin contre un poids supérieur au niveau des plantes traitées avec les excréta humains hygiénisés.

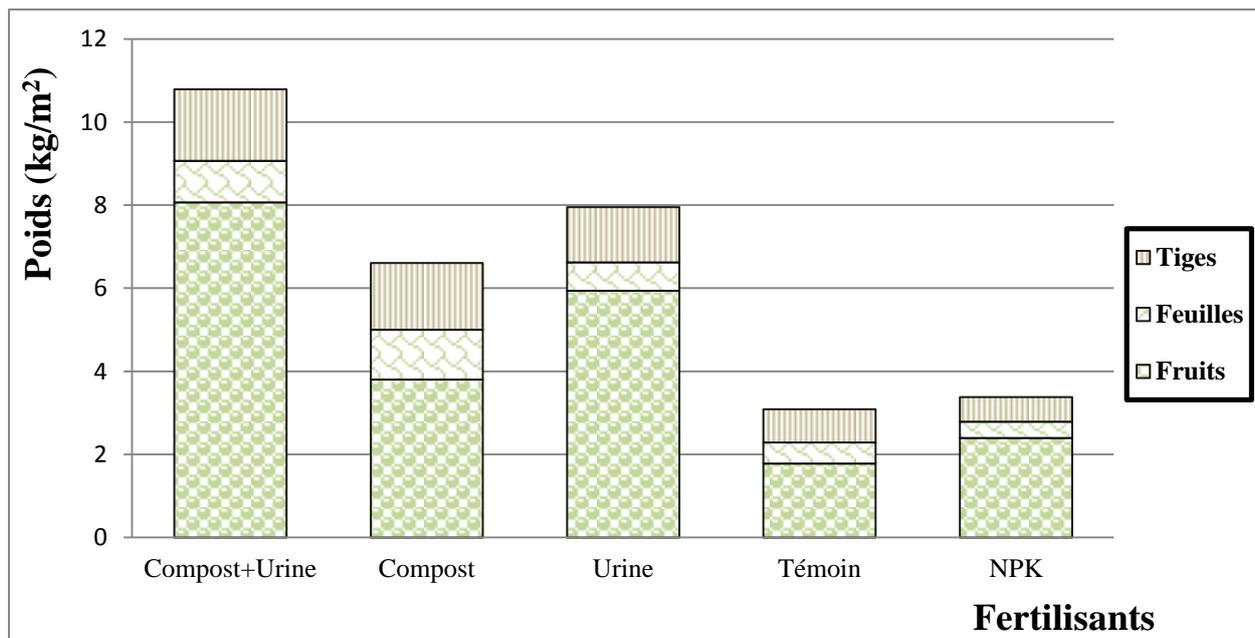


Figure 19 : biomasse fraîche de la culture des courgettes

3.1.2.4. Paramètres des sols après la récolte de la courgette

Le tableau n°8 présente les valeurs du pH, de la conductivité électrique et de la matière organique. La valeur du pH des sols est généralement neutre avec une moyenne de 7. La conductivité électrique des sols est caractérisée par une forte minéralisation avec des valeurs comprises entre 536 à 1188 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'analyse de variance montre une différence significative entre les résultats obtenus avec les sous-produits de l'assainissement écologique et ceux du NPK. La matière organique est caractérisée par une couche de surface humifère également comme celle des sols des gombos avec des valeurs comprises entre 17,2 à 21,8 mg/g-sol. L'analyse statistique ne révèle pas une différence significative entre les valeurs au niveau de la MO et du pH.

Tableau 8: paramètres physico-chimiques des sols après la récolte des courgettes

	Témoin	Compost	Compost+Urine	Urine	NPK
Matière Organique [mg/g-sols]	21,2±7,3a	21,8±2,5a	19,7±3,1a	18,3±2,0a	17,2±1,8a
pH (1 : 2.5)	7,6±0,2a	7,2±0,1a	7,1±0,2a	7,3±0,1a	7,3±0,3a
CE (1 : 5) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	750±96ab	962±36a	1101±253a	1188±175a	536±42b

3.2. Discussion

La taille des plantes qui ont été fertilisées les sous-produits de l'assainissement écologique est très élevée et largement supérieure à celles des plantes du témoin. C'est surtout dans la troisième période de mesure que ce constat devient significatif avec environ 56 cm de différence entre la hauteur des plantes fertilisées par rapport au témoin. Kiba, (2005) a également utilisé les sous-produits de l'assainissement écologique comme fertilisants sur l'aubergine et a constaté que les urines et la fumure minérale forment le meilleur groupe qui diffère de façon très significative du groupe formé par le témoin. Le faible développement des plantes du témoin est dû à l'absence de nutriments dans le sol, principalement l'azote (N). Selon Petit et Jobin, (2005), l'azote est un élément dont le déficit limite rapidement le développement des cultures. Plusieurs études ont montré que l'urine contient le N, P et K à des proportions de 88%, 67% et 73%, respectivement et qui sont assimilables directement par la plante (Kirchmann et Pettersson, 1995; Schönning 2001; Jönsson et al., 2004). En outre, Esrey et al., (2001) ont montré que les fèces sont riches en micronutriments pouvant jouer un rôle majeur dans la croissance des plants. Ainsi la différence de taille entre les plantes traitées et celles du témoin confirment la présence dans les excréta humains, des nutriments dont les plantes ont besoin pour leur croissance comme l'azote, le phosphore et le potassium.

Les résultats montrent également une augmentation des rendements au niveau des deux cultures, surtout au niveau des plantes fertilisées avec les sous-produits de l'assainissement écologique. En effet pour le gombo, le nombre total de fruits récoltés est compris entre 96 à 123 pour les plantes qui ont été fertilisées avec les excréta humains et NPK contre 47 fruits pour le témoin et le poids total est compris entre 1923 à 3106 g pour les plantes qui ont été traitées contre seulement 853 g pour le témoin. Au niveau de la courgette, à la première récolte, il apparaît que seules les plantes fertilisées avec les sous-produits de l'assainissement écologique ont donné un rendement par rapport aux plantes fertilisées avec le NPK et celles du témoin dont les fruits étaient encore jeunes et non matures. A la deuxième et troisième récolte des courgettes toutes les plantes ont donné de résultats. L'analyse statistique n'a pas révélé une différence significative entre les résultats obtenus. La première récolte des courgettes a permis de mettre en évidence l'effet rapide des excréta humains sur la productivité des plantes montrant ainsi leur disponibilité immédiate aux cultures. Ces résultats sont en accord de ceux trouvés par Heinonen-Tanski et al., (2007). En effet, ces auteurs ont montré que le rendement du concombre après la fertilisation avec l'urine était similaire ou légèrement mieux que le rendement obtenu à partir du témoin et celui fertilisés avec des

engrais minéraux commercial. De même, au Mexique, Guadarrama et al., (2001) ont évalué l'efficacité de l'urine humaine et le compost sur la laitue. Concernant le poids des parties aériennes telles que les tiges, les feuilles et les fruits ; l'analyse de variance a montré une différence significative entre les résultats. Ainsi on remarque que la biomasse fraîche et sèche est plus élevée au niveau des gombos et courgettes fertilisées avec les sous-produits de l'assainissement écologique et le NPK que dans ceux du témoin non fertilisé. Ce constat est dû en grande partie à l'amélioration des propriétés du sol par les fertilisants qui ont créé des meilleures conditions de croissance et de nutrition pour les cultures. Par ailleurs Sridevi et Srinivasamurthy, (2010). Selon Snyman et al., (1999) ; Selivanovskaya et al., (2001) cités par Useni et al., (2013), ont montré que les plantes dont l'apport en azote est déficitaire accusent un retard de croissance. Ceci est confirmé par Mnkeni et al., (2008) qui a effectué des recherches en Afrique du Sud sur le chou, les épinards, le maïs et la tomate avec un ajout d'azote jusqu'à 200 kg/ha sous forme d'urée ou d'urine a entraîné une augmentation considérable du rendement en matière sèche de biomasse.

Nous avons remarqué aussi au niveau de tous les résultats, que c'est les combinaisons compost-urine et cendre-urine qui présentent les valeurs les plus élevées. Cela serait attribuable à l'effet combiné du compost-urine et de la cendre-urine car comme on le sait le compost contient les éléments sous forme organique (emprisonnés dans la structure des fibres) qui ne sont disponibles aux plantes qu'après être minéralisés. Par contre la cendre contient en forte quantité du Phosphore et les urines sont très riches en Azote et contiennent les éléments sous formes minérales, donc directement disponibles au sol et sont capables de rendre plus disponible les éléments du compost par solubilisation. Les fertilisants compost-urine et cendre-urine sont donc complémentaires et se compensent en nutriments comme il a été souligné par Jönsson et al., (2004-2). D'après ces auteurs, l'expérience a montré qu'il est bénéfique pour la fertilité du sol d'utiliser les urines en combinaison avec les fèces ou autres engrais organiques, mais ils peuvent être employés sur différentes années et pour différentes cultures. Aussi d'autres auteurs comme (Bationo et al., 1991, Bado et al., 1997) cités par Kiba, (2005), avancent que l'utilisation concomitante de la matière organique et des engrais minéraux réduit les pertes et favorise l'alimentation minérale et hydrique des cultures conduisant ainsi à une augmentation des rendements.

L'analyse des paramètres physico-chimiques des sols après la récolte des courgettes montre un pH neutre avec une valeur moyenne de 7 alors que le pH des sols après la récolte des gombos est plutôt acide avec une valeur comprise entre 5 et 6. D'après Petit et Jobin, (2005) un pH entre 6,5 et 6,8 est optimal pour la croissance des plantes. Le pH neutre mesuré sur les

sols des courgettes est dû au fait que le sol était à sa deuxième expérimentation contrairement aux sols des gombos qui sont naturels. En effet avant les courgettes, il y avait sur place des gombos dans les mêmes parcelles amendés avec les mêmes fertilisants, ceci sera répété dans le cadre de l'expérimentation jusqu'à trois reprises pour rendre les sols plus fertiles comme nous l'avons expliqué plus haut au niveau de la méthodologie. Les sols acides des gombos par rapport aux sols des courgettes neutres certifient l'influence des fertilisants sur la chimie du sol. Quant à la conductivité électrique, ses valeurs sont plus élevées pour les courgettes que pour les gombos. Elles sont caractérisées par une minéralisation forte et comprises entre 160 à 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les gombos et 536 à 1188 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les courgettes. Ces valeurs représentent un sol salin car inférieures à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valeur caractéristique d'un sol non salin Legros, (2007) cité par Sou, (2009). D'après Carrier, (2003), la salinité moyenne du sol est de 500 à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les valeurs de la CE pour les urines sont plus élevées au niveau des courgettes qu'au niveau des gombos car en saison sèche, il n'y a pas assez d'eau pour permettre l'infiltration des urines dans les sols. Les minéraux restent donc concentrés à la surface des sols. Par contre au niveau des gombos qui ont été cultivés en saison pluvieuse, la concentration des minéraux est faible sur la surface des sols car l'eau des pluies contribue en plus de lessiver les sols mais aussi de faciliter l'infiltration des urines dans le sol. Les valeurs en pourcentage de la matière organique des sols des deux cultures sont comprises entre 6 à 7% pour les gombos et 2 à 3% pour les courgettes. Ces valeurs attestent que les sols sont caractérisés par une forte activité biologique. Selon Carrier, (2003), l'activité biologique du sol est élevée jusqu'à 12% de matière organique et au maximum de 12-15, l'activité biologique du sol diminue. En outre d'après Boulet, (1976a) cité par Sou, (2009), le sol n'est pauvre en matière organique que lorsque la valeur de la MO est entre 0,5 et 1,5%. En somme tous ces paramètres sont importants pour une bonne fertilité du sol comme le souligne Jönsson et al., (2004-2), en disant qu'il ne faut pas s'attendre à une quelconque augmentation de rendement si la croissance des cultures est principalement limitée par des facteurs autres que l'approvisionnement en nutriment (par exemple le manque en eau, pH trop bas ou trop élevé etc.).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude qui s'est déroulée sur le site d'expérimentation de 2iE situé à Kamboinsé a permis de mettre en exergue les avantages liés à la réutilisation des sous-produits de l'assainissement écologique en agriculture, précisément dans le contexte agro-écologique du milieu urbain de Ouagadougou. En effet, l'évaluation de l'effet de fertilité des excréta a permis d'obtenir des rendements supérieurs à ceux obtenus avec l'engrais chimique et le témoin pour les deux cultures.

La méthode en alternée utilisée pour les trois répétitions nous a donné une valeur moyenne pour chaque fertilisant et les analyses statistiques effectuées à la suite nous ont permis de faire une différence entre ces valeurs. Ainsi les fertilisants issus des sous-produits de l'assainissement écologique ont donné des résultats satisfaisants surtout pour les combinaisons compost-urine et cendre-urine où nous avons constaté les meilleurs rendements par rapport aux autres traitements. En effet, les urines constituent des engrais azotés d'entretien pour les plantes, la cendre permet de compenser l'urine en Phosphore et les fèces permettent d'améliorer le taux de matière organique du sol tout en diminuant son acidité. Ce sont ces propriétés qui ont permis aux cultures traitées avec les sous-produits de l'assainissement écologique d'être plus productives que celles traitées avec l'engrais chimique, le NPK.

Par contre malgré la richesse en substances nutritives des sous-produits de l'assainissement écologique pour les plantes, ils ne peuvent être utilisés directement en agriculture. En effet, ils contiennent des pathogènes pouvant contaminer les cultures et même les consommateurs. Ils doivent donc subir un traitement préalablement pour réduire les pathogènes à un niveau et permettre leur valorisation en agriculture.

Ce travail a permis de montrer que les sous-produits de l'assainissement écologique constituent pour les sols une source importante d'éléments nutritifs à moindre coût, permettant d'augmenter les produits agricoles pour les populations tributaires. Par ailleurs, leur recyclage permet de lutter contre les défécations à l'air libre donc d'améliorer l'assainissement des populations vulnérables.

Dans le souci d'améliorer la réutilisation des sous-produits de l'assainissement écologique pour une agriculture durable et un environnement sain, nous proposons les perspectives suivantes :

- ☞ Evaluer l'impact sanitaire des sols après amendement ;
- ☞ Et l'impact d'une accumulation de sels, surtout en saison sèche où les minéraux restent concentrés sur la surface du sol par manque d'eau permettant le lessivage des sols.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adissoda Y., Pierre G. et Oldenburg M. (2004).** *Assainissement écologique mode d'emploi.* Agnavo.
- Anna R., Gensch R., Jönsson H., Stenström T. A. et Dagerskog L. (2011-3).** *Conseils pratiques pour une utilisation de l'urine en production agricole.* Stockholm. EcoSanRes.
- Ariste B. et Leila L. (2009).** *Monographie de la commune urbaine de Ouagadougou.* Burkina Faso.
- Caroline S. et Thor A. S. (2004-1).** *Recommandations pour un usage sans risques de l'urine et des matières fécales dans les systèmes d'assainissement écologique.* Stockholm. EcoSanRes
- CREPA. (2006).** *Utilisation des produits dérivés de l'assainissement écologique en agriculture.* Réseau CREPA.
- Dagerskog L. and Bonzi M. (2010).** *Opening minds and closing loops- productive sanitation initiatives in Burkina Faso and Niger, Sustainable Sanitation Practice.* EcoSan Club, 8p.
- Esrey S. A., and Andersson I. (2001).** *Closing the loop: ecological sanitation for food security, Water Resource No 18.*
- Esrey S., Gough J., Rapaport D., Sawyer R., Simpson-Hébert M., Vargas J. et Winblad U. (1998).** *Assainissement écologique.* Sida: Stockholm.
- Guadarrama, R. O., Pichardo, N. A., and Morales-Oliver E. (2001).** *Urine and Compost Efficiency Applied to Lettuce under Greenhouse Conditions in Temixco, Morales, Mexico. In: Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation 5-8, Nanning, China.*
- Hector K., Jean M. Y. et Didier S. A. (2009).** *Manuel ECOSAN.* Bénin: CREPA Bénin.
- Heinonen-Tanski H., Sjöblom A., Fabritius and Karinen P. (2007).** *Pure human urine is a good fertiliser for cucumbers, Bioresource Technology (98), pp. 214-217.*

- Hijikata N., Ushijima K., Ito R., Sawadogo B., and Funamizu N. (2012).** *Design of vegetable garden for income estimation toward to agro-sanitation business model, a case study in Burkina Faso, 4th International Dry Toilet Conference, pp.1-6.*
- INSD. (2007).** *la région du centre en chiffres, Données synthétiques. Ministère de l'économie et des finances, Edition 2007.* Burkina Faso, 8 p.
- IWMI. (2011).** *l'irrigation avec des eaux usées et la santé.* Presses de l'Université du Québec.
- Jönsson H., Stintzing A. R. et Salomon E. (2004-2).** *Directives pour une Utilisation des Urines et des Fèces dans la Production Agricole d' EcoSanRes.* Stockholm.
- Jönsson H., Stintzing A. R., Vinnerås B., and Salomon E. (2004).** *Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production, EcoSanRes Publication Series Report 2004-2, Stockholm Environment Institute, Sweden*
- Kiba D. I. (2005).** *Valorisation agronomique des excréta humains.* Burkina Faso, 58p.
- Kirchmann H., and Pettersson S. (1995).** *Human urine-chemical composition and fertilizer efficiency. Fertilizer Res, 40:149–54.*
- Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH) (2006).** *Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement à l'horizon 2015 (PN-AEPA 2015), 55p.*
- Mnkeni Pearson N. S., Kutu F. R., Muchaonyerwa P. and Austin L. M. (2008).** *Evaluation of human urine as a source of nutrients for selected vegetables and maize under tunnel house conditions in the Eastern Cap, South Africa, Waste Management and Research (26), pp. 132-139.*
- Moussa B. (2010).** *Fiche technique d'application des urines hygiénisées (Takin Ruwa) dans les conditions agricoles du Niger.* Niger: SEI.
- OMS. (2012).** *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta, et des eaux ménagères: considérations d'ordre politique et réglementaire.*
- OMS. (2012).** *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta, et des eaux ménagères: utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture.*

Petit J. et Jobin P. (2005). *la fertilisation organique des cultures.*FABQ.49p.

Schönning C. (2001). *Recommendation for the re-use of urine and faeces in order to minimize the risk for disease transmission, Swedish Institute for Infectious disease control. Sweden: Stockholm.*

Sou Y. M. (2009). *Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols. Thèse de Doctorat de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse, 141p.*

Sridevi G. and Srinivasamurthy C. A. (2010). *Utilization of Human Urine as a Supplement to Fertilizers in Maize Production, Madras Agric. Journal, 97 (7-9), pp. 261-264.*

Useni S. Y., Minerve C. K. and John T. K. (2013). *Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (Zea mays L.) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. Journal of Applied Biosciences, pp. 5070-5081.*

Wethé J. (2009). *Systèmes énergétiques: vulnérabilité-adaptation-résilience (VAR). Burkina Faso.*

WHO. (2006). *the third edition of the WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture.*

Webographie

1. <http://www.who.int>
2. <http://www.wikiwater.fr/a10-les-latrines-ecologiques.html>

ANNEXES

Annexe 1 : cadre logique de l'étude

Objectifs spécifiques	Activités	Méthodes	Moyen/Outils	Durée	Résultats attendus
Evaluer la croissance des plantes avec l'utilisation des sous-produits de l'assainissement écologique, du NPK et de la cendre	Suivre l'évolution des plants	Mesurer la hauteur des plants chaque deux semaine	Mètre ruban/ou règle graduée Bloc note et stylo	2 mois	Identifier les plantes qui ont une taille plus élevée
Identifier les meilleurs rendements des plantes après apport des substances nutritives contenues dans l'urine et le compost à base de fèces humaines	Récolter les fruits	Compter le nombre de fruits récoltés Peser les fruits	Bascule électrique Ciseaux et sachets	Immédiatement après la récolte	Connaitre le rendement en fonction des fertilisants
Evaluer les propriétés physico-chimiques des sols cultivés après amendement avec les fertilisants	Mesurer le pH, la CE et la matière organique	Prélever les sols	Sachets, pH mètre, l'étuve et le four		Connaitre l'état de fertilité du sol
Comparer l'effet de fertilité des différents fertilisants utilisés	Comparer les résultats obtenus	Analyse statistique	Logiciels Excel 2010 et Anova	Après les analyses	Identifier le fertilisant le plus approprié

Annexe 2 : valeur des éléments nutritifs de nos excréta

Paramètres	Urine	Compost
pH	9,2	7,8
EC ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	24,8	3,3
Total N	2,70g/L	54,7 g/kg
Total P	0,28 g/L	29,8g/kg
Total K	0,24g/L	24,6g/kg

Annexe 3 : Valeurs des Ecart types des données de la biomasse

	Témoin	Urine	Compost	Compost+Urine	Urine+Cendre	NPK
Feuilles	75,00569	33,89533	62,87649	60,45373	187,0644	108,3148
Tiges	154,6063	145,2505	241,834	94,47144	160,9212	258,6594
Fruits	12,77863	4,105281	4,401515	4,277071	7,81025	6,706216

Pour la courgette

	C+U	C	U	T	NPK
Fruits	0,866429	2,003256	0,715984	0,332916	0,69282
Feuilles	50,75838	345,2377	230,0701	58,8946	144,4527
Tiges	94,1576	565,3024	304,6534	269,8262	156,4863

Rapport des feuilles sur tiges

	C+U	C	U	T	NPK
Feuilles/Tiges	0,581328	0,751852	0,516771	0,630797	0,6518

Annexe 4 : Matière organique des sols en pourcentage

fertilisants	MO de la courgette (%)	MO du gombo (%)
Témoin	2,37	6,06
Compost	3,80	7,23
Compost+Urine	3,59	7,28
Urine	2,90	7,70
NPK	2,56	7,00
Cendre+Urine	X	7,18

Annexe 5 : facteurs physico-chimiques et biologiques qui influent sur la survie des microorganismes dans l'environnement

<p>Température</p>	<p>La plupart des microorganismes survivent bien à basse température (<5°C) et meurent rapidement à haute température (>40-50°C). C'est le cas dans l'eau, le sol, les boues et composts et sur les cultures. Pour assurer l'inactivation avec des procédés de compostage par exemple des températures de 55-65 °C sont nécessaires si on veut que tous les types de microorganismes pathogènes soient tués (à l'exception des spores bactériennes) en quelques heures (Haug, 1993).</p>
<p>pH</p>	<p>Beaucoup de microorganismes sont adaptés à un pH neutre (autour de 7). Des conditions très acides ou très alcalines auront un effet inactivant. L'addition de chaux aux excréments dans les latrines sèches et les boues d'épuration peut augmenter le pH et rendre les microorganismes inactifs. La vitesse d'inactivation dépend du pH, elle sera beaucoup plus rapide à pH 12 qu'à pH 9.</p>
<p>L'ammoniaque</p>	<p>Dans les environnements naturels, l'ammoniaque (NH₃) hydrolysé chimiquement ou produit par des bactéries peut être nuisible aux autres organismes. L'addition de produits générateurs d'ammoniaque facilitera aussi l'inactivation des pathogènes dans par exemple les excréments ou les boues (Ghigletti et al., 1997; Vinneras et al., 2003).</p>
<p>L'humidité</p>	<p>L'humidité influe sur la survie des organismes dans le sol et dans les matières fécales. L'humidité du sol favorise la survie des microorganismes et le séchage fera décroître le nombre de pathogènes, par exemple dans les latrines.</p>
<p>Radiation solaire et U.V.</p>	<p>L'irradiation par les U.V. réduit le nombre de pathogènes. On l'utilise à la fois pour le traitement de l'eau potable et des eaux usées. Dans les champs, le temps de survie diminue en surface là où la lumière solaire peut affecter les organismes.</p>
<p>Présence d'autres Microorganismes</p>	<p>Les microorganismes survivent généralement mieux dans un milieu qui a été stérilisé que dans un environnement qui contient d'autres organismes. Les organismes peuvent interagir par prédation, libération de substances antagonistes ou compétition (voir nutriments ci-dessous). compétition (voir nutriments ci-dessous).</p>

Nutriments	Si les nutriments sont disponibles et les autres conditions favorables, les bactéries peuvent se développer dans l'environnement. Les bactéries entériques adaptées à l'appareil gastro-intestinal ne sont pas toujours en mesure de disputer les nutriments disponibles aux organismes indigènes, ce qui limite leur capacité de reproduction et de survie dans l'environnement.
Autres facteurs	L'activité microbienne dépend de l'oxygène disponible. Dans le sol, la taille des particules et la perméabilité a une influence sur la survie des microbes. Dans le sol de même que dans les égouts ou dans l'eau, différents composés chimiques organiques et inorganiques peuvent affecter la survie des microorganismes.

Annexe 6 : réduction des pathogènes avec différentes mesures techniques et actions (OMS, 2006)

Barrière	Réduction des pathogènes (log)	Réduction des pathogènes (%)
Stockage des excréta (urine et fèces) selon les directives	6	99,9999
Enfouissement de l'urine ou les fèces dans le sol	1	90
Un mois entre dernière application et la récolte	4 - 6	99,99 – 99,9999
Laver les produits récoltés avec de l'eau	1	90
Utiliser un produit désinfectant et ensuite laver les produits récoltés avec de l'eau propre	2	99,9
Éplucher les produits récoltés	2	99
La cuisson des produits récoltés	6 - 7	99,9999 - 99,99999