



UNIVERSITE MOHAMMED V- AGDAL

FACULTE DES SCIENCES

RABAT



MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

M^{lle}. Sarra KITANOU

Intitulé du Master: Génie et Gestion de l'Eau et de l'Environnement

**Contribution à l'évaluation de l'urine humaine comme
fertilisant pour la culture de la courgette
« Projet pilote d'assainissement écologique à Dayet Ifrah »**

Soutenu le: 18 Octobre 2011

Devant le jury :

Encadrant : Pr. H. ZAID. Professeur à la Faculté des Sciences, Rabat.

Président : Pr. N. BENDAOU. Professeur à la Faculté des Sciences, Rabat.

Examineur : Pr. Z. TRIQUI. Professeur à la Faculté des Sciences, Rabat.

Co-encadrant: Mr. M. KHIYATI. Conseiller technique junior, giz, Rabat.

Année Universitaire 2010-2011

Dédicace

À mes parents

Pour les sacrifices, les efforts que vous avez consentis pour mon bien être. Pour l'encouragement durant tout mon parcours. Toutes les belles expressions sont incapables d'exprimer mes sentiments et ma gratitude.

À toute ma famille

À mes ami (e) s

Pour l'aide, l'encouragement et les meilleurs moments qu'on a partagés.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont collaboré à la réalisation de ce travail.

Remerciements

Le présent mémoire expose les travaux de recherche effectués pour le stage de fin d'étude en collaboration avec la faculté des sciences de Rabat et le programme agire auprès du secrétariat d'état chargé de l'eau et de l'environnement qui vise l'amélioration du cadre organisationnel et institutionnel du secteur de l'eau au Maroc.

J'adresse mes vifs remerciements à **Mr. N. BENDAOU** coordinateur du Master Génie et Gestion de l'Eau et Environnement qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de soutenance.

Je remercie vivement mon encadrant **Mr. H. ZAID** professeur à la faculté des sciences de Rabat, pour son aide et sa confiance.

J'exprime ma gratitude à **Mr. Z. TRIQUI** professeur à la faculté des sciences de Rabat, qui a accepté de juger ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à toute l'équipe du projet pilote d'assainissement écologique du village de Dayet Ifrah.

Sommaire

Sigles et Abréviations	1
Avant propos	2
Liste des figures	4
Liste des photos	5
Liste des tableaux	6
INTRODUCTION GENERALE	7
PARTIE 1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	9
I. Généralités sur l'Assainissement Ecologique	9
1. Concept d'Assainissement Ecologique	9
1.1.Contexte générale	9
1.2.Assainissement écologique au Maroc	11
2. Fonctionnement d'ecosan (TDSU).....	12
2.1.Description du système.....	12
2.2.Principe de fonctionnement	12
a. Collecte des urines	13
b. Stockage et traitement des urines.....	13
3. Les avantages de l'ecosan	14
II. L'agriculture conventionnelle et le mode Eco.....	15
1. Besoin des plantes en éléments nutritifs	15
2. Valeur nutritive de l'urine	15
3. Mode d'application de l'urine en fertilisation agricole.....	16
3.1.Technique d'application.....	16
3.2.Fréquence d'application.....	17
3.3.Dose d'application	17
4. Précautions d'utilisation de l'urine en agriculture	17
4.1. Mesure sécuritaire d'application	17
4.2.Concept de Barrières multiples.....	18
4.3.Sensibilisation pour la réutilisation	20
III. La loi et l'assainissement écologique	20
PARTIE 2. MATERIEL ET METHODES.....	21
I. Station expérimentale	22

1.	Description du site.....	22
1.1.	Situation géographique	22
1.2.	Situation météorologique.....	23
1.3.	Situation socioéconomique	24
2.	Projet pilote ecosan	25
2.1.	Genèse du projet.....	25
2.2.	Choix du site de Dayet Ifrah	26
II.	Réutilisation des urines en agriculture	26
1.	Matériel d'étude.....	26
1.1.	Matériel végétal	26
1.2.	Sols	28
a.	Caractéristique des sols	28
b.	Analyse des sol	28
2.	Méthodologie suivie au niveau du champ	29
2.1.	Préparation du terrain	29
a.	Préparation du terrain.....	29
b.	Dimensionnement	29
2.2.	Mise en culture des semis	30
2.3.	Traitements (Matériel fertilisant)	31
a.	Témoin absolue	31
b.	Engrais (NPK 7-12-7).....	31
c.	Urines humaines : Analyse physicochimique des urines et bactériologique..	31
2.4.	Application des fertilisants.....	32
a.	Application d'engrais.....	32
b.	Application d'urine : technique, période et dose	33
c.	Mesures de protection.....	35
2.5.	Entretien des cultures au niveau du champ	35
2.6.	Echantillonnage	36
3.	Méthodologie suivie en bacs de végétation.....	37
3.1.	Objectif de l'essai en bacs de végétation	37
a.	Préparation des pots	37
b.	Mise en culture	37
3.2.	Application des fertilisants.....	38
a.	Technique d'application	38

b.	Période d'application	38
c.	Dose d'application.....	39
3.3.	Mesure de protection pendant l'application.....	40
3.4.	Entretien des cultures.....	40
3.5.	Modalité d'observation	40
4.	Méthodologie suivie en enquête.....	41
PARTIE 3. RESULTATS & DISCUSSION.....		42
1.	Valorisation agronomique des urines.....	42
1.1.	Evaluation de l'azote dans les sols	42
1.2.	Caractéristiques physico-chimiques des urines.....	43
1.3.	Caractéristiques bactériologiques des urines	45
2.	Résultats obtenus au niveau du champ	46
2.1.	Evaluation agronomique	46
a.	Analyse pondérale	47
b.	Analyse de la courbe de tendance.....	48
2.2.	Etude comparative des traitements	49
a.	Production spécifique.....	49
b.	Coefficient d'équivalence	50
3.	Résultats obtenus en bacs de végétation : effet des urines sur la croissance en hauteur des plants.....	50
4.	Evaluation de l'acceptabilité de la valorisation des urines.....	51
5.	Discussion générale	54
CONCLUSION & RECOMMANDATIONS.....		57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		59
RESUME/ ABSTRAT.....		64
ANNAXE.....		66

Sigles et Abréviations

AGIRE : Appui à la gestion intégré des ressources en eau.

CREPA: Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement.

CRF : Centre de recherche forestier.

ECOSAN: Assainissement Ecologique.

FIG. : Figure.

FSR : Faculté des sciences Rabat.

GIZ : Coopération Internationale Allemande.

IAV : Institut agronomique et vétérinaire.

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

LABO. : Laboratoire.

MES : Matière en suspension.

NPK : Azote Phosphore potassium.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ONEP : Office National de l'Eau Potable.

SEEE : Secrétariat d'Etat de l'Eau et de l'Environnement.

TAB. : Tableau.

AVANT PROPOS

La faculté des sciences de Rabat offre un programme d'étude avancé multidisciplinaire aboutissant à un master spécialisé en **Génie et Gestion de l'Eau et Environnement**. Par ce programme, j'ai pu appréhender un savoir élargi sur des connaissances spécialisées nécessaires à l'étude des problèmes de cette ressource importante qui est l'eau. À la fin de cette formation, j'aurai appris, au contact des professionnels de la recherche, à contribuer efficacement à la compréhension des aspects multidisciplinaires tournant autour de l'eau.

A l'achèvement de la partie théorique sur trois semestres, un stage en milieu professionnel est réalisé et a permis d'acquérir une expérience pratique et d'appliquer certaines des notions apprises durant la formation théorique.

C'est dans ce sens qu'un stage s'est déroulé au sein de la FSR et le SEEE. L'objet de ce rapport intitulé «Assainissement écologique rural : Projet pilote du douar Dayet Ifrah» en collaboration, la giz, l'onep et la Chaire unesco «Eau, Femmes et Pouvoir de décisions».

Il est à rappeler que l'approche ecosan est une solution très soutenu par la giz qui gère le processus de sa mise en œuvre depuis la planification des missions des différentes phases du projet jusqu'à la mise en service des systèmes ecosan et par la satisfaction de la population.

Ce stage était l'opportunité :

- de m'offrir un champ d'action en collaboration avec les structures de la giz, l'onep et de la Chaire unesco « Eau, Femmes et Pouvoir de décisions ».
- de permettre de former, au sein de la giz une ressource humaine spécialisée dans des domaines professionnels liés à l'assainissement écologique.
- d'enrichir les connaissances théoriques de cette ressource humaine par une expérience pratique.

La giz est une entreprise de coopération internationale pour le développement durable qui déploie ses activités sur tous les continents. À l'heure de la mondialisation, elle propose des solutions porteuses de développement dans les domaines politique, économique, écologique et social. Son objectif est d'améliorer de manière durable les conditions de vie des populations des pays en développement. La giz opère dans 128 pays situés en Afrique, le Maroc reste un pays prioritaire de la coopération allemande au développement dans le bassin méditerranéen. D'autant plus que l'économie du Maroc est étroitement liée avec l'Europe au travers des échanges extérieurs. La mondialisation et la zone de libre-échange convenue avec l'UE pour 2012 sont source d'opportunités mais aussi de risques

importants pour l'emploi dans le pays. Le taux de chômage est élevé et la concurrence accrue exerce une pression massive sur les entreprises.

Les gouvernements du Maroc et de l'Allemagne ont convenu d'articuler leur coopération sur trois axes prioritaires :

- développement économique durable.
- utilisation et gestion des ressources en eau.
- environnement et changement climatique, y compris la promotion des énergies renouvelables

Le Maroc a impulsé de nombreuses réformes dans ces domaines. En liaison avec les partenaires marocains, la giz œuvre pour une gestion de ces processus de développement qui soit à la fois économiquement performante, écologiquement viable et socialement équitable.

Le programme agit « Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau » du SEEE en coopération avec la giz qui vise à améliorer le cadre organisationnel et institutionnel du secteur de l'eau au Maroc et de mettre en œuvre des actions concrètes afin d'assurer une meilleure protection des ressources en eau et son utilisation rationnelle, économique et durable, en considérant les principes de l'équité sociale. Le programme agit se réalisera dans trois composantes intégrantes : développement du cadre institutionnel, organisationnel et réglementaire au niveau national, renforcement des capacités de la gestion de l'eau au niveau des bassins hydrauliques et la mise en œuvre des projets pilotes et des mécanismes de concertation et de la participation des usagers et partenaires au niveau régional et local dans la gestion intégrée des ressources en eau. Dans le cadre de ses prérogatives, le programme agit apporte sa contribution à la planification jusqu'à la mise en œuvre d'un projet pilote d'assainissement écologique « Ecosan » dans la région du Moyen Atlas.

La giz avec les partenaires du projet pilote souhaitent à travers ce projet d'apporter sa contribution, à la mise en place effective des systèmes d'assainissement écologiques décentralisés, durables et efficaces au profit de certains habitants –préselectionnés- du village de Dayet Ifrah situé au Moyen Atlas.

Le présent rapport du projet de fin d'étude constitue une action de coopération et de collaboration technique et scientifique entre la FSR et le programme agit. Il consiste à la réutilisation des urines en agriculture.

*



Programme d'Appui à la Gestion
Intégrée des Ressources en Eau
برنامج دعم التدبير المتكامل للموارد المائية

Liste des figures

Figure 1. Principe de gestion durable des eaux et éléments nutritifs (Werner, 2004)	9
Figure 2. Ecosan, système d'assainissement des excréta humains qui vise à valoriser les urines et les fèces)	11
Figure 3. Toilettes de déshydratation à séparation d'urine en milieu rural (Werner, 2010)	13
Figure 4. Réaction de transformation de l'azote organique en ammoniac catalysée par l'enzyme uréase (Larcher ,1923)	14
Figure 5. Technique d'application des urines par sillon (1. Formation du sillon, 2. Application de l'urine, 3. Fermeture du sillon)	17
Figure 6. Les voies de transmission des pathogènes entériques (Esrey, 1998).....	18
Figure 7. Schéma des étapes de conception du projet de valorisation des produits ecosan en agriculture).....	22
Figure 8. Situation géographique du village d'Ait Daoud ou Moussa (Google maps, 2011).....	23
Figure 9. Variation de la moyenne mensuelle des précipitations, température et évapotranspiration (d'après la station climatologique de la région d'Ifrane Aéroport, 1973-2003) (DRPE, 2009)	23
Figure 10. Plan de dimensionnement du jardin d'essai de la courgette).....	30
Figure 11. Composition chimique des échantillons d'urines)	43
Figure 12. Comparaison de la biomasse obtenue chez la courgette en fonction du traitement appliqué)	47
Figure 13. Courbe de tendance montrant l'évolution du rendement de la courgette à travers les différents traitements (Logiciel STATISTICA 6)	48
Figure 14. Rendement en T/ha de la courgette en fonction des trois traitements majeurs : témoin absolu, témoin NPK, apport d'urine à 100).....	49
Figure 15. Hauteur du pied de la courgette en fonction des trois traitements majeurs : témoin absolu, témoin NPK, apport d'urine à 100% (résultats obtenus 1 semaine après la 2ème application)	51
Figure 16. Evaluation de l'acceptabilité de la valorisation des urines en agriculture et de l'acceptabilité de les vendre au niveau du village de Dayet Ifrah).....	54

Liste des photos

Photo1 : Siège de séparation des urines et des eaux de rinçage (Werner, 2010).....	12
Photo 2. Lac Dayet Ifrah faisant partie de l'aire « parc naturel d'Ifrane » à protéger (Dayt Ifrah, Mai 2011)	24
Photo 3. Appréciation visuelle du type du sol (photo du terrain utilisé. Dayet Ifrah, Avril 2011).....	28
Photo 4. Travaux de mise en culture de la courgette (Dayet Ifrah, juin2011).....	31
Photos 5. Ouvrage TDSU aménagé à Dayet Ifrah (à gauche) & Latrine ecosan (à droite) (Dayet Ifrah, juillet 2011)	32
Photo 6. Méthode d'application d'urine (à gauche), formation de sillons, (à droite), Croissance après la 2 ^e application d'urine (Dayet Ifrah, 2011)	34
Photo 7. Agriculteur œuvrant à l'application d'urine en adoptant les mesures de sécurité (Combinaison, port de gants et cache nez) (Dayet Ifrah, 2011).....	35
Photo 8. Délimitation de la surface à prélever lors de l'échantillonnage (Dayet Ifrah, 2011)	36
Photo 9. Application de l'urine au niveau des pots (FSR, juillet 2011).....	38
Photo 10. Observations de la hauteur des plantes en bacs de végétation (FSR, 2011)	40

Liste des tableaux

Tableau 1. Temps de stockage recommandé pour les urines basée sur des estimations de contenu pathogène (Adapté de Jönsson et <i>al.</i> 2000 et Höglund, 2001)	14
Tableau 2. Composition de l'urine humaine (Tossou, 2009).....	16
Tableau 3. Voies de transmission et mesures techniques pour limiter et minimiser les risques (Shonning et Stenström, 2004)	19
Tableau 4. Exigences culturales de la plantes de la courgette (Skiredj et <i>al.</i> , 2002).....	27
Tableau 5. Apport d'engrais établi en fonction des besoins spécifiques de la courgette)	33
Tableau 6. Apports d'urine en fonction des traitements réalisés.....	34
Tableau 7. Evolution de la croissance des semis après mise en germination (Labo. de physiologie végétale, Juin 2011)	38
Tableau 8. Doses appliquées en bacs de végétation	39
Tableau 9. Quantité d'engrais utilisé pour différentes culture	39
Tableau 10. Teneurs du sol en azote par la méthode de Kjeldahl (CRF, 2011).....	42
Tableau 11. Moyenne et écart-type de la teneur en azote	42
Tableau 12. Evaluation physique des urines	44
Tableau 13. Résultats des analyses microbiologiques (ONEP, 2011).....	45
Tableau 14. Calcul du coefficient d'équivalence	50

INTRODUCTION GENERALE

Devant l'explosion démographique et l'expansion des besoins, l'augmentation de la productivité est devenue le souci majeur de l'agriculteur. Commence alors l'utilisation excessive des engrais chimiques surtout azotés et phosphatés sans aucune préoccupation des répercussions et des risques de pollution menaçant les nappes phréatiques et l'eutrophisation des eaux. Cette situation d'insécurité alimentaire conduite, entre autre, par l'appauvrissement des sols, la hausse des prix des engrais sur le marché international et surtout le risque de polluer l'environnement, nous impose dans l'immédiat de rechercher d'autres sources de nutriments pouvant permettre une agriculture suffisamment durable et rentable.

A travers le monde, certains pays emploient depuis longtemps les urines comme fertilisant azoté dans l'agriculture. Le Japon pratique le recyclage des urines humaines depuis le XII^e cycle ; en Suède, les fermiers collectent les urines humaines puis les répandent sur leurs champs ; au Mexique, l'urine humaine est utilisée dans la production maraîchère.

En Afrique et particulièrement au Maroc, le concept dénommé Ecosan (Assainissement Ecologique) est un programme opérationnel exécuté en partenariat entre le SEEE et la giz sa composante «valorisation agronomique des excréta ». C'est ainsi qu'en 2009, ont démarrés les travaux relevant du projet pilote d'assainissement écologique au village Ait Daoud ou Moussa de Dayet Ifrah, dans un objectif ultime de desservir certaines communautés du monde rural et d'améliorer leurs conditions de vie quotidienne.

C'est dans cette optique que nous avons travaillé sur le thème: «Réalisation de jardin d'essai démonstratif pour la valorisation des produits d'assainissement écologique ».

Les objectifs de ce travail sont : déterminer la valeur fertilisante des urines hygiénisés, montrer l'impact des urines sur la productivité de la courgette et déterminer la quantité optimale des urines pour une meilleure production.

L'urine utilisée comme engrais azoté permet de nourrir les plantes et contribue à leur croissance.

Constatons quelques avantages de l'application des urines: gratuité des urines par rapport aux engrais coûteux. Substitution aux produits chimiques qui polluent les eaux souterraines. Fertilisation saine et rendement meilleur et durable.

Le travail mené comprend deux volets majeurs. D'une part, la réalisation de jardin d'essai démonstratif pour la valorisation des produits d'assainissement écologique (urine, digestat) et d'autre

part l'appréciation du degré d'acceptabilité de l'intégration de cette nouvelle technique par la population locale en procédant à une enquête.

En outre, la réalisation de ce travail permet de tester l'intérêt de la réutilisation de l'urine comme fertilisant azoté et d'évaluer son rendement agro-économique.

Le mémoire présente le volet consacré à la réutilisation des urines dans la culture de la courgette. Notre démarche comporte trois parties:

- La première partie est réservée à la synthèse bibliographique sur l'ecosan et l'agriculture.
- Dans la seconde partie on s'occupera du matériel et des méthodes employés.
- la troisième partie regroupe les résultats, les discussions et les conclusions de l'expérience.

PARTIE 1.SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur l'Assainissement Ecologique

1. Concept d'Assainissement Ecologique

1.1. Contexte générale

L'Assainissement écologique se définit comme une nouvelle approche intégrée de la gestion des déchets solides et liquides. Elle est fondée sur la réutilisation et la conservation des ressources naturelles Elle a pour objectif de préserver la santé humaine par l'amélioration des conditions de vie, d'augmenter la fertilité des sols et de protéger l'environnement (Adissoda *et al.* ,2004).

L'assainissement, tel que nous l'envisageons dans ce rapport est basé sur trois aspects fondamentaux: rendre les excréta humains sains, prévenir la pollution plutôt que d'essayer de lutter contre elle et utiliser les produits sains des excréta humains traités pour les activités agricoles et domestiques. Cette approche peut être définie de la façon suivante : «assainir et recycler» (Kiba, 2005).

L'assainissement écologique» ou «éco-assainissement» est un cycle durable, en boucle fermée (Fig.1). Elle traite les excréta humains comme une ressource et non déchets. Ceux-ci sont transformés sur place puis, si nécessaire, transformés ultérieurement ailleurs jusqu'à ce qu'ils soient exempts d'organismes pathogènes. Les excréta sont alors réutilisés en agriculture comme fertilisants et permettent aussi de donner de l'énergie sous forme du biogaz utilisé dans la cuisine, le chauffage ou pour l'éclairage (Esrey *et al.*, 1998).

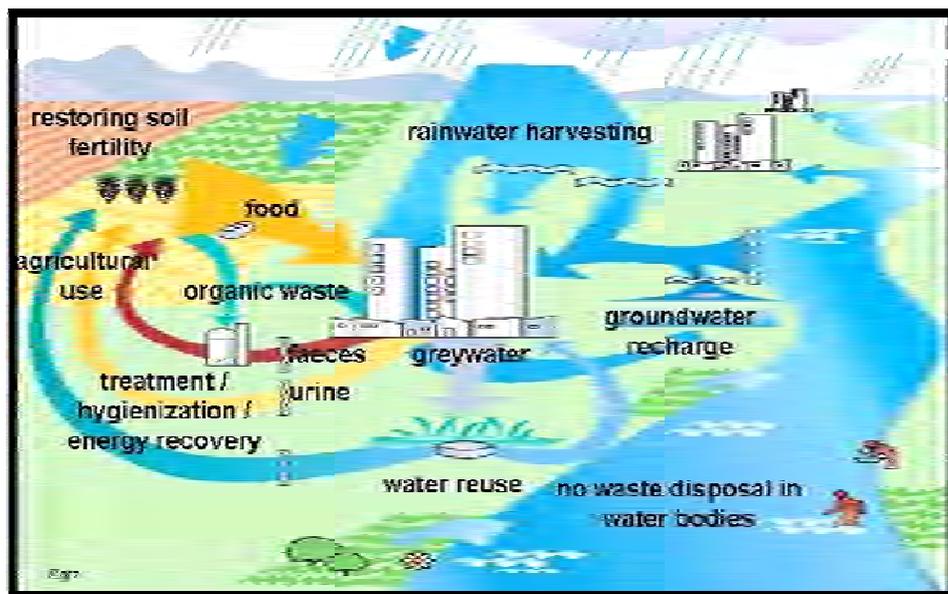


Figure 1. Principe de gestion durable des eaux et éléments nutritifs (Werner, 2004)

Ecosan se veut une approche qui apparaît comme une alternative à la résolution durable des problèmes d'assainissement. Il combine l'assainissement autonome (eaux vannes et eaux grises), les aspects agronomiques (valorisation des excréta comme engrais), et la production et la récupération du biogaz. Il a été démontré au Niger que 1 kg de fèces hygiénisés contient 34 g de N-total, 15 g de P-total, et 22 g de K-total, avec un pH basique de 8,2 et un rapport C/N de 16. Les urines hygiénisées contiennent par litre, 2,7 g de N total, 0,37 g de P-total, 0,32 g de K-total avec un pH basique de 8,9 (Tanguay, 2007). Le taux de recouvrement de N-urines est significativement plus élevé que celui de N-fèces et la combinaison urines – fèces améliore significativement le taux de recouvrement de P. Les communautés notamment rurales doivent s'approprier cette technologie pour une amélioration de leur revenu, dans un environnement sain.

L'assainissement écologique reproduit le cycle naturel en ramenant les urines et fèces humains assainis vers le sol. Au lieu de polluer l'environnement, les urines et fèces humains sont utilisés pour améliorer la structure du sol et l'approvisionner en nutriments.

Les fèces humains, et non l'urine, sont responsables de la plupart des maladies répandues par les excréta humains (Tandia, 2006). Ainsi, est-il nécessaire de trouver un moyen pour les assainir. Deux de ces méthodes sont discutées dans le présent rapport : la déshydratation avec séparation d'urine et la décomposition anaérobie avec production et récupération de biogaz. La déshydratation, ou séchage, des fèces est plus aisée si celles-ci ne sont pas mélangées avec l'urine et l'eau. Lorsque les fèces se décomposent, les divers organismes qui les composent meurent et sont réduits en éléments plus petits. Ainsi, avec chacune des deux méthodes, les germes, œufs et autres éléments potentiellement pathogènes deviennent inoffensifs.

De même, l'assainissement doit être envisagé dans le cadre de la gestion intégrée de l'eau. Ci-après sont développées les solutions de traitement et de réutilisation des eaux grises.

Cependant, l'assainissement écologique ecosan (Ecological Sanitation) est une approche qui implique un recyclage productif et sain des divers rejets de ménages que ce soit : Eaux usées, fèces, urines et résidus organique (Esrey et *al.*, 1998).

Il s'agit d'un concept évolutif qui vise à protéger la santé et l'environnement par une hygiénisation des excréta humains afin de les utiliser ultérieurement comme fertilisants dans l'agriculture (Fig.2).

Cette approche repose sur les principes suivants «*collecter, hygiéniser et réutiliser*»:

- La collecte séparée des matières fécales et des urines.
- L'hygiénisation complète et séparée des excréments par déshydratation ou par compostage.
- L'hygiénisation complète des urines par des processus biochimiques.
- L'utilisation de ces produits comme engrais azoté dans l'agriculture.

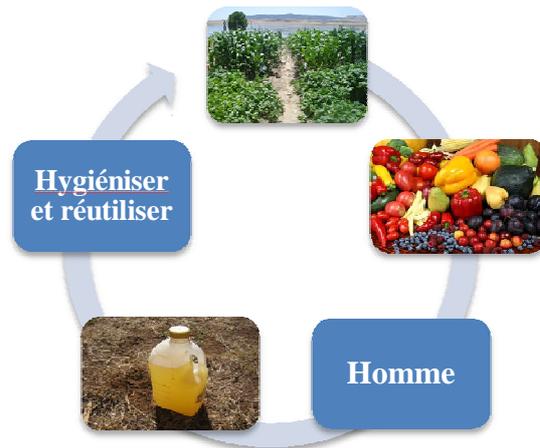


Figure 2. Ecosan, système d’assainissement des excréta humains qui vise à valoriser les urines et les fèces (Manuel Ecosan. 2009)

Concrètement, dans une vision plus globale d’équité et de société durable, l’assainissement tend, via cette nouvelle approche, à satisfaire des critères essentiels, à savoir :

- ✓ prévention des maladies et protection de l’environnement.
- ✓ accessibilité aux populations les plus démunies et simplicité d’installation.
- ✓ acceptation du système en respectant les valeurs culturelles et sociales locales.

1.2. Assainissement écologique au Maroc

Les installations sanitaires durables peuvent être construites selon les besoins avec des techniques de pointe ou des techniques plus simples, pour des installations centralisées ou décentralisées, ce qui permet une grande flexibilité des dispositifs. Des centaines de milliers de toilettes à déshydratation et à compostage ainsi que des stations de biogaz sont en service dans le monde aujourd’hui, la plupart dans les zones rurales et les petites communautés. Ce dont nous avons besoin maintenant, est de développer les applications du concept d’assainissement écologique dans les milieux ruraux au Maroc et précisément dans la région du moyen Atlas (Aberghaz, 2009).

Le projet pilote Ecosan au village Ait Daoud ou Moussa de Dayet Ifrah est soutenu par le programme AGIRE qui gère le processus de sa mise en œuvre depuis la planification des missions des différentes phases du projet jusqu’à la mise en service des systèmes proposés et par là la satisfaction de la population. Les trois produits proposés pour le concept d’assainissement écologique au village sont :

- toilettes de déshydratations à séparation d’urine.
- systèmes assainissement biogaz.
- réutilisation des excréta et arrosage avec les eaux grises.

2. Fonctionnement d'ecosan (TDSU)

2.1. Description du système

Une toilette de déshydratation et séparation d'urine dite TDSU est une cuvette ou un siège spécialement conçus pour séparer l'urine et la stocker dans un récipient (Photo.1).

Une TDSU est constituée de trois cellules individualisées :

- un premier compartiment où cheminent les urines, collectées dans un deuxième temps.
- une fosse profonde qui recueille les fèces et les cendres qu'on utilise juste après défécation pour l'hygiénisation des excréta solide et éliminer les odeurs.
- un dernier compartiment qui récolte les eaux de lavage anal à part entière, puisque peu chargé en matière organique (Amedée, 2009).

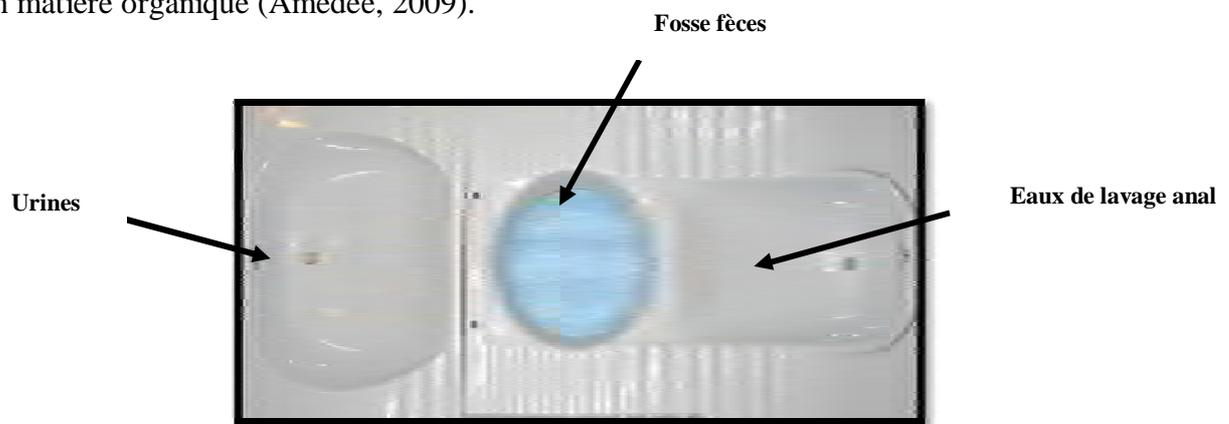


Photo1 : Siège de séparation des urines et des eaux de rinçage (Werner, 2010)

La séparation des urines et des fèces a pour but : la destruction des organismes pathogènes, l'empêchement des nuisances que peuvent générer ces produits ainsi manipulés, la facilité de leur transport ultérieur et l'utilisation finale.

Pour les fèces, le processus de déshydratation désigne une réduction de l'humidité contenu dans les produits à traiter jusqu'à moins de 25% par évaporation et ajout de matériaux secs (cendres, sable...).

L'odeur est dissipée dans la mesure où il y a une faible destruction des matières organiques en l'absence des micro-organismes responsables (CREPA, 2005).

2.2. Principe de fonctionnement

Le principe des latrines ecosan est basé sur la séparation des urines et des matières fécales. Les urines sont stockées dans un bidon pour être utilisées comme engrais liquide en agriculture. Les matières fécales sont collectées dans la fosse et sont déshydratées sous l'effet de la chaleur (Fig.3). Elles sont ensuite utilisées dans l'agriculture comme fertilisants organiques (Kiba, 2005).

a. Collecte des urines

Les TDSU représentent une manière efficace pour récupérer les nutriments des excréta et de collecter les fèces et l'urine séparément. Celle-ci est canalisée puis collectée hors de la toilette et recueillie dans un réservoir de stockage, un bidon en plastique (Makaya, 2009).

La séparation d'urine facilite le traitement et réduit les problèmes des mouches et de mauvaises odeurs dans les latrines. Les urines doivent être collectées en conditions d'anaérobiose pour éviter les pertes en azote.

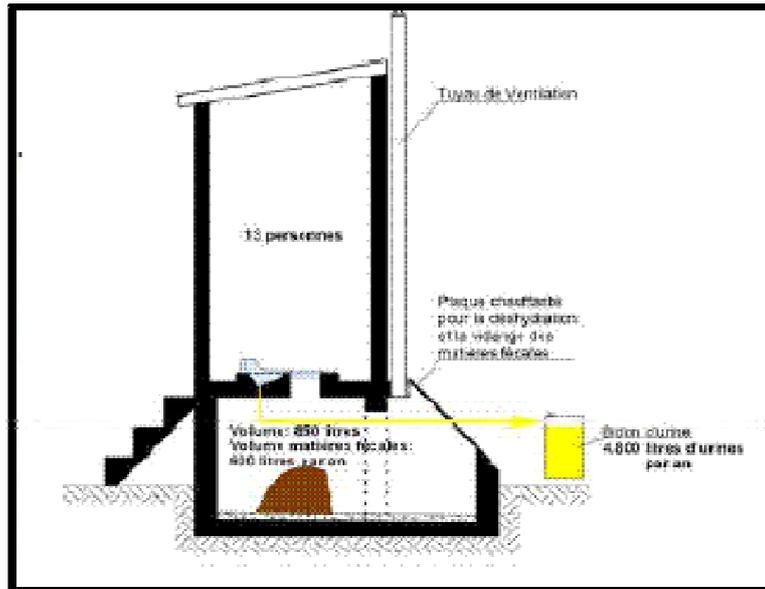


Figure 3. Toilettes de déshydratation à séparation d'urine en milieu rural (Adissoda et *al.*, 2004)

b. Stockage et traitement des urines

Dans le réservoir, l'urine stockée subit une réaction de transformation d'azote organique grâce à l'action d'une enzyme produite naturellement dans l'urine. L'uréase est l'enzyme qui catalyse la réaction de transformation de l'urée en dioxyde de carbone et ammoniac (Musculus, 1923), l'azote contenu dans l'urée est spontanément converti en ammoniac puis en nitrites en quelques heures (Fig.4). La dissociation de l'urée en ammonium/ammoniac dans l'urine augmente le pH, ce qui favorise l'abatement des microorganismes et explique l'odeur d'ammoniac (NH_3) de l'urine qui séjourne quelques heures dans un pot ou dans un seau hygiénique (Esrey, Gough, 1998).

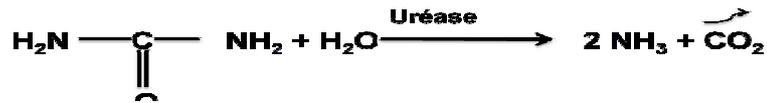


Figure 4. Réaction de transformation de l'azote organique en ammoniac catalysée par l'enzyme uréase (Larcher, 1923)

En fait, sous forme ammoniacale, l'azote ne peut suivre dans la nature que le chemin de l'oxydation. Il se forme ainsi des ions nitreux (NO₂⁻) particulièrement toxiques qui s'oxydent en nitrates (NO₃⁻). L'urine stockée dans le réservoir de la toilette devient un concentré d'ammonium contenant des ions de nitrites et de nitrates. D'où l'intérêt d'une dilution poussée jusqu'à 15 fois pour l'irrigation des plantes (Richert et *al.*, 2010).

Plusieurs études ont montrés que le temps de stockage recommandé pour les urines est de 2 mois avant utilisation. Après 1 mois de stockage, seuls les virus survivent et après 6 mois de stockage, il n'y a probablement plus de virus dans les urines. La température de stockage est également importante dans la vitesse d'inactivation des pathogènes. Sur la base de ces travaux scientifiques, l'OMS recommande des durées de stockage allant de 1 à 6 mois pour une utilisation de l'urine à grande échelle. A l'échelle familiale l'urine peut être valorisée directement au jardin et au potager, le tableau n°1 résume le temps et la température de stockage des urines (OMS, 2006).

Tableau 1. Temps de stockage recommandé pour les urines basée sur des estimations de contenu pathogène (Adapté de Jönsson et al. 2000 et Höglund, 2001)

Température de stockage	Temps de stockage	Pathogènes potentiellement contenus dans l'urine	Cultures recommandées
4°C	>1 mois	Virus, protozoaires	Cultures alimentaires et fourrages
4°C	>6 mois	Virus	
20°C	>1 mois	Virus	
20°C	>6 mois	Probablement aucune	Toutes cultures

3. Les avantages de l'ecosan

La réalisation de l'assainissement écologique peut avoir de nombreux avantages pour l'environnement, les ménages et les conditions de vie des familles. Nous résumerons ci-dessous ces avantages : Préservation des ressources en eau et de l'environnement, favorisation de la réutilisation des eaux

usées y compris les éléments nutritifs, les éléments traces et l'énergie renouvelable (biogaz), préservation de la fertilité des sols, amélioration de la productivité agricole, amélioration de la santé publique par la minimisation des apports de pathogènes des excréta humains dans le cycle de l'eau et préférence pour les systèmes d'écoulement partiels modulaires décentralisés, pour des solutions plus appropriées et coûts avantageux (Werner, 2010).

II. L'agriculture conventionnelle et le mode Eco

1. Besoin des plantes en éléments nutritifs

Comme tous les êtres vivants, les plantes ont besoin de nourriture pour croître, se développer et se reproduire. Pour la croissance les plantes ont besoin des nutriments (NPK) qui sont essentiels, des éléments en trace (Ca, Na et d'autres), de la lumière et de l'eau afin de produire des aliments sains.

Cependant, la quantité totale d'éléments nutritifs à disposition constitue un facteur clé pour le rendement des cultures (FAO, 2005).

De tous les nutriments, l'azote constitue l'élément essentiel qui se caractérise par sa dynamique et par la complexité de ses voies de transformation. Il est un élément nutritif important pour la croissance et le développement des végétaux et donc à la production de la biomasse pour les plantes cultivées (Spiess et Richner, 2005). Sa carence provoque la diminution marquée de la chlorophylle, d'où chlorose (jaunissement) d'abord des vieilles feuilles puis des jeunes, suivie du ralentissement et de l'arrêt de la photosynthèse, ce qui influence sur le rendement des cultures. Cela explique l'importance de la nutrition azotée en nutrition végétale (Lerot, 2006).

En outre, l'intensification de l'agriculture requiert un accroissement des flux d'éléments nutritifs aux cultures, ainsi qu'une plus forte absorption de ces nutriments par la culture. La diminution de stocks de nutriments dans le sol, observée dans de nombreux pays en développement, est une forme de dégradation du sol.

D'autre part, d'excessives applications de nutriments, ou une gestion inefficace de ces applications, peut causer des problèmes environnementaux, surtout si de grandes quantités d'éléments nutritifs se perdent du système sol/culture dans l'eau et l'air (Moughli, 2000).

2. Valeur nutritive de l'urine

L'urine est un liquide biologique composé des déchets de l'organisme. Elle est sécrétée par les reins par filtration du sang, puis par récupération des molécules de l'urine « primitive » pour former « l'urine définitive » qui sera expulsée hors du corps par le système urinaire (Tossou, 2009).

L'urine contient les trois éléments nutritifs les plus importants pour la plante et que les fermiers achètent et utilisent comme des engrais artificiels. A savoir, l'azote (80 % de l'azote organique contenu

dans nos déjections se trouve dans l'urine) (Esrey et *al.*, 1998) le phosphore et le potassium - mais également tous les éléments essentiels dont les plantes ont besoin pour leur croissance durant leur cycle de développement, qui consiste à passer de l'état de graine à la production d'une autre génération de graines.

On comprend facilement l'importance du devenir de l'urine pour le milieu récepteur. L'urine est donc une excellente source d'azote pour les plantes (Jonson et Vinneras, 2004).

Le tableau n° 2, présente les principaux constituants de l'urine :

Tableau 2. Composition de l'urine humaine (Tossou, 2009)

Eau	Composés organiques	Les minéraux
95%	Urée Acide urique Acide hippurique Créatinine Uro-bilirubine Eventuellement catabolites inactifs des médicaments ou toxiques à élimination rénale	Sodium Potassium Chlore Phosphore carbonates Sulfates

Certains jardiniers utilisent l'urine comme fertilisant avec une concentration d'un volume d'urine pour 10 à 20 volumes d'eau d'arrosage sur les plantes pendant la période de croissance, non diluée, l'urine brûle les racines de nombreuses espèces.

3. Mode d'application de l'urine en fertilisation agricole.

3.1. Technique d'application

Une méthode d'application proche du sol est recommandée pour minimiser la formation d'aérosol. A grande échelle, souvent un équipement agricole spécial est utilisé alors qu'à petite échelle l'application s'effectue souvent manuellement, il est souvent plus sûr de manipuler de petits volumes et il vaut mieux ne pas diluer l'urine avant application.

Pour une meilleure fertilisation, l'incorporation de l'urine dans le sol aussitôt que possible afin d'éviter les pertes en ammoniac. Ainsi, l'incorporation peut profonde est suffisante. En pratique cela peut être fait mécaniquement en arrosant ensuite avec de l'eau.

La méthode la plus efficace pour l'application des urines est celle des sillons (fig.5) qui sont couverts après application (Gensch et *al.*, 2011).

L'irrigation par aspersion est non recommandé car elle cause la perte en ammoniac par contre l'irrigation au goutte-à-goutte est favorable.

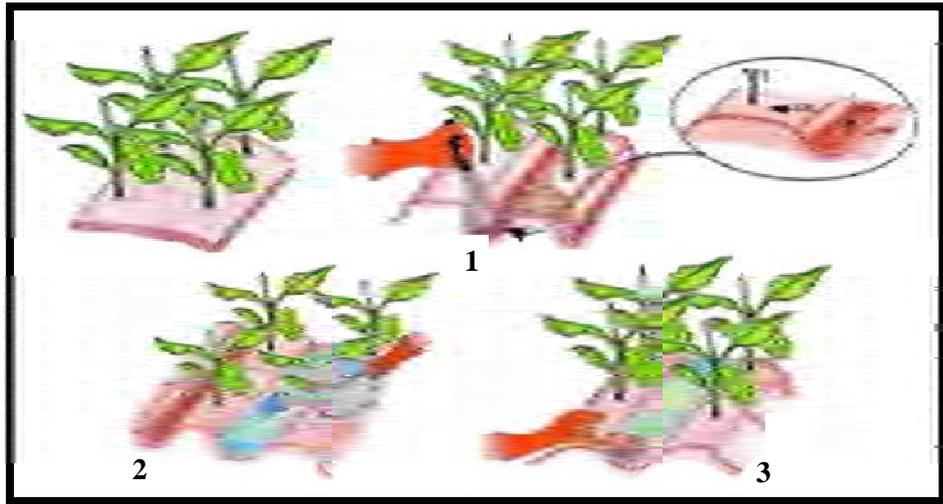


Figure 5. Technique d'application des urines par sillon (1. Formation du sillon, 2. Application de l'urine, 3. Fermeture du sillon) (Gensch et *al.*, 2011)

3.2. Fréquence d'application

Au premier stade d'exploitation il faut une bonne disponibilité de tous les nutriments importants. Pour cela une 1ère application est favorisé avant les semailles/au semis, ensuite une 2ème application doit avoir lieu environ $\frac{1}{4}$ de temps entre les semailles et la récolte et enfin une application antérieure peut être programmée selon les besoins de la plante (Richert et *al.*, 2010).

3.3. Dose d'application

Le taux d'application varie selon la nature du sol, des plantes cultivées et la saison. Ce taux est régi principalement par la quantité de nutriments disponibles, spécialement l'azote, le souci d'éviter toute inhibition de la germination et de la croissance des jeunes pousses, ainsi que par les limites pratiques du volume qui peut être répandu dans les champs ou incorporé au sol (Baragé, 2006-2008).

4. Précautions d'utilisation de l'urine en agriculture

4.1. Mesure sécuritaire d'application

L'urine est en général stérile et ne constitue un danger que dans certains cas. Les pathogènes les plus fréquents et qui peuvent exister dans l'urine provoquent généralement la typhoïde, la paratyphoïde et la bilharziose. Tous les germes pathogènes et les parasites ne sont pas mortels mais prédisposent les populations à être constamment malades, fragiles et amènent à la mort par d'autres causes (Esray et *al.*, 2001).

Pour les ménages individuels, l'utilisation directe après la collecte est acceptable. Ainsi, le stockage est nécessaire pour les grands systèmes et une période d'au moins un mois doit être respectée entre la fertilisation et la récolte (OMS, 2006).

En répandant l'urine, il est nécessaire de prendre les précautions liées aux managements de matières potentiellement infectieuses. Parmi ces précautions : le port de gants et un lavage sérieux des mains après la manipulation (Kpangon *et al.*, 2009).

4.2. Concept de Barrières multiples

La contamination par les pathogènes peut se faire soit directement par contact direct avec les excréta, c'est-à-dire toucher les excréta et en ingérer accidentellement par les mains ou indirectement, à travers l'eau d'une nappe contaminée (Fig.6).

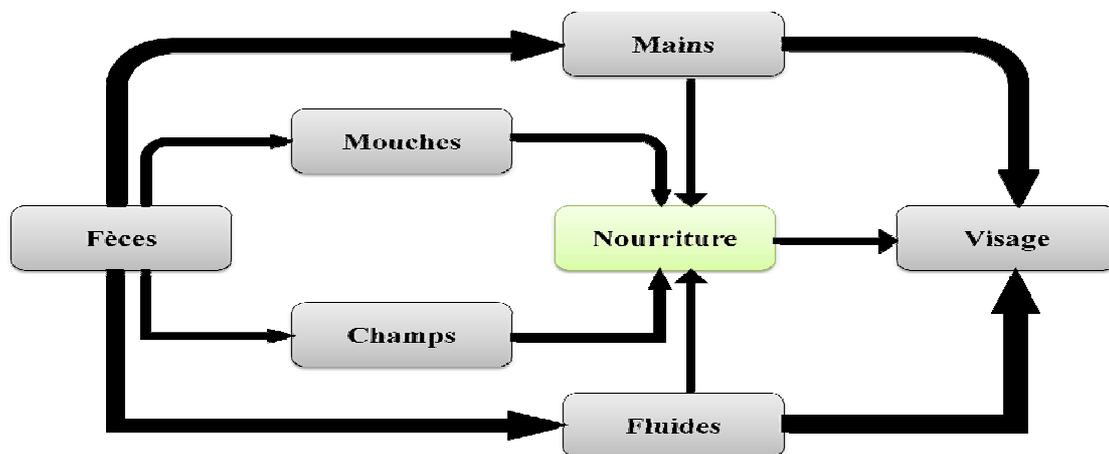


Figure 6. Les voies de transmission des pathogènes entériques (Esrey *et al.*, 1998)

L'approche à barrières multiples est la base du traitement des excréta. Ce concept est mis en place afin d'assurer la sécurité en matière de réutilisation. Il se base sur:

- La sensibilisation et l'éducation sur l'hygiène et les aspects de réutilisation
- Le traitement adéquat pour l'aseptisation (stockage, séchage, compostage...)
- Le respect des bonnes conditions de manipulation
- Le respect du choix des cultures et des périodes d'épandage.

Tableau 3. Voies de transmission et mesures techniques pour limiter et minimiser les risques
(Shonning et Stenström, 2004)

Zone ou procédure conduisant à l'exposition	Voie de transmission	Mesures techniques	Mesures comportementales
Toilette	Contact direct ; Transport vers les eaux souterraines ; Contamination Environnementale.	Disponibilité d'eau pour lavage des mains ; Chambre de collecte surélevée et étanche (pour éviter l'écoulement vers les eaux souterraines)	Lavage des mains ; Propreté des toilettes.
Manipulation primaire - collecte et transport	Contact direct.	Addition de cendre, chaux ou autre moyen pour réduire les microorganismes dans la toilette ; Information des personnes assurant la collecte et le transport des excréta.	Port des gants ; Lavage des mains ; Addition de cendre, de chaux, ou autre moyen pour réduire le contenu microbien pendant la manipulation.
Traitement	Contact direct ; Contamination environnementale.	Choix d'un endroit adéquat ; Traitement dans des systèmes fermés ; Information et signalétique sur site.	Port des gants et vêtements de protection ; Lavage des mains ; éviter le contact dans les enceintes de traitement.
Manipulation secondaire - usage, fertilisation	Contact direct.	Information des agriculteurs réutilisant les excréta ; disponibilité d'équipements spéciaux.	Port des gants ; lavage des mains et de l'équipement utilisé.
Champ fertilisé	Contact direct ; Transport vers les eaux de surface ou souterraines.	Enfouissement des excréta dans le sol ; Information et signalétique.	Eviter les champs récemment fertilisés.
Récolte fertilisée	Consommation ; Contamination de la Cuisine.	Choix d'une culture	Préparation et cuisson correcte des produits alimentaires ; propreté des surfaces et des ustensiles de cuisine.

Pour prévenir la contamination, il existe plusieurs mesures de barrières techniques ou comportementales. Il s'agit soit de réduire le contact avec les urines ou fèces, soit de faire décroître le nombre des pathogènes dans les excréta à manipuler. La réduction du contact s'obtient par des systèmes fermés, le port de protections personnelles, l'usage d'outils appropriés pour les manipulations et en bout de chaîne par l'enfouissement des excréta dans le sol. Les précautions générales à prendre lors des manipulations sont souvent considérées comme des mesures additionnelles et non comme des barrières proprement dites (Tab.3)

4.3. Sensibilisation pour la réutilisation

La manipulation des urines doit respecter certaines procédures d'emploi. En effet, le port d'un équipement spécifique est obligatoire : gants, bottes, masques, cache-nez et lavage systématique des mains après chaque manipulation (OMS, 2006). Il est préférable de limiter la fertilisation par les produits d'ecosan à certaines cultures de plein champ et à des périodes de végétation bien déterminées. En ce qui concerne les régions à forte précipitations, l'application doit être répétée après chaque période pluvieuse.

En règle générale, il faut observer un mois d'attente entre la fertilisation et la récolte et faire en sorte que le fertilisant ne doit en aucun cas être au contact des cultures car il cause le brûlage foliaire des plantes (Manuel Ecosan, 2006).

III. La loi et l'assainissement écologique

La faiblesse des aspects législatifs et institutionnels par le monde de l'approche ecosan rend difficile son implémentation comme solutions d'assainissement des eaux usées.

Au Maroc, le législateur a pris en considération dans les textes de lois, la protection de l'environnement en général et la promotion du secteur d'assainissement en particulier.

L'article 40 de la Charte Communale relatif à l'hygiène, la salubrité et l'environnement charge le Conseil Communal de veiller à « l'évacuation et au traitement des eaux usées et pluviales » et à « la lutte contre toutes les formes de pollution et de dégradation de l'environnement et de l'équilibre naturel » (Loi n° 78-00 portant Charte communale, 2000).

En ce qui concerne l'assainissement rural en particulier, l'article 54 mentionne « qu'il est interdit de rejeter des eaux usées[...] dans les oueds à sec, dans les puits, abreuvoirs et lavoirs publics, forages, canaux ou galeries de captage des eaux. Seule est admise l'évacuation des eaux résiduaires ou usées domestiques dans des puits filtrants précédés d'une fosse septique » (Loi de l'eau n°10-95, 1995).

L'assainissement écologique (ecosan) reflète l'esprit de la loi sur l'hygiène sanitaire, l'assainissement rural et la protection de l'environnement.

PARTIE 2. MATERIEL ET METHODES

L'ecosan est une nouvelle approche qui implique un recyclage productif et sain des divers rejets de ménages tel : Eaux usées, fèces, Urines et résidus organiques. Il s'agit, en fait, d'un cycle ; un système durable, en boucle fermée qui traite les excréta humains comme ressource et non déchet. Ceux-ci sont transformés jusqu'à ce qu'ils soient exempts d'organismes pathogènes et réutilisés dans l'agriculture (Manuel Ecosan, 2009).

Concrètement, dans une vision plus globale de solidarité, d'équité et de développement durable, le projet s'est immiscé au sein du milieu rural, précisément au village Ait Daoud ou Moussa dit 'Dayet Ifrah'. Ce village passe pour être un site concentrant bon nombre de problèmes surtout en ce qui concerne l'insuffisance voir le manque d'infrastructures d'assainissement adéquates.

Les objectifs de ce projet s'annonçant comme suit:

- rendre les habitants de village de Dayet Ifrah conscients de la problématique de la dégradation de l'environnement et de la rareté des ressources en eau et impliquer les femmes dans le projet.
- mener une campagne de sensibilisation pour les villageois, les associations et les usagers sur les produits ecosan et la valorisation des matières fertilisantes.
- analyser et présenter les résultats de l'enquête ménage chez 30 familles et juger de l'impact du projet sur la population rurale.

L'étude ainsi menée comprend deux volets majeurs:

- un volet agronomique qui s'occupe des modalités de collecte, d'hygiénisation et de valorisation des produits d'assainissement écologique (urines et fèces) dans un jardin d'essai réalisé à cet effet;
- un volet social qui assure :
 - d'une part la sensibilisation des paysans quant au concept d'assainissement écologique,
 - d'autre part l'appréciation du degré d'acceptabilité de l'ecosan par la population locale en menant une enquête-ménage.

La finalité du projet étant de desservir une population pauvre, améliorer leur condition de vie et démontrer que la valorisation des produits ecosan au village « Ait Daoud ou Moussa » est possible et peut servir de modèle au Maroc rural.

Ce projet évolue en deux phases importantes (Fig.7):

1. une phase de diagnostic suivi de planification : où il est question d'appréhender le cadre de l'étude, analyser sa faisabilité, évaluer ses enjeux socio-économiques, concevoir et planifier les étapes de mise en œuvre.

2. une phase opérationnelle de mise en œuvre : une fois validé, l'exécution du plan démarre par une sensibilisation de la population locale et son implication dans la réalisation des essais. Une fois les résultats obtenus, ils sont évalués au même titre que l'impact du projet.

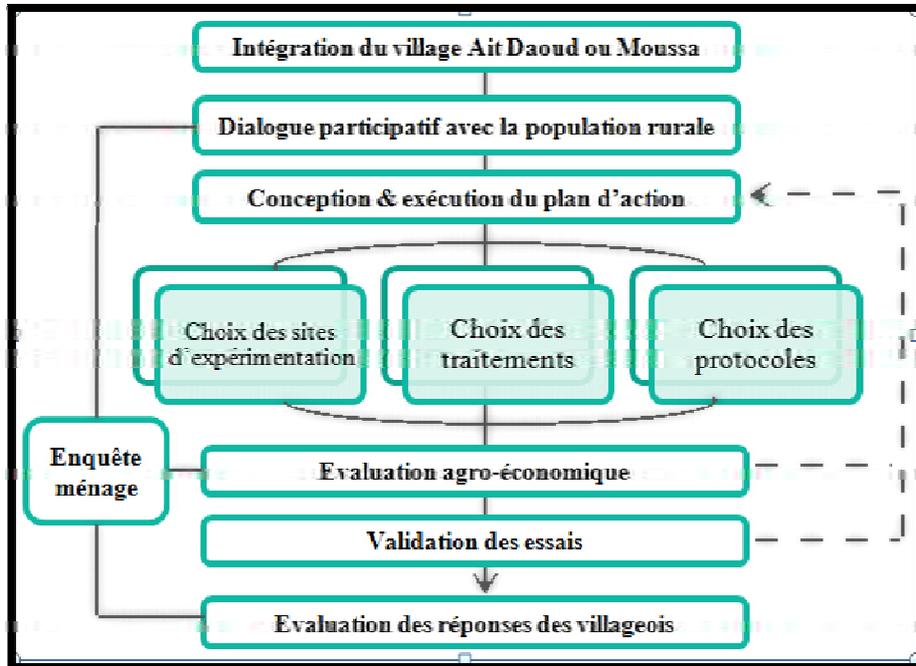


Figure 7. Schéma résumant des étapes de conception du projet de valorisation des produits ecosan en agriculture

I. STATION EXPERIMENTALE

1. Description du site

1.1. Situation géographique.

Le village de Dayet Ifrah est situé dans la région du Moyen Atlas sur une altitude d'environ 1700 mètres. Il se situe dans la province d'Ifrane et est située à environ 17 km d'Ifrane, à 38 km d'Azrou, à 60 km de Meknès et Fès, à 190 km de Rabat, et à 300 km de Casablanca (El Kasmi, 2009). Ce village appartient à la commune Dayet Aoua et comprend également, Dayet Hachlaf, Dayet Ifrah, Ait Sidi Mimoune, et Ait Hamou Lhaj (Fig.8).



Figure 8. Situation géographique du village d'Ait Daoud ou Moussa (Donnée cartographiques, Google map ,2011)

1.2. Situation météorologique

- Climat

Dayet Ifrah bénéficie d'un climat très humide et tempéré avec une pluviométrie annuelle de 1118 mm et une température moyenne annuelle de 11,4 °C. L'année est caractérisée par Deux saisons extrêmes, un été chaud malgré l'altitude, et les orages assurent une humidité et diminuent la sécheresse. Un hiver très froid et pluvieux, marqué par le gel et la neige (Fig. 9).

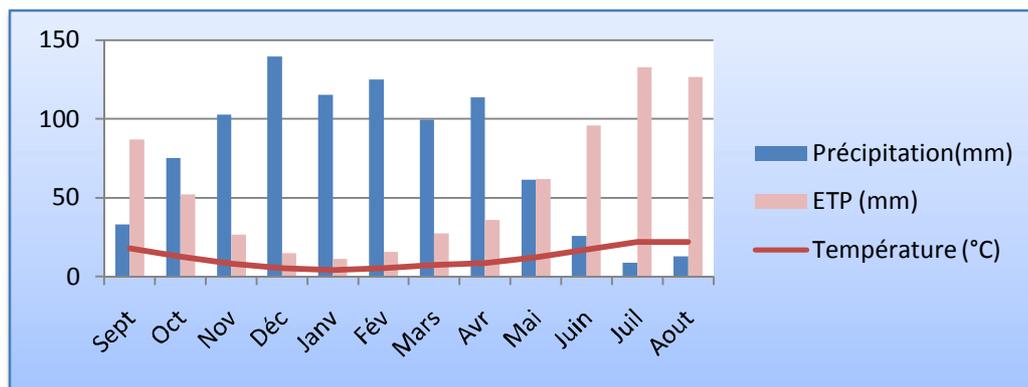


Figure 9. Variation de la moyenne mensuelle des précipitations, température et évapotranspiration (d'après la station climatologique de la région d'Ifrane Aéroport, 1973-2003) (DRPE, 2009)

- *Hydrologie*

Les oueds du Moyen Atlas forment quantités de lacs naturels et artificiels. Depuis Ifrane, une route conduit à Dayet Aoua, établi au cœur d'une réserve naturelle d'oiseaux, puis Dayet Hachlaf, Ait Sidi Mimoune, et Ait Hamou Lhaj, puis se poursuit jusqu'à Dayet Ifrah, l'un des plus grands lacs de la région où l'on peut contempler des hérons cendrés, des aigrettes ou des grues (Phpto2).



Photo 2. Lac Dayet Ifrah faisant partie de l'aire « parc naturel d'Ifrane » à protéger (Dayt Ifrah, Mai 2011)

1.3. Situation socio-économique

a. Situation sociale

Le taux d'analphabétisme est assez élevé, il est de 68 %. Il atteint chez les âgées de plus de 50 ans 55,6 % chez les hommes et femmes 81,4 %. Les femmes au village s'occupent des travaux domestiques principalement cuisiner, ramener l'eau ainsi que le bois pour le chauffage. Pendant leurs temps libres elles exercent l'artisanat du tapis.

Le village a accès à l'électricité et à l'eau potable via des bornes fontaines constitué d'un forage de 102m relié à un petit réservoir et desserve 7 bornes fontaines. Ce système d'alimentation en eau potable, géré par une association d'usagers d'eau, couvre les besoins de l'agglomération Dayet Ifrah (El Kasmi, 2009).

Manque d'infrastructure de collecte et traitement des produits d'assainissement. Plus de 30% des ménages sont dépourvu de tout système d'assainissement, le reste des villageois disposent de puits perdus.

La population berbère est estimée à 1 500 habitants. L'habitat est de type dispersé et les constructions sont traditionnelles en pierre dure. Les accès aux différents douars se font par des pistes. Le village

dispose de quelques infrastructures tel que: trois écoles d'enseignement primaire, trois mosquées, un dispensaire qui n'a jamais repris ses activités par absence de l'autorisation du ministère de la santé, un club des femmes et une maison de jeunesse réalisés dans le cadre de l'INDH et trois forages réalisés dans le cadre du PAGERE.

Dayet Ifrah fait partie du circuit touristique des Dayats dans la région. Cependant, le manque d'infrastructure empêche son développement.

b. Situation économique

- Agriculture

L'agriculture concerne le maraîchage, principalement la pomme de terre, les céréales (blé) et les vergers (pommiers). Le type de sol ne permet pas une grande exploitation agricole à cause de la présence des cailloux qui couvrent les champs. En effet, seulement 30 % des terres sont actuellement exploitées. Ainsi, l'élevage est important dans la région et concerne les ovins et les bovins. L'agriculture et l'élevage constituent la seule source de revenu du village (El Kasmi, 2009).

- Autres activités

L'artisanat du tapis, l'exploitation forestière le transport et le tourisme (limité par le faible réseau routier) constitue des ressources complémentaires. Dayet Ifrah fait partie du circuit touristique des Dayats dans la région. Cependant, le manque d'infrastructure empêche son développement (El Kasmi, 2009).

2. Projet pilote ecosan

2.1. Genèse du projet

Appuyé par la Chaire unesco « Eau, Femmes et Pouvoir de Décisions », l'onep et l'Université Al Akhawayn à Ifrane (AUI), le programme agire du SEEE et de la giz a initié la planification et la mise en œuvre du projet pilote d'assainissement écologique dans la perspective d'améliorer les conditions de vie au village de Dayet Ifrah.

En 2009, une enquête a été élaborée pour la collecte de données utiles à la réalisation du projet sur le site de Dayet Ifrah. Les villageois ont été tenu informés du projet, à travers des séances de sensibilisation. Les données recueillis ont été analysées afin de déterminer les ménages qualifiés et engagé à recevoir un ouvrage pilote d'assainissement écologique.

En 2010, un atelier de travaux de construction et de réalisation des ouvrages ecosan a démarré. Le résultat de cet atelier est la mise en place de quatre TDSU, deux digesteurs et cinq filtres plantés qui ont été aménagés au village.

En 2011, vient la phase d'évaluation du bon fonctionnement des installations aménagées au village et la valorisation des produits ecosan.

2.2. Choix du site de Dayet Ifrah

Le village de Dayet Ifrah pour le projet pilote ecosan a été choisi pour les raisons suivantes :

- le besoin en assainissement existe dans le village : la majorité de la population disposant d'un assainissement n'a pas d'installations sanitaires adéquates, le reste de la population défèque dans la nature ;
- la volonté de la population pour l'accès à un branchement individuel d'AEP, par conséquent un assainissement autonome et adéquat s'impose ;
- la possibilité de réutiliser des produits ECOSAN en agriculture car environ 95% de la population pratique l'agriculture comme activité principale.
- intégration du volet assainissement dans le cadre du programme AGIRE ainsi que du projet global de développement durable à Dayet Ifrah initié par la Chaire UNESCO et l'Université Al Akhawayn (Aberghaz, 2009).

II. LA REUTILISATION DES URINES EN AGRICULTURE.

Le projet du jardin de démonstration, consiste en la valorisation des produits collectés par un système de TDSU (toilettes de déshydratation et séparation d'urines). Ces produits sont stockés et hygiénisés pour éliminer les éventuelles pathogènes faisant atteinte à la salubrité humaine.

Nous avons procédé à deux méthodes de travail, l'une au niveau du champ au village de Dayet Ifrah et l'autre dans des bacs de végétation au niveau de la faculté des sciences de Rabat.

1. Matériel d'étude

1.1. Matériel végétal

L'étude a été effectuée sur la plante de la courgette, c'est une plante annuelle, rampante, de la famille des cucurbitacées. Elle se caractérise par un développement rapide des fruits, nécessitent une récolte régulière et sont consommés avant maturité. Il peut être de forme allongée ou ronde, et de couleur jaune ou verte plus ou moins foncée (Conseil et *al.*, 2009). Cette espèce est très cultivée au Maroc. Les courgettes, qui sont utilisées couramment comme légume, ont les fruits jeunes, encore tendres, récoltés avant qu'ils ne dépassent 10 à 15cm (Bellakhdar, 1997).

Le choix du matériel végétal est basé sur les aspects suivant:

- ❖ plante qui ne réfute pas la fertilisation azotée : certains plantes peuvent s'auto-suffire en fixant l'azote atmosphérique et dès lors n'ont point besoin d'ajout azoté (comme les légumineuses) ou d'autres qui se trouvent altérés à certaines doses d'azotes.

- ❖ plante en adéquation avec les conditions abiotiques (sol, température, ensoleillement, pluviométrie) du site de l'expérience.
- ❖ plante a cycle court : Etant donnée la contrainte du temps alloué à l'expérience.
- ❖ plante à valeur nutritive et commerciale importante.

Ceci fait, il a été décidé d'opter pour : la courgette verte (Tab.4).

Tableau 4. Exigences culturales de la plante de la courgette (Skiredj et *al.*, 2002)

CULTURES	<p style="text-align: center;">COURGETTE VERTE</p> 
Classification botanique	Famille: Cucurbitaceae ; Genre: Cucurbita ; Espèce: Cucurbita <i>pepo</i> .
Préférence climatique	L'optimum de croissance racinaire est de 22-25°C avec un minimum de 12°C exigée. Il est 20-22°C pour la croissance végétative de jour et 17-18 de nuit.
Préférence au sol	Les exigences en sol ne sont pas majeures. Le pH optimal du sol est de 5,5-6,8. Le sol ne doit pas être asphyxiant ni trop frais au printemps. Les sols pauvres, trop lourds ou compacts sont à éviter. Un sol trop froid provoque la fonte des jeunes plantules.
Besoins en nutriments (NPK)	Apport de fond : 60Kg N+ 150 kg P ₂ O ₂ + 100 K ₂ O kg /ha. En couverture de 40kg N + 50kg P ₂ O ₂ + 30 K ₂ O kg /ha.
Durée du Cycle	2 mois.
Consommation	La partie consommée est le fruit avant maturité, avec une valeur nutritive, diététique et gustative importante (10% MS, 1%N, 6% sucres, 0,5% sels minéraux, carotènes).

1.2. Sols

a. Caractérisation des sols

Il s'agit d'un sol calcaire, on le perçoit nettement à sa couleur blanchâtre, d'aspect crayeux. La terre, légère et claire, se dessèche rapidement surtout en été, avec des craquelures caractéristiques. Il est caractérisé par la présence abondante de cailloux, qui remontent en permanence à la surface (Photo3).



Photo 3. Appréciation visuelle du type de sol du terrain utilisé (Dayet Ifrah, 2011)

Le sol calcaire est caractérisé par sa grande perméabilité à l'eau ce qui favorise la pénétration des gelées. Outre, le calcaire permet la décomposition de la matière organique, et l'assimilation des engrais.

Pour le sol utilisé en ex-situ, il s'agit d'un sol sableux, on le perçoit nettement à sa couleur, et son aspect. Il est récupéré de la région de Mamora.

La Mamora est une vaste plate-forme quaternaire qui s'étale depuis l'Océan entre Rabat et Kenitra, jusqu'à 70 km vers l'intérieur du pays, limitée au Sud par la vallée du Bouregreg et les contreforts du plateau central et au Nord par la plaine du Gharb. Les sols de cette région sont de nature complexes comportant au moins la superposition de deux dépôts (parfois plus): le sable sur l'argile sableuse rouge (Lepoutre, 1967).

b. Analyse des sols : Dosage de l'azote Total par la méthode Kjeldahl (annexe 1).

L'analyse des échantillons de terrain de l'expérience a permis d'apprécier les caractéristiques des deux sols, notamment leur fertilité en matière d'azote. Ainsi, la richesse des sols en nutriment doit être apprécié afin d'y remédier par l'apport d'engrais et d'amendements en qualité et quantité convenables. Pour le mode opératoire de l'analyse des sols (photo 1, annexe 2).

2. Méthodologie suivie au niveau du champ

2.1. Préparation du terrain

a. Préparation du terrain

Il est à signaler que la surface octroyée est estimée à 1400m² soit (7m x 200m). Un labourage du sol, essentiel afin d'élimination des pierres et cailloux et l'aération des couches superficielles pour faciliter l'incorporation des engrais. Il a été effectué mécaniquement à l'aide d'engin tracteur, avec des disques racleurs de près de 50cm de diamètre.

Après cette première phase, le sol rest dur, il a été prévu de le laisser exposé au soleil pour assécher les roches et le retravailler après.

Dans un deuxième temps, le sol est nivelé en couvrant les creux et les bosses qui ont été crée au passage de l'engin et briser toutes les mottes de terres indésirables pour le rendre parfaitement plat et faciliter l'obtention d'une levée homogène. Une fois le terrain aplatit, la surface a été affinée pour permettre aux graines de germer dans une terre légère. Aussi, il est recommandé de procéder au terrassement des parcelles afin de contrecarrer l'effet pente (photos 2, annexe 2).

b. Dimensionnement du terrain

Le dimensionnement des parcelles est établi en fonction des traitements envisagés. Des répétitions au nombre de trois sont considérées pour une analyse statistique des résultats obtenus. L'effet de bordure est important à respecter pour éviter les interférences entre les traitements établis (photo 3- annexe 2).

Ainsi, l'organisation du terrain en parcelles s'est effectuée par:

- la mise en place des limites de parcelles et blocs.
- le dimensionnement optimal des parcelles dépendamment des cultures envisagées
- l'alternance et la répartition de différentes traitement au sein d'un bloc de parcelles (en gardant en vue l'effet parcelle et éviter de même l'effet bordure)
- le positionnement des entrées de champs pour permettre un accès facile.

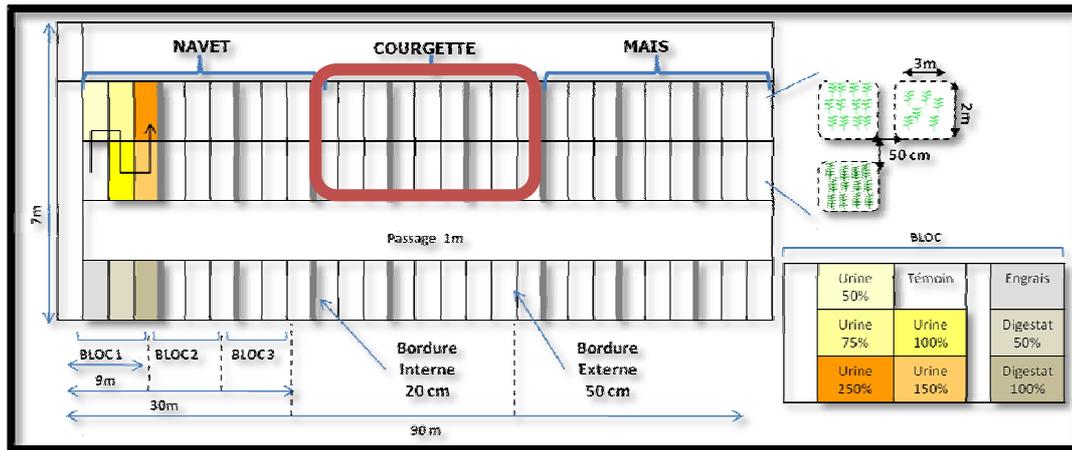


Figure 10. Plan de dimensionnement du jardin d'essai démonstratif

La surface considérée pour l'expérience est d'environ 700m^2 . Cette surface est découpée en trois lots à raison de trois cultures. Chaque lot de culture est réparti en trois blocs (trois répétitions). Pour chaque bloc, on a assigné neuf parcelles de $(2\text{m} \times 3\text{m})$ par parcelle. Chaque parcelle a fait l'objet d'un traitement spécifique (Fig.10).

Pour la courgette la surface considérée est d'environ 230m^2 et les traitements utilisés sont au nombre de 7 répartis comme suit :

- T_0 = Témoin absolue sans apport de fertilisant ;
- T_1 = Témoin avec apport d'engrais chimique ;
- T_2 = Apport d'Urine à 50% ;
- T_3 = Urine à 75% ;
- T_4 = Urine à 100% ;
- T_5 = Urine à 150% ;
- T_6 = Urine à 250%.

2.2. Mise en culture des semis

Le semis de la courgettes se fait directement par poquets de 2-3 graines (trou de 10cm de profondeur) disposées en lignes jumelées (1,5 à 2m) par bassin, de façon à garder une certaine distance entre les semis (20cm) ce qui donne une densité de 16 000 pieds/ ha, soit 16 pieds par parcelle (Skiredj et *al.*, 2002).



Photo 4. Travaux de mise en culture de la courgette (Dayet Ifrah, juin2011)

2.3. Traitements utilisés

a. Témoin absolu

Le témoin reste sans apport de fertilisant en vue d'évaluer l'intérêt des apports en urine. Il s'agit de la référence choisie : le témoin passe par les mêmes étapes d'expérience sauf qu'il est privé de tout apport externe en fertilisants.

b. Engrais (NPK 7-12-7)

Les engrais minéraux sont des matériaux, naturels ou manufacturés, qui contiennent des éléments fertilisants essentiels pour la croissance et le développement normaux des plantes. Ces engrais sont principalement composés de l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Ils présentent souvent un impact sur l'être humain et sur l'environnement dans lequel il évolue (FAO, 2005).

L'engrais utilisé dans l'expérience est ternaire complexe granulé NPK (7-12-7) dont l'utilisation est répandue au Maroc. La composition des engrais est donc, par convention, toujours mentionnée dans l'ordre N-P-K et exprimée en pourcentage (%). Ainsi, 100kg d'engrais 7-12-7 contiennent 7kg de N, 12kg de P_2O_5 et 15kg de K_2O (photo 5- annexe 2).

L'application des engrais chimiques sert à comparer leur effet en parallèle à l'usage d'urine en tant que fertilisant écologique.

c. Urine humain

Les urines détournées des fèces, sont recueillies dans un bidon plastique communiquant avec les latrines par un tuyau en plastique. Lorsque le bidon est rempli, on le ferme hermétiquement et après 45 jours les urines sont en mesure d'être utilisées en agriculture pour la fertilisation des cultures.

La collecte d'urine se fait via des latrines ecosan ; cuvette conçue pour faciliter la séparation de l'urine et des matières fécales (photo5).



Photos 5. Ouvrage TDSU aménagé à Dayet Ifrah (à gauche) & Latrine ecosan (à droite) (Dayet Ifrah, juillet 2011)

Chez les ménages possédant des TDSU, l'urine est stockée dans des bidons pour une période d'hygiénisation d'un mois (photo 6- annexe 2).

➤ **Analyse des urines :**

Afin d'évaluer les caractéristiques physicochimiques et bactériologiques de l'urine collectée au niveau des ménages disposant des TDSU.

L'analyse chimique des urines est basée sur le dosage de NPK et d'autres éléments tel le calcium et le sodium, pour une application qui tient compte des besoins des plantes à cultiver. Et l'analyse bactériologique est basée sur la détermination des indicateurs de pollution fécale pris en compte dans cette partie sont uniquement les coliformes fécaux (CS) et les streptocoques fécaux (SF). Des analyses des échantillons avant et après le traitement de 2 mois de stockages sont réalisées. Pour le mode opératoire des analyses des urines (annexe1).

Ces analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ONEP centrale certifié « ISO 17025 version 2005 » et pour l'azote au niveau de l'INRA.

2.4. Application des fertilisants

a. Application d'engrais NPK

Pour retrouver la dose d'engrais à fournir, les nombres imprimés sur le sac de 50 kg sont divisés par 2. Donc, en utilisant l'engrais (7-12-7), nous obtenons les quantités suivantes d'éléments nutritifs :

- 7/2 : 3,5 kg N (quantité d'azote)

- 12/2 : 6 kg P (quantité de phosphore)

- 7/2 : 3,5kg K (quantité de potassium)

Au total 13 kg d'élément dont 3,5 kg N pour un sac de 50 kg soit 70g /kg de NPK.

L'apport de NPK tient en compte les besoins des plants en azote, il est appliqué au semis par dissémination sur la surface parcellaire (6m²) (tableau 5).

Tableau 5. Apport d'engrais établi en fonction des besoins spécifiques de la courgette

Culture	Besoin réel en N (kg/ha)	Quantité d'engrais (g /m ²)	Quantité d'engrais (g/parcelle)
Courgette	100	142,9	857,4

b. Application d'urine

L'application de l'urine prend en considération trois paramètres :

1. La méthode d'application : se fait de manière à éviter l'application directe et à respecter les règles de sécurité alimentaire.
2. Le taux d'application : quantité d'urine ajoutée dépendamment des besoins de la plante, de sa densité par unité de surface et de la composition du sol en nutriment.
3. Le temps d'application : la quantité d'urine ainsi déterminée est fractionnée dans le temps, pour répondre aux besoins des plantes à différents stades, mais aussi pour se faire une idée du degré d'assimilation des nutriments par la plante.

❖ Technique d'application

Pour une meilleure fertilisation, l'urine doit être incorporée dans le sol (peu profond) aussitôt que possible, cela permet d'une part d'éliminer les odeurs et d'éviter la génération d'aérosols.

L'application se fait le long de sillons, à 10-20cm des plants suivi d'un arrosage copieux. Ensuite, ces raies sont couvertes avec de la terre (photo 6).

L'apport d'azote est réalisé de manière à éviter l'application sur les feuilles, qui peut causer des brûlures foliaires ou encore l'aspersion d'urine, chose qui peut générer des pertes en ammoniac (CREPA, 2006).



Photo 6. Formation de sillons (à droite), méthode d'application d'urine (à gauche), Croissance après la 2^e application d'urine (Dayet Ifrah, 2011)

❖ Période d'application

Aux premiers stades d'exploitation, il est indispensable de veiller à la bonne disponibilité de tous les nutriments importants tout au long de la croissance des plantes. Ainsi l'application est répartie sur deux périodes:

- ✓ Première application: Une semaine après semis.
- ✓ Deuxième application: A environ une à deux semaines de la 2^{ème} application

L'application définitive d'urine est accomplie avec une période d'attente d'un mois entre les semailles et la récolte; ce calendrier est surtout recommandé pour les cultures consommées crues (WHO, 2006).

❖ Dose d'application

Dans cette étude, les besoins en nutriments se résument à un apport d'azote.

Les traitements préétablis sont appréciés en tenant compte de la teneur en azote dans l'urine qui est de **5,6g d'azote par litre** (d'après les résultats du dosage de l'azote) et en comptabilisant le reliquat d'azote au niveau du sol.

Ainsi, le besoin de la courgette en azote est de 90kg/ha. La quantité d'urine nécessaire pour sa fertilisation est de 1,7 litres/m². Ceci correspond à un apport répondant à 100% des besoins de la courgette en azote.

Tableau 6. Apports d'urine en fonction des traitements réalisés.

Doses d'urine à appliquer	50%	75%	100%	150%	250%
Quantité apportée (l/m ²)	0,85	1,28	1,7	2,55	4,25

La dilution utilisée pour la fertilisation des cultures est **1:2** soit 2 volumes d'eau pour un volume d'urine (Baragé, 2006-2008).

c. Mesures de protection

Au cours de la manipulation de l'urine, certaines mesures de précautions ont été prises en considération afin de ménager les éventuels risques qui peuvent découler de l'utilisation des produits ecosan en agriculture. Ainsi l'urine est:

- Appliquée diluée à l'eau ou arrosée après application.
- Introduite à ras du sol afin d'éviter la formation d'aérosol.
- Incorporée en l'enterrant dans le sol et arrosé ensuite avec de l'eau.

En ce qui concerne les pratiques additionnelles quant aux agricultures, il est recommandé de:

- ✓ Porter des gants et cache nez lors de la manipulation
- ✓ Impliquer le moins de contact possible avec les produits ecosan.
- ✓ Bien laver les mains après l'application.
- ✓ Laver le matériel utilisé pour éliminer les traces d'urine



Photo 7. Agriculteur œuvrant à l'application d'urine en adoptant les mesures de sécurité (Combinaison, port de gants et cache nez) (Dayet Ifrah, 2011)

2.5. Entretien des cultures au niveau du champ

a. Irrigation :

L'aspersion est utilisé pour arroser les cultures et ce jusqu'à l'obtention de levée, après l'irrigation se fait par gravité, via tuyaux qui longent les bassins par alternance et permettant des apports réguliers à une fréquence de 1 à 2 fois par semaine selon les conditions ambiantes (photo 8-annexe 2).

b. Démariage :

Après l'application d'urine, la densité des cultures au niveau des poquets a été réduite pour garder un niveau de croissance optimal.

c. Désherbage :

Les mauvaises herbes constituent un refuge aux pucerons vecteurs de virus, il est donc question de procéder au désherbage, manuellement, pour favoriser une bonne croissance des cultures et prévenir d'éventuelle contamination par des insectes ravageurs ou autres.

2.6. Echantillonnage

L'échantillonnage des cultures traitées préalablement par les urines permet de déterminer l'efficacité de ce produit dans la fertilisation agricole.

a. Les modalités d'observation:

Les observations sont basées sur le poids frais, le poids sec et le rendement en biomasse totale.

b. Prélèvement :

Les mesures à la récolte des composantes du rendement se font sur la même base d'échantillonnage. On mesure la biomasse totale sur une placette représentant environ $0,25\text{m}^2$ (Guerif et Seguin, 1990) dans une parcelle de 6m^2 tout en évitant les bordures.

L'échantillon ainsi prélevé est noté en fonction du traitement effectué et de son appartenance à un bloc donné.



Photo 8. Délimitation de la surface à prélever lors de l'échantillonnage (Dayet Ifrah, Aout 2011)

Le rendement en biomasse sèche est évalué après récolte. Les échantillons des 27 parcelles sont prélevés selon les traitements effectués, ils sont séchés au soleil pendant une semaine à dix jours. Le pesage est fait par échantillon et par traitement.

Le rendement est exprimé en nombre de plant/ m^2 corrigé par la densité des pieds/ m^2 et la surface de prélèvement de l'échantillon, le tout ramené au kg/ha (Vandendriessche, 2007).

c. La récolte :

La récolte est réalisée au terme du cycle de culture. La production a été distribuée en faveurs des familles bénéficiaires des TDSU (photo 9-annexe 2).

3. Méthodologie utilisée en bacs de végétations

Le suivi de l'évolution de la croissance en hauteur des plantes traitées par l'engrais chimique et par le fertilisant biologique (urine) n'a pu être réalisée au niveau du champ à cause de l'éloignement du champ expérimental. C'est pour cela, l'expérience en ex- situ est mis en œuvre dan des bacs de végétations a la FSR afin de favoriser le suivi périodique des mesures.

Les traitements utilisés sont (la dose 50%,100 % et 150%), avec 3 répétitions pour chaque traitement. En total il y a 15 pots,

3.1. Préparation du sol et mise en pot

a. Préparation des pots

Les conteneurs de culture sont des pots en plastique utilisés pour le jardinage. La base de ces pots est percée afin d'éviter un excès d'eau pouvant asphyxier les racines. Toutefois, les apports d'eau sont contrôlés pour éviter un drainage pouvant causer une perte non contrôlée des fertilisants apportés.

Les pots sont remplis de terre prélevée en milieu paysan de la région de Rabat (Forêt de la Mamora), ils sont ensuite arrosés et binés afin d'avoir un bon lit de repiquage.

b. Mise en culture

La germination est lancée dans des boîtes de Pétri en utilisant le papier Joseph comme support et par l'ajout de 10 ml d'eau désilée pour imbibition des graines.

Après quelques jours de germination, les germes en bon état et de tailles semblables sont repiqués dans des pots, puis arrosées. Les pots sont placés dans le jardin de la FSR.

Pour le matériel de travail utilisé (tableau en annexe 1).

Tableau 7. Evolution de la croissance des semis après mise en germination (Labo de physiologie végétale, Juin2011)

Culture	1 ^{er} jour de germination	2 ^{ème} jour	3 ^{ème} jour	1 semaine après le repiquage
Courgette				

3.2. Application des fertilisants

Les graines sont semées en absence d'urine (témoin absolu), puis en présence d'urine sous différentes concentration (50%, 10% et 150%) et en présence d'engrais chimique afin de comparer les résultats entre les 3 traitements.

a. Technique d'application

L'application se fait au niveau des petits sillons autour de la plante, qui sont couverts par du sable après application. Le lavage des nutriments dans le sol avec application d'eau. Pas d'application sur les feuilles qui peut causer des brûlages foliaires (Baragé, 2010).



Photo 9. Application de l'urine au niveau des pots (FSR, juillet 2011)

b. Période d'application

Globalement, une première application est favorisée avant les semis, ensuite une 2^{ème} application doit avoir lieu environ ¼ de temps entre les semis et la récolte et enfin une application antérieure peut être programmée selon les besoins de la plante.

Dans le cas de l'expérience en bacs de végétation, l'application est programmée comme suite :

- ✓ Première application: une semaine après le repiquage
- ✓ Deuxième application : deux semaines après le repiquage.
- ✓ Applications antérieure selon besoins.

c. Dose d'application

❖ Pour les urines :

La culture de la courgette a ses propres besoins en azote 90kg/h.

Le taux d'application pour chaque plante est déduit d'après la densité qui caractérise chaque culture.

Pour la courgette la densité est de 16000 pieds/h, ce qui fait 16 pieds/m² (Skiredj et al., 2002).

D'après les analyses effectuées pour les urines, il contient 5,6 g d'azote par litre.

Alors, la quantité appliquée pour chacune des cultures est la suivante :

Tableau 8. Doses appliquées en bacs de végétation

Courgette verte	50%	100%	150%
Doses d'urine à appliquer (l/plant)	0,1	0,2	0,3

La dilution de l'urine permet d'épargner à la plante le risque de toxicité dû à une surdose. La dilution utilisée pour la fertilisation des cultures est 1:10, soit 10 volumes d'eau pour un volume d'urine.

❖ Pour engrais chimique NPK :

L'utilisation de l'engrais (7-14-7), donne les quantités d'éléments nutritifs suivantes:

Tableau 9. Quantité d'engrais utilisé pour différentes culture

Plantes	Quantité d'engrais en kg /ha	Quantité d'engrais en g /m²	Quantité d'engrais en g/plant
Courgette	100	142,9	9

3.3. Mesures de protection pendant l'application

Selon l'OMS, l'utilisation directe après la collecte est acceptable pour les ménages individuels. Le stockage est nécessaire pour les grands systèmes (photo 10-annexe 2).

Pratiques additionnelles pour minimiser les risques :

- ✓ Port de gants et cache nez lors de l'application
- ✓ Bien laver les mains après la manipulation.
- ✓ Incorporer l'urine dans les pots.
- ✓ Ne pas diluer l'urine avant une application à petite échelle.

3.4. Entretien des cultures

- **Mode d'irrigation** : arrosage, a l'aide des arrosoirs ou par tuyau (photo 11-annexe 2).
- **Fréquence D'irrigation** : 1 à 2 fois par semaine
- **Désherbage** : afin de diminuer la quantité de plants si besoin pour permettre une bonne croissance des cultures. Prévenir d'éventuelle contamination par des insectes ravageurs ou autres.

3.5. Modalité d'observation

La réalisation d'un suivi de l'évolution de la croissance des plants en mesurant régulièrement (7, 15 et 30 jours après repiquage) leurs hauteurs à l'aide d'un mètre ruban et leur nombre de feuilles a permis d'obtenir les résultats suivants.



Photo 10. Observations de la hauteur des plantes en bacs de végétations (FSR, 2011)

Les modalités d'observation sont généralement basées sur :

- ✓ La moyenne de la hauteur du pied
- ✓ La moyenne du nombre de feuilles

Les mesures sont effectuées durant 3 périodes : la première avant aucun apport de fertilisants minéraux, la seconde après la première application et la troisième après la deuxième application.

4. Méthodologie suivie en enquête

- Elaboration d'un questionnaire répondant aux objectifs précités.
- Etablissement d'une liste des ménages à enquêter, les seuls critères retenus sont leur disponibilité & coopérativité.
- Contact avec les chefs de familles concernées et éventuellement les femmes du ménage.

Pour entamer l'enquête, une première séance de sensibilisation s'est tenue au centre des jeunes le 14 Avril 2011. Cette séance visait, d'une part, à introduire l'équipe du projet à la population locale et d'autre part de leur faire part de l'étude à mener au village de Dayet Ifrah.

L'enquête a démarré le 28 Mai et s'est prolongée jusqu'au 05 Juin 2011.

Une seconde enquête a pris lieu du 24 Aout au 26 Aout 2011, afin d'évaluer la réponse des villageois après réalisation du jardin et obtentions de résultats tangibles.

PARTIE 3. RESULTAT & DISCUSSION

Le projet ecosan a pour vision non seulement la préservation de l'environnement et la salubrité publique mais contribue de même à l'amélioration de la productivité agricole tout en minimisant les coûts d'exploitation.

1. Valorisation agronomique des urines

1.1. Evaluation de l'azote dans les sols

L'analyse pratiquée sur les échantillons prélevés des sols utilisés a permis d'apprécier les caractéristiques du sol, notamment sa fertilité en matière azotée.

Tableau 10. Teneurs du sol en azote par la méthode de Kjeldahl (CRF, juillet 2011) (CRF, juillet 2011)

Echantillons (Echa)	Dosage d'azote	
	Volume de titrage (ml)	N pour mille
Echa1.S (Surface)	1,90	0,19
Echa 1.P (Profondeur 30cm)	2,90	0,29
Echa. 2. S	3,00	0,30
Echa. 2. P	3,50	0,35
Echa. 3. S	2,50	0,25
Echa. 3. P	5,40	0,54
Echa. Forêt de Maâmora (utilisé en <i>ex-situ</i>)	0,40	0,04

Tableau 11. Moyenne et écart-type de la teneur en azote

	Moyenne (g de N /kg de sol)	Ecart-type
En surface	0,25	0,06
En profondeur	0,39	0,13

Les résultats montrent que les deux sols considérés, du champ (Dayet Ifrah) et des bacs de végétations (Mamora) sont pauvres en azote.

Pour le sol de Dayet Ifrah, les résultats expliquent que l'azote total mesuré en profondeur est celui dont puisent les plantes leur besoin en fertilisant. La moyenne en surface est de 0,25g de N/kg de sol et en profondeur est de 0,39g de N/kg de sol.

Par ailleurs, le sol utilisé en bacs de végétations est très pauvre en azote puisqu'il ne contient que 0,04gN/kg de sol.

Ainsi, la teneur en azote total du sol ne dépasse pas les 0,39 g de N/kg de sol avec un écart-type de 0,13g soit une valeur maximale de 0,52g de N/kg de sol.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus dans une étude menée par Elherradi et son équipe (2003) sur la minéralisation de l'azote de deux sols du Maroc (un sol sablonneux de la région côtière de Rabat et un sol limono-argileux du Gharb). Il a été montré que l'examen de l'azote des deux sols étudiés, indique que les quantités d'azote ammoniacal sont faibles. Elles restent inférieures à 0,05 g de N/ kg de sol.

Alors, on peut dire que les sols du Maroc sont pauvres en azote.

Du point de vue agricole, la minéralisation des sols pourrait être un facteur de mise à la disponibilité des cultures de teneurs importantes en azote. Son évaluation est recommandée pour déterminer l'azote susceptible d'être utilisé par les plantes au début de la campagne agricole.

1.2. Caractéristiques physico- chimiques des urines

L'analyse physico-chimique des urines a pour but la détermination de la qualité et la de quantité des éléments nutritifs contenus dans les urines collectés au niveau du village Ait Daoud ou Moussa.

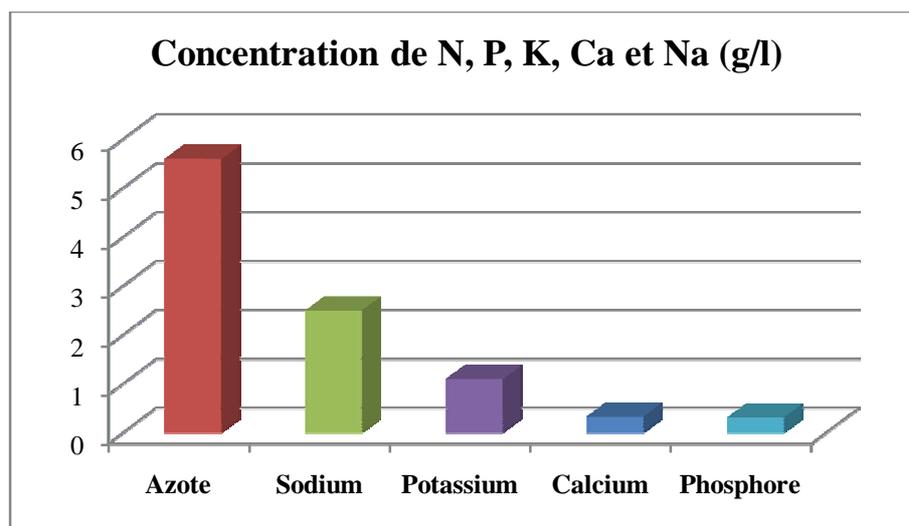


Figure 11. Composition chimique des échantillons d'urines (Laboratoires de l'INRA et de l'ONEP, 2011)

Les résultats obtenus (Fig.11) montrent que les urines sont très riches en azote à une concentration de 5,6g/l, moyennement riche en sodium qui est de 2,5g/l et relativement faibles en phosphore 0,31g/l, en potassium 1,1g/l et en calcium.

Les urines sont surtout riches en azote 5,6g/l, cette élévation de concentration est éventuellement due au taux de protéine qui existe au niveau des aliments consommés par la population du village.

Ceci confirme les propos de Esray (2001), qui avancent que la plupart des éléments nutritifs nécessaires aux plantes se trouvent dans les urines. Ces auteurs ont montré qu'une quantité importante des nutriments se trouve les urines et pas dans les engrais chimiques utilisés en agriculture. Aussi, les concentrations en métaux lourds dans l'urine humaine sont très inférieures à celles qui se trouvent dans les engrais chimiques, ce qui constitue un atout non négligeable en faveur de l'utilisation des urines comme fertilisants.

Pour le phosphore, sa concentration moyenne dans l'urine est de 0.31 g/l, la faible concentration est certainement liée à l'alimentation du producteur. Cette concentration est inférieure à celle du réseau CREPA, mais peut être comparée à celle obtenue par Makaya (2009) sur les sites d'Ouagadougou.

La concentration moyenne du sodium est de 2.5g/l, ce qui justifie la conductivité élevée de l'urine (tableau 16). Cette concentration dépend du régime alimentaire des personnes comme les autres éléments.

La concentration moyenne de potassium est de 1.1g/l. Ce qui est légèrement inférieur aux taux présentés par le réseau CREPA.

Le calcium se trouve dans les urines à une concentration de 0,33 g/l.

Au regard de ces résultats, il est à noter que les échantillons d'urines stockées pendant 45 jours sont riches en azote, en dépit des déperditions d'azote liées aux conditions de stockage. Nous notons par ailleurs que les échantillons d'urines analysés sont pauvres en phosphore et en potassium, comparativement aux engrais minéraux. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus dans les mêmes conditions expérimentales par Gonidanga (2004).

Pour la suite de notre discussion, nous mettrons l'accent sur l'azote qui est le composé principal des urines (voir fig. 10). En effet, le potassium et le phosphore y sont présents en de plus faible quantité.

Tableau 12. Evaluation physique des urines

	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH
Moyenne	41925	9

La moyenne du pH des échantillons analysés est basique et la conductivité est très élevée.

Les résultats du tableau 12 montrent que les mesures effectuées pour le pH donnent une moyenne de 9, ce qui implique que les échantillons sont tous basiques. Alors, on peut dire que les milieux sont favorables pour l'abattement des pathogènes, car le pH élevé favorise la formation de l'ammoniac, qui a une action toxique sur les microorganismes. Ces résultats sont conformes à ceux de Makaya (2009) et Laminou (2006) qui affirment que le pH des urines varie entre 8 et 9 et il augmente avec le stockage.

En effet, l'alcalinité des urines stockées vient de la transformation de l'urée de l'urine en ammoniacque (basique).

L'urine se caractérise par une conductivité très élevée de $41925\mu\text{s}/\text{cm}$ en moyen. Ce qui explique la présence des ions (Na^+ , Ca^{++} , ...) en une grande concentration. Cette élévation de taux de sel favorise le milieu pour détérioration des pathogènes. Ces résultats sont conformes a ceux obtenus par Coulibaly (2006) qui montre que le niveau de salinité des urines est élevée, ce qui peut provoquer une salinisation des sols lors de leur utilisation agricole.

1.3. Caractéristiques bactériologiques

Les analyses des échantillons avant et après le traitement de 2 mois de stockages ont été réalisées par le laboratoire de bactériologie au sein de l'ONEP.

Les microorganismes pathogènes recherchés sont :

- Streptocoques fécaux (SF)
- Coliformes fécaux (CF)

Tableau 13. Résultats des analyses microbiologiques (ONEP, 2011)

	Echantillon 1		Echantillon 2	
	SF	CF	SF	CF
Urine fraîche	$2.2 \cdot 10^3$	$3.0 \cdot 10^4$	$2.2 \cdot 10^3$	$3.3 \cdot 10^4$
Après traitement	$1.2 \cdot 10^1$	$1.25 \cdot 10^2$	$0.9 \cdot 10^1$	$1.2 \cdot 10^2$
Taux d'abattement (%)	99.45	99.58	99.59	99.6

Le tableau indique que les éléments recherchés (SF et CF) sont présents dans les échantillons.

Les analyses des échantillons d'urines prélevés dans des bidons de collecte venant directement des ménages, ont montré la présence des Coliformes fécaux et de Streptocoques dont les charges varient.

En effet, les urines collectées directement doivent être généralement stériles (Gnagne, 2006).

Cette contamination peut être due aux eaux de nettoyage anale, ou bien à une mauvaise manipulation des récipients lors de la collecte (bidon de collecte, pompe de récupération, mélange des flux au niveau du dispositif)

Les conditions d'anaérobiose dans les bidons peuvent aussi influencer le développement des bactéries.

L'analyse des urines stockées dans un bidon fermé sous l'ombre donne un taux d'abattement des pathogènes très élevé (99.6%). Cet abattement peut être dû à plusieurs effets tel que l'alcalinité de milieu (pH 9), la salinité et la toxicité de l'ammoniac.

Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Höglund en 2001, qui a montré qu'un abattement considérable en Coliformes fécaux et Streptocoques dans les urines après le stockage dans des bidons

Au regard des résultats d'analyses bactériologiques, nous pouvons dire que la contamination des urines est sûrement d'origine fécale provenant des latrines ecosan. Cependant d'autres sources de contaminations telles les sols, les eaux usées sont à prendre en compte par le fait que des germes tels les Streptocoques survivent plus longtemps dans l'environnement. Un temps de stockage d'urines de 30 jours a suffi pour inactiver les germes des urines.

Ainsi, il est préconisé de réutiliser les urines après le temps de stockage signalé dans un réservoir hermétiquement fermé (tableau 1).

Ces résultats doivent attirer l'attention sur la question de l'hygiène. Il est conseillé de mener une campagne de sensibilisation des villageois visant à les inciter à prendre les précautions et les règles d'hygiène requises et adéquates pour la réutilisation (concept des barrières multiples : tableau 3).

2. Résultats obtenus au niveau du champ

2.1. Evaluation agronomique

Après échantillonnage, les données prélevées ont permis de mener une analyse agronomique qui se base sur la mesure du poids frais et la détermination du rendement en biomasse de la courgette.

Ces paramètres ainsi obtenus, donnent lieu à une étude comparative de la productivité agricole en fonction du traitement correspondant.

a. Analyse pondérale

A partir des échantillons prélevés au champ, les résultats, moyennes pondérales de trois répétitions pour les différents traitements (témoin, engrais chimiques et diverses concentrations d'urine), sont consignés dans la figure 12.

Une fois calculée, la biomasse de chaque traitement est analysée et comparée.

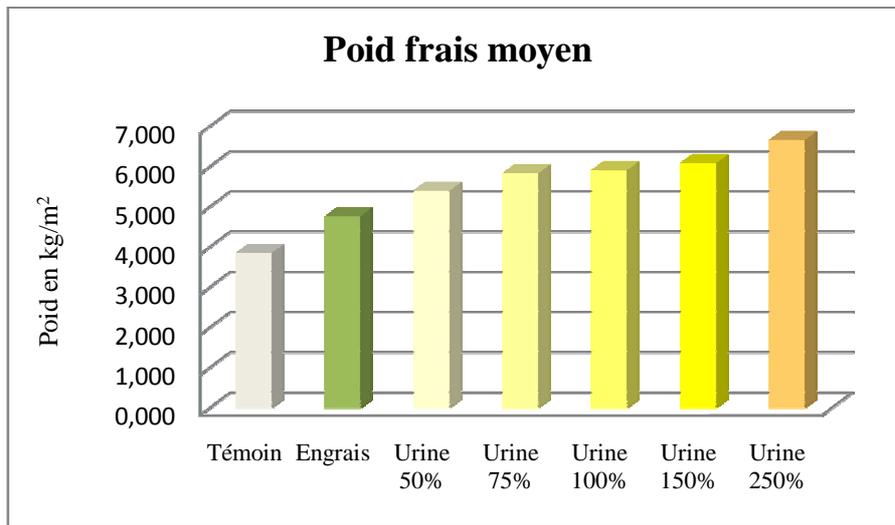


Figure 12. Comparaison de la biomasse obtenue chez la courgette en fonction du traitement appliqué

Par comparaison du témoin (recevant l'eau du puits comme solution d'irrigation), l'apport d'une solution enrichie en engrais NPK améliore significativement le rendement en poids frais de la courgette. Ce résultat est tout à fait normal en raison des besoins de la plante en éléments nutritifs essentiels et de la pauvreté du sol en ces éléments (voir tableau 10).

Par ailleurs, le remplacement de la solution NPK par de l'eau enrichie en urine (50%) entraîne des résultats similaires à ceux enregistrés pour la solution riche en engrais. Cet effet stimulateur de la croissance est d'autant plus accentué que la concentration en urine est élevée. Ainsi, une concentration en urine cinq fois plus concentrée (250%) provoque une augmentation du rendement de 15% environ par rapport à la plus faible concentration en urine (50%).

Le fait que le rendement de la courgette soit amélioré par l'apport de l'urine par comparaison à celui obtenu avec de l'eau du puits laisse à penser que la plante a tiré profit des éléments nutritifs contenus dans l'urine, à savoir N, K, Na, P et Ca (voir Tableau 15). Cependant, lorsqu'on apporte certains de ces éléments (cas du traitement NPK), le rendement en biomasse de la courgette bien que supérieur à celui affiché pour l'eau de puits, n'atteint pas ceux des additions moyennes (75%, 100% et 150%) et élevée (250%).

Une comparaison de la composition chimique d'urine (fig. 11) avec celle de l'engrais NPK apporté (7 :12 :7) suggère que c'est la composante azotée de l'urine qui serait à l'origine de cette différence. L'engrais semble donner de bons résultats et la biomasse qui en résulte coïncide avec celle obtenue pour la dose 50% d'urine. Au-delà de cette dose d'urine, la croissance de la courgette a présenté une hausse constante jusqu'à atteindre la dose 250%. Un tel résultat est inhabituel, car l'excès d'urine est de nature à provoquer des brûlures au niveau des racines (Richerte *al.*, 2008) et cause une toxicité des plantes. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Kiba en 2005 sur la culture de l'aubergine et qui affirme qu'une forte dose d'urine donne une faible croissance de la plante.

b. Analyse de la Courbe de tendance

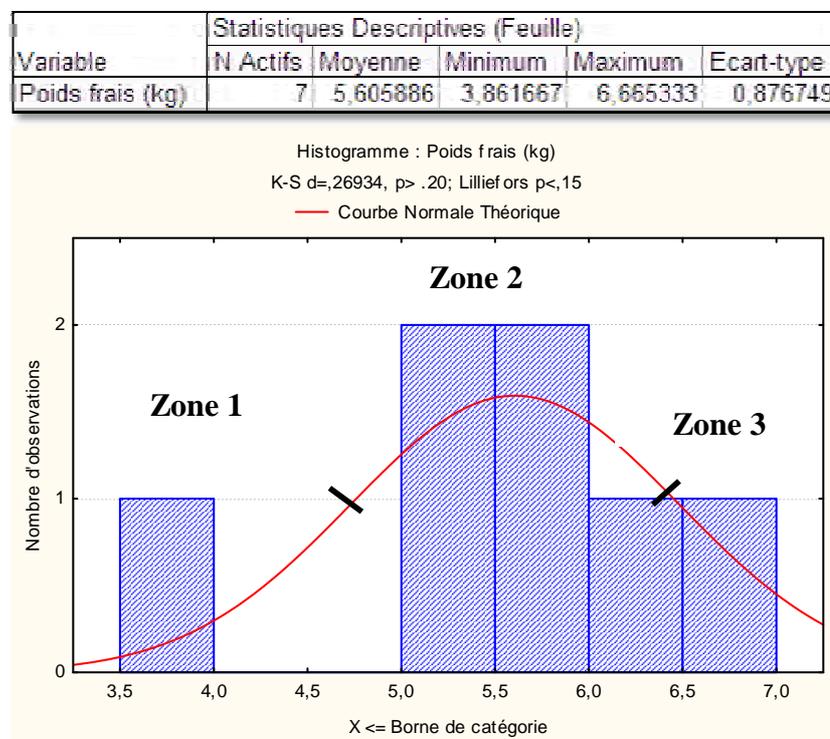


Figure 1 3. Courbe de tendance montrant l'évolution du rendement de la courgette à travers les différents traitements (Logiciel STATISTICA. 6)

La figure 1 3, montre les courbes de tendance 'courbe de Gauss', affichant l'effet du produit utilisés sur le rendement de la courgette. Trois zones de divergence sont à distinguer : la zone 1 dans laquelle la production modérée correspond au témoin, la zone 2 au niveau de laquelle la production est importante avec une moyenne de 5-6,4 Kg/Echantillon et le nombre de traitements est le plus élevé (engrais, urine 50%, 75%, 100% et 150%), la zone 3 dans laquelle la production est excessive due au seul traitement qui est l'urine 250%.

Les résultats obtenus montrent que la plage optimale en dose d'urine pour la courgette se trouve au sein du deuxième groupe qui est l'urine 50%,75%,100% et150%.

Les apports nutritifs sont très importants pour le développement de la courgette. Mais, lorsque le besoin de plants est dépassé, il peut conduire à un effet négatif sur les plants ce qui se traduit par une toxicité du milieu. Cette toxicité ne figure pas dans notre cas, elle reste à déterminée dans une expérience plus avancée et approfondie.

2.2. Etude comparative des traitements

L'étude de ces trois traitements est basée sur l'apport de la variable principale de l'étude : l'urine.

Ainsi, l'effet-urine est comparé à différentes doses par rapport à deux témoins:

- Témoin absolue (sol pauvre)
- Témoin NPK (engrais)

a. Production spécifique

Seuls les trois traitements ont été considérés dans le but de comparer leur effet. L'urine 100% a été retenue comme la dose la plus représentative de la plage optimale.

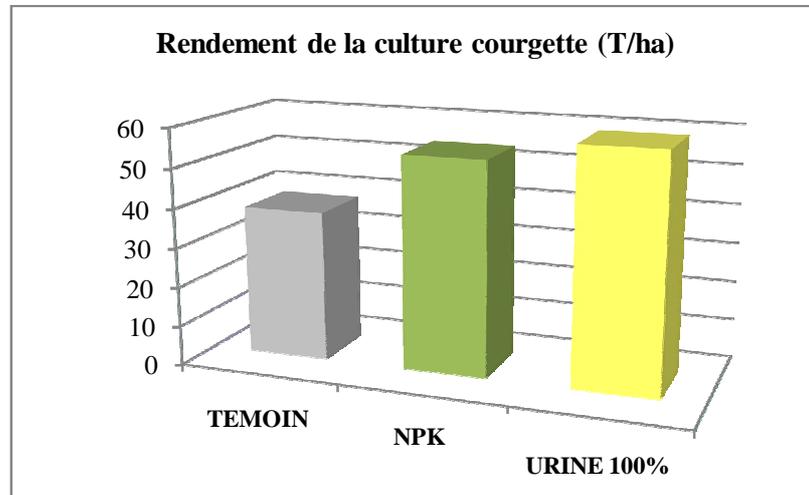


Figure 14. Rendement en T/ha de la courgette en fonction des trois traitements majeurs : témoin absolu, témoin NPK, apport d'urine à 100%

Le rendement de la courgette recevant la dose 100% urine (59T/h) se révèle meilleur que celui obtenu par ajout d'engrais NPK (54T/h). Par ailleurs, ces deux traitements donnent des rendements plus élevés que ceux du témoin (38 T/h) (irrigué par de l'eau de puits).

Les résultats indiquent que le rendement de la dose 100% urine se révèle meilleure que celui du témoin.

En n'apportant pas les éléments majeurs dans le traitement témoin on obtient de très faibles rendements ce qui exprime la pauvreté du sol confirmant ainsi les résultats d'analyses de sol (voir fig. 10). Les faibles rendements obtenus avec le traitement engrais peuvent traduire l'importance de l'azote dans la production de la courgette. Tandis que pour l'urine un rendement meilleur que le témoin est observé, ceci est vraisemblablement dû à la présence d'autres éléments minéraux en plus de l'azote, phosphore et potassium.

b. Coefficient d'équivalence :

Le coefficient d'équivalence permet de déterminer la quantité d'urine nécessaire à l'activité de fertilisation agricole à partir des quantités d'engrais généralement utilisées.

Tableau 14. Calcul du coefficient d'équivalence

Quantité d'azote moyen en urine (g N/l)	Quantité d'azote dans 50kg Engrais (7-12-7) en g N/kg	Coefficient d'équivalence
5,6	70	12

Le tableau 14 montre que le coefficient d'équivalence-urines est de l'ordre de 12 en considération avec l'engrais utilisé NPK (7-12-7). Ainsi, lors de l'emploi d'un kilogramme d'engrais, la quantité équivalente d'urine est de 12 litres.

Les doses d'urines utilisées appartenant à l'intervalle [75%- 250%] permettent une bonne croissance et un bon développement de la courgette. Ce qui permettrait d'obtenir des rendements compétitifs à ceux obtenus avec l'engrais minéral conventionnel

La dilution est impérative pour la valorisation des urines comme sources de nutriments. Elle atténue les effets toxiques des urines, en améliorant le pH et la nitrification de l'azote ammoniacal. Cette phase de dilution doit être prise en compte, afin d'éviter les cas de brûlures des racines des plants et de rendre plus aisé l'épandage des urines en atténuant les mauvaises odeurs.

3. Résultats obtenus en bacs de végétations

La figure 14 montre que la dose 100% d'urine produit la meilleure croissance suivie de l'apport d'engrais. En revanche, les traitements témoin et urine à 50% et 150% donnent les plus faibles croissances.

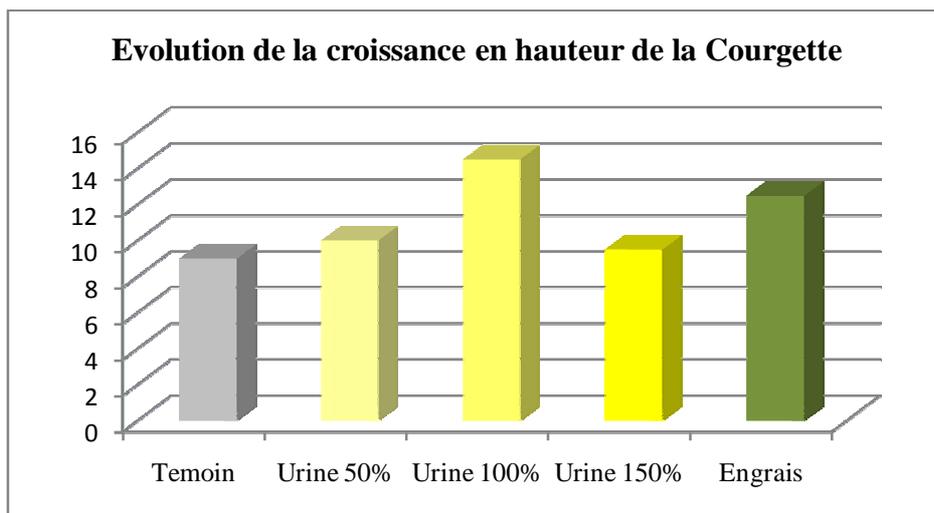


Figure15. Hauteur du pied de la courgette en fonction des trois traitements majeurs : témoin absolu, témoin NPK, apport d'urine à 100% (résultats obtenus 1 semaine après la 2ème application)

Les résultats obtenus montrent que la dose 100% permet une meilleure croissance et un meilleur développement de la courgette. Ces résultats vont vraisemblablement déterminer les rendements puisque la dernière mesure a été effectuée à 1 mois et demi après repiquage et correspond à un début de la production.

La forte dose 150% ne permet pas un bon comportement des plants. Ceci est vraisemblablement dû au fait que cette concentration en azote peut induire une toxicité du milieu. En effet, les plants manifestaient un stress immédiatement après le premier apport de cette dose, stress reconnaissable au jaunissement (chlorose) observé au niveau des feuilles.

La dose 100% d'urine se révèle meilleure que la dose 150%. Ce résultat confirme l'effet négatif de l'urine sur la reprise des plants obtenus et peut traduire aussi une des manifestations de la toxicité.

De façon générale, les plants se comportent mieux au niveau de l'engrais qu'au niveau du témoin.

4. Evaluation de l'acceptabilité de la valorisation des urines au village de Dayet Ifrah

Le projet est parrainé par le programme AGIRE en collaboration avec la GIZ. Il s'inscrit dans une vision d'approche participative en vue d'améliorer les conditions de vie des habitants du village de Dayet Ifrah. Ce village est situé à quelques 200 km de la ville de Rabat, au Moyen Atlas. Il se trouve dans le sillage de la ville d'Ifrane. Sa population globale est d'une centaine de familles.

L'objectif est de mettre en œuvre le concept ecosan et de prouver que la valorisation agricole est possible dans un milieu rural semblable à celui de Dayet Ifrah.

D'énormes efforts de sensibilisation sont déployés afin de convaincre les villageois à revoir leurs habitudes et de s'intégrer dans le développement durable de la région.

A cet effet, l'aspect socio-économique de l'ecosan a été abordé essentiellement à travers deux enquêtes effectuées auprès des ménages, sur l'utilisation agricole et la consommation des produits issus de cette agriculture, ainsi que sur leur volonté et leur capacité à s'équiper de latrine.

Les enquêtes ont permis d'apprécier le degré d'acceptabilité du projet ecosan au sein de cette communauté rurale.

L'enquête comporte trois axes majeurs :

1. Les efforts de sensibilisation.
2. L'acceptabilité d'adhésion au projet de la valorisation agricole des produits ecosan.
3. Le respect des règles hygiéniques et de considération sanitaires.

D'abord, plusieurs séances de vulgarisation et d'information sont organisées auprès des villageois pour les sensibiliser et ensuite pour recueillir suffisamment de renseignements sur leurs pratiques agricoles afin de leur démontrer la faisabilité du projet ecosan du village de Dayet Ifrah.

Des jardins d'essai sont élaborés permettant aux habitants de vivre de près cette expérience pilote et de dégager des conclusions adéquates qui s'imposent. Entre autre, cette expérience terrain a permis à l'équipe de dégager des recommandations et d'optimiser les résultats.

Pour la réussite du projet l'équipe a élaboré un questionnaire répondant aux objectifs précités. Il a établi une liste des ménages enquêtés comptant surtout sur leur collaboration et leur disponibilité.

Les séances de sensibilisation ont porté sur des objectifs bien définies :

- D'abord desservir la population pauvre de ce milieu rural et lui transmettre les moyens d'assainir, d'hygiéniser et de recycler.
- Les hommes et les femmes ont participé aux séances de sensibilisation permettant à l'équipe d'avoir des données précises pour le déroulement et la réussite du projet.
- Dans l'échantillon pris en considération (30 ménages) seuls 4 ménages possèdent des TDSU. Il s'agit de mettre en place des moyennes d'assainissement écologique. Et dans le cadre de la valorisation agricole essayer d'utiliser les urines collectées comme produit fertilisant.

Si la majorité des foyers ne disposant des systèmes d'assainissement écologique TDSU, ils ont quand même fait preuve d'un réel intérêt de se l'approprier dans les brefs délais. Par contre ceux qui disposent des puits perdus veulent se convertir aux TDSU à la place de la fosse septique.

❖ **Habitudes agricoles au village**

La culture dominante est la pomme de terre soit 70%, vient ensuite le blé avec 50%, l'orge occupe 20% seulement. Certaines cultures restent destinées à la consommation propre des ménages.

La fertilisation se fait par des moyens connus : fumier et ammonitrate. Le PK est utilisé en début de semis seulement à cause de son prix qui est hors de la portée des agriculteurs du village soit 350 dh par quintaine.

❖ **L'approche ecosan et Le projet pilote**

Il est clair que depuis le lancement du projet d'assainissement écologique à Dayet Ifrah en 2009, l'effort de sensibilisation a commencé à donner ses fruits. Les villageois se sont progressivement affranchies de leurs anciennes habitudes et cherchent à comprendre l'approche ecosan, chose qui prouve l'intérêt porté à ce projet par cette communauté rurale.

Certes le danger que comportent les fertilisants chimiques est l'un des facteurs positifs qui ont contribué à ce changement. D'où l'intérêt à trouver un produit de remplacement moins coûteux, écologique et efficace.

❖ **La valorisation agricole de l'urine**

Plus de 60% des ménages qui ont fait l'objet de l'enquête et qui ont assisté aux séances de sensibilisation ont témoigné des avantages qu'apporte la valorisation agricole des urines, citant ainsi les expériences semblables appliquées dans d'autres pays et dont les résultats se sont avérés concluants.

❖ **L'acceptabilité des produits ecosan et leur valorisation dans l'agriculture**

- Accepter l'utilisation des urines comme fertilisant agricole permet d'épargner de lourdes dépenses en engrais : 70% sont pour cette nouvelle pratique, les 30% qui restent sont contre le projet parce qu'ils croient que le sujet est « tabou » et non rentable (Fig. 16).
- 95% sont prêts à vendre leur stock d'urine, 5% sont indécis (Fig.16).
- La majorité des enquêtés a approuvé la consommation et la commercialisation des produits traités par l'urine.
- La totalité des enquêtés entend installer des TDSUs.
- L'enquête révèle que ces villageois ont de bonnes habitudes hygiéniques...

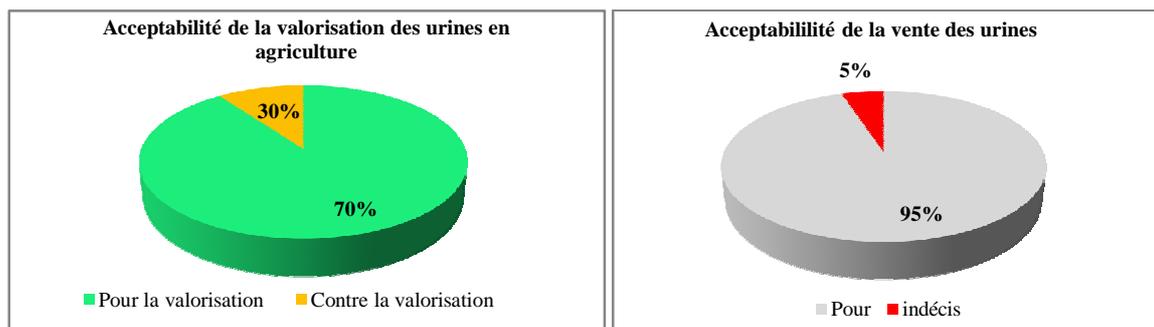


Figure 16. Evaluation de l'acceptabilité de la valorisation des urines en agriculture et de l'acceptabilité de les vendre au niveau du village de Dayet Ifrah

❖ Résultats et suivi

Après la réalisation du jardin d'essai, les agriculteurs de Dayet Ifrah ont pu constater l'efficacité de l'utilisation des urines provenant des TDSU comme produit fertilisant. Le résultat est plus que satisfaisant.

Femmes et hommes se sentent fière de participés a ce projet pilote de valorisation agricole. Ils pensent que les produits ecosan peuvent êtres considérés comme un moyen adéquat a l'amélioration de la productivité tout en préservant l'environnement.

Cependant, 40% ont relevé quelques désagréments pendant la manipulation des urines :

- l'odeur est désagréable.
- Les incommodités de prélèvement.
- Le déplacement des urines des toilettes vers les champs.
- Les dilutions effectuées sur place.

Globalement, 30% des ménages enquêtés avaient des impressions positives et semble disposés à refaire l'expérience sous réserve d'être équipé d'une TDSU.

5. Discussion générale

Le projet à initié l'équipement des ménages en ouvrages d'assainissement et le renforcement de leurs capacités dans l'usage, l'entretien et la valorisation des produits fertilisants (urine).

Ce travail nous a permis de suivre les variations des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'urine provenant des bidons de collecte et de stockage.

L'analyse de la qualité agronomique des urines a été réalisée sur plusieurs échantillons provenant de latrines. Les résultats ont donné par litre d'urine une concentration de 5,6g d'azote, 0,31g de phosphore et 1,1g de potassium. De part la comparaison des différentes concentrations de nutriments,

on constate bien que l'azote est l'élément le plus important dans l'urine. Le phosphore et le potassium sont moins représentés.

On peut conclure que, la composition chimique des urines lui confère un grand intérêt agronomique, notamment sa forte teneur en azote et la présence de phosphore et de potassium. On note par ailleurs que le pH élevé et la salinité des urines peuvent induire certaines modifications de la qualité du sol récepteur, mais sans grande importance.

Aussi, pour se rendre compte de la qualité hygiénique des urines, l'analyse des principaux pathogènes a été réalisée sur les deux échantillons. Il est ressorti de cette analyse qu'il y a présence des Streptocoques fécaux et des Coliformes fécaux Cette contamination pourrait provenir de plusieurs sources notamment: l'environnement, les récipients de collecte, la contamination par les fèces. Elle pourrait aussi être liée à la condition d'anaérobiose dans le bidon, qui a favorisé leur prolifération. Une attention particulière doit donc être accordée à l'hygiène des récipients de collecte et de l'environnement de la latrine. En revanche, la contamination par des micro-organismes d'origine fécale impose un temps d'hygiénisation d'environ 30 jours avant utilisation.

Cette étude a permis ainsi d'aborder la question liée à la valorisation agronomique de l'urine humaine, précisément dans le contexte agro-écologique. Les méthodes utilisées aussi bien au champ qu'en bacs de végétation ont permis de dégager les conclusions suivantes :

- l'apport d'une solution enrichie en engrais NPK améliore significativement le rendement en poids frais de la courgette. Ce résultat est tout à fait normal en raison des besoins de la plante en éléments nutritifs essentiels et de la pauvreté du sol en ces éléments.
- le remplacement de la solution NPK par de l'eau enrichie en urine (50%) entraîne des résultats similaires à ceux enregistrés pour la solution riche en engrais. Cet effet stimulateur de la croissance est d'autant plus accentué que la concentration en urine est élevée. Ainsi, une concentration en urine cinq fois plus concentrée (250%) provoque une augmentation du rendement de 15% environ par rapport à la plus faible concentration en urine (50%). Un tel résultat est inhabituel, car l'excès d'urine devrait provoquer une toxicité. Phénomène non observable au niveau du champ puisque de fortes résultats sont obtenus pour la dose 250%. Ceci, peut être dû à une perte d'azote, soit par volatilisation ou par infiltration dans le sol. C'est pour cela que les symptômes de toxicité n'étaient pas visible sur terrain mais visible en pots de végétation, car dans ces dernier conditions l'azote n'est pas perdu ni par infiltration dans le sol ni par volatilisation mais il est accumulé.
- l'analyse des résultats obtenus aussi bien au niveau du champ qu'en bacs de végétation, il ressort que la dose 100% d'urines est la dose agronomique optimale pour la production de la courgette.

En effet elle représente une faible quantité, est sans effet néfaste sur la reprise des plants et permet une meilleure production.

- Pour la culture de la courgette, les urines sont globalement efficaces dans l'intervalle [75% - 150%], puisqu'il est très riches en nutriments et permettent d'obtenir des rendements compétitifs à ceux obtenus par l'engrais minéral en culture. Au-delà, la dose d'urine cause un effet négatif sur les plants obtenu et peut traduire aussi à une toxicité.

En ce qui concerne les résultats de l'enquête, une grand partie de la population a été contre la valorisation des urines au début et grâce à une sensibilisation, 90% ont devenus pour et 10% contre la valorisation.

Cependant, l'aspect socio-économique de l'ecosan a été abordé essentiellement à travers les enquêtes effectuées auprès des ménages, sur leur volonté et leur capacité à s'équiper de latrine, ainsi que sur l'utilisation agricole et la consommation des produits issus de cette agriculture.

Le projet a produit un impact positif sur l'ensemble de la population du village de Dayet Ifrah. La réalisation du jardin démonstratif pour la valorisation des produits ecosan a été un événement majeur suscitant l'intérêt à la fois des agriculteurs, des paysans et même des femmes du village.

CONCLUSION & RECOMMANDATIONS

La réalisation de ce projet pilote d'assainissement écologique du village d'Ait Daoud ou Moussa, a permis la prospection sur un champ d'activité aussi important que celui de la jonction entre la santé et la sécurité alimentaire des populations.

En effet, l'approche implémentée à l'ecosan vise un double objectif, d'une part, la gestion des urines dans les ménages, et d'autre part leur utilisation saine comme fertilisants azoté en agriculture.

D'où la nécessité de promouvoir l'assainissement dans les ménages et de respecter les différentes barrières sanitaires recommandées sur le circuit du projet: séparation des flux, usage des équipements de sécurité, hygiène corporelle, respect du temps d'hygiénisation et des normes d'application de l'engrais liquide.

A cet effet, le projet a démarré par l'initiation des ménages à l'utilisation des ouvrages d'assainissement écologiques et le renforcement de l'usage des urines comme fertilisant azoté.

Certes, ce nouveau produit est une source importante d'éléments nutritifs quand peut utiliser pour accroître la productivité de nos sols qui sont pauvre en nutriments. Les urines par leur richesse en azote, peuvent pallier à cette carence. En raison de leur valeur agronomique très élevée, elles permettent de réduire les doses de matière organique (fumier et compost).

La valorisation agronomique des urines nécessite impérativement une dilution avec de l'eau. La dilution diminue les odeurs et évite les brûlures des plants. On peut envisager la dilution au moment de la collecte pour faciliter l'épandage.

Leur valeur agronomique présente un intérêt double : la collecte assainit le milieu et améliore le cadre de vie des populations rurales et permet aussi d'améliorer la productivité de l'agriculture.

Cependant, la durabilité de cette technique dépendra de la mise en œuvre d'un système de collecte et l'hygiénisation adéquat pouvant permettre la disponibilité de ce fertilisant pour les agriculteurs.

Au terme de cette étude, qui nous a permis de mieux cerner l'approche d'assainissement productif, les recommandations suivantes sont formulées pour réduire les risques sanitaires et optimiser la production des fertilisants à partir de l'urine humaine :

Réduction des risques sanitaires

- Sensibilisation des populations, pour qu'elles comprennent que l'urine peut être une source de contamination et que par conséquent elle doit être manipulée avec beaucoup de prudence.
- Intensification de la sensibilisation sur l'utilisation des adjuvants, le dispositif de lavage de mains, et la propreté des latrines ;

- Intensification de la sensibilisation sur l'utilisation des équipements de sécurité
- La priorité doit être donnée aux méthodes de barrière pour limiter le nombre de pathogènes qui arrivent dans les bidons ;

Optimisation de la collecte et utilisation des urines

- Les bidons doivent être bien remplis et stockés à l'ombre pour éviter l'usure et l'évaporation d'azote ammoniacal.
- Sensibiliser davantage les ménages sur l'hygiène des matériels de collecte utilisés, qui peuvent être source de contamination ;
- Avant toute utilisation, les bidons doivent être bien secoués pour homogénéiser l'urine et éviter la sédimentation du phosphore et potassium
- Après l'application des urines, les vêtements, les équipements de sécurité doivent être bien lavés immédiatement. Aussi, une douche au savon doit être conseillée après chaque application ;

Par rapport aux risques sanitaires de l'urine

- Le suivi des pathogènes doit être repris en saison chaude et froide pour avoir une idée sur le temps d'hygiénisation au cours des différentes périodes de l'année ;
- Suivre l'abattement des pathogènes de l'urine pour déterminer si le temps de stockage de l'urine.
- Réaliser une étude sur la contamination des produits récoltés et du sol pour apprécier le niveau du risque auquel sont exposés les producteurs et les consommateurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Aberghaz Y. 2009.** Assainissement écologique rurale- Projet pilote du douar de Dayet Ifrah. Master génie et gestion de l'eau et environnement. Maroc : Faculté des sciences Rabat, 2009.
2. **Adissoda Y., Guillibert P., oldenburg M. 2004.** Assainissement Ecologique : mode d'emploi. Disponible sur : <[www.2.gtz.de/ecosan/download : benin-mode d'emploi.pdf](http://www.2.gtz.de/ecosan/download%3A%20benin-mode%20d'emploi.pdf)>. (Consulté le 24.03.2011).
3. **Amedée et Thierno C. et Bohoun. 2009.** Evaluation de l'appropriation de l'assainissement écologique dans la commune de Sèmè-Podji: cas des ouvrages ecosan. Université d'Abomey-Calavi, Bénin. Disponible sur : <http://www.memoireonline.com/04/10/3298/m_Evaluation-de-l-appropriation-de-l-assainissement-ecologique-dans-la-commune-de-Seme-Podji-cas9.html#toc155>. (Consulté le 1.08.2011).
4. **Arrêté** portant fixation des valeurs limites générales de rejets (en projet), comité interinstitutionnel.
5. **Bado B.V., Sedogo M.P., Cescas M.P., Lompo F. et Bationo A. 1997.** Effets à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Agricultures*. Vol. 6 N°6: 571-575.
6. **Baragé M. 2006, 2007, 2008.** Rapports finaux des expérimentations agronomiques avec des produits ECOSAN dans la commune rurale de Torodi (D'après la fiche technique d'application des urines hygiénisées dans les conditions agricoles du Niger 2010).
7. **Bellakhdar J. 1997.** La pharmacopée Marocaine Traditionnelle. Médecine ancienne et savoir populaire. Ibis Press. ISBN.2-910728-03X..
8. **CREPA. 2005.** Assainissement Ecologique à Burkina Faso. Disponible sur : <www.reseaucrepa.org>. (Consulté le 23.04.2011).
9. **CREPA. 2006.** Utilisation des produits dérivés de l'assainissement écologique en agriculture. Volet agronomique. Burkina Faso : CREPA. Disponible sur : <www.reseaucrepa.org>. (Consulté le 17.07.2011).
10. **Conseil M., Cartaud G. et Bourdais R. 2009.** La production biologique de courgettes en Bretagne. Plateforme Agrobiologique d'Inter Bio Bretagne à Suscinio. Lycée Agricole de Suscinio. 5p. Disponible sur : <http://www.interbiobretagne.asso.fr/upload/File/Recherche/FichesTechniques/FicheTechnique_CourgetteBretagne_IBB.pdf>. (Consulté le 21.04.2011).
11. **Dahir n° 1-95-154** du 18 rabii I 1416, 1995. Portant promulgation de la loi n° 10-95 sur l'eau. Agence des bassins hydrauliques. Royaume du Maroc.

12. **Décret n°2-04-553** du 24.1.2005. Relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux superficielles ou souterraines. Bulletin officiel N° 5292, 17-2-2005. Royaume du Maroc. Disponible sur : <http://www.sgg.gov.ma/BO/bulletin/Fr/2005/BO_5292_fr.pdf>. (Consulté le 5.09.2011).
13. **Directive Européenne** 91/271. 1991. portant sur le traitement des eaux usées municipales, Union Européenne.
14. **DRPE**.2009. Direction de recherche et de planification des eaux au SEEE.
15. **Elherradi E., Soudi B. et Elkacemi K.** 2003. Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'ordures ménagères. Etude et gestions des sols. Université Mohamed V, faculté des Science, Département de chimie, Rabat, Maroc. Disponible sur :<http://www.inra.fr/internet/Hebergement/afes/pdf/EGS_10_3_elherradi.pdf>. (Consulté le 7.10.2011).
16. **El Kasmi A.** 2009. Rapport inédit sur le développement durable à Dayet Ifrah initié par la Chaire UNESCO et l'Université Al Akhawayne.
17. **Esrey S, Gough J., Swayer R., Rapaport D., Simpson-Hebert M., Vargas J. et Winblad U.** 1998. Assainissement écologique. Sida, Stockholm. Disponible sur : <<http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/fr-assainissement-ecologique-1998.pdf>>. (Consulté le 20.03.2011).
18. **Esray S.** 2001. Assainissement Ecologique. Asdi, Stockholm, Suède, 91 p.
19. **FAO.** 2005. Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, Manuel de formation, Projet Intrants. 24p. Disponible sur : <http://intrants.capitalisationbp.info/Doc/Doc_techniques/Engrais/Module_formation_nutrition&engrais.pdf>. (Consulté le 25.04.2011).
20. **Gensch R, Miso A, Itchon G.** 2011. Urine as Liquid Fertilizer in Agricultural Production in the Philippines, A Practical Field Guide. ISBN 978-971-9094-11-1.p .24-28.
21. **Guerif M & Seguin B.** 1990. Estimation de la biomasse et du rendement des cultures à partir du satellite SPOT : résultats d'une expérimentation sur blé dur en Camargue. Institut National de la Recherche Agronomique. 117p.
22. **Googlemap.** 2011. Disponible sur : <http://maps.google.fr/maps?hl=fr&rlz=1T4GGLR_frMA403MA404&q=dayet%20ifrah&um=1&ie=UTF-8&sa=N&tab=wl>. (Consulté le 1.09.2011).

23. **Höglund, C.** 2001. Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden Disponible sur :< <http://www.lib.kth.se/Sammanfattningar/hoglund010223.pdf>>. (Consulté le 27.04.2011).
24. **Illiassou Y.** 2009. Diplôme d'Ingénieurs des Techniques Agricoles (ITA), Option : Productions Végétales. Niamey : FACULTE D'AGRONOMIE/ UAM, 31p. Disponible sur : <<http://www.ecosanres.org/aguie/documents/Memoire-Saisonseche-ILLIASSOU.pdf>>. (Consulté le 22.03.2011).
25. **Jönsson H., Vinnerås B., Höglund C., Stenström T.A., Dalhammar G. and Kirchmann, H.** 2000. Recycling source separated human urine. VA-forsk report 2001-1, Stockholm. Sweden.
26. **Jönsson H. et Vinnerås B.** 2004. Adapting the nutrient content of urine and fèces in different countries using FAO and Swedish data. In: Ecosan – Closing the loop. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA.
27. Specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany.
28. **Kiba D.** 2005. Valorisation agronomique des excréta humaines : utilisation des urines et fèces humaine pour la production de l'aubergine et du maïs. Diplôme d'ingénieur du développement rural, agronomie. Burkina Faso : Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B), 79p. Disponible sur : <<http://www.beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/HASH01d1/32e1a5f4.dir/IDR-2005-KIB-VAL.pdf>>. (Consulté le 24.04.2011).
29. **Kpangon H., Yadoulton M.J et Affogbolo S. D.** 2009. Manuel Ecosan.
30. **Laminou S.** 2006. Identification des risques sanitaires et des opportunités de production de fertilisant dans le système de collecte d'urine du Projet d'assainissement productif dans le département d'Aguie au Niger. Diplôme de Master Spécialisé en Génie Sanitaire et Environnement (GSE). Institut internationale de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement.
31. **Larcher C. & Robert Fearon W.** 1923. Fiche Uréase. Urease : The Chemical Changes Involved In The Zymolysis Of Urea. Physiological Laboratory, Trinity College, Dublin. P 1.
32. **Lerot B.** 2006. Les éléments minéraux. Disponible sur : <<http://www.orchidstory.be/site/mineraux.pdf>>. (consulté le 15.9.2011).
33. **Lepoutre B., Combes M.** 1967. La Mamora. Chapitre VII. In : les cahiers de la recherche agronomique. (Collection de référence. O.R.S.T.O.M., n°13707).
34. **Loi n° 12-03.** 2003. Relative aux études d'impact sur l'environnement.
35. **Loi n° 78-00.** 2000. Portant Charte communale.
36. **Loi n° 11-03.** 2003. Relative à la protection et à la mise en valeur de l'environnement.

37. **Makaya J. M.** 2009. Contrôle des paramètres physicochimiques et microbiologiques du fertilisant agricole a bas des urines hygiénisées: évaluation d'impacts sanitaire. Rapport de prestation-1. Ouagadougou: ECOSAN_UE. Disponible sur : http://www.susana.org/docs_ccbk/susana_download/2-829-fr-evaluation-dimpacts-sanitaires-in-ouagadougou-20091.pdf >. (Consulté le 27.04.2011).
38. **Moughli L.** 2000. Les engrais minéraux, caractéristiques et utilisations. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin Mensuel d'information et de liaison du Programme national de transfert de technologie en agriculture (PNTTA), N°72. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II.
39. **Musculus.** 1923. Comptes rendus de l'Académie des sciences « Sur le ferment de l'urée » ; William Robert Fearon, « Urease », Biochemical Journal. 82 p. Disponible sur : <http://gallica.bnf.fr/>.(Consulté le 5.05.2011).
40. **OMS.** 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture.
41. **Richert A., Gensch R., Jönsson H., Stenström T.A. and Dagerskog L.** 2010. Practical Guidance on the Use of Urine in Crop. EcaSanRes. Stockholm environment institute. Sweden. ISBN 978-91-86125-21-9. 52p.
42. **Shonning C et Stenström T. A.** 2004. Recommandations pour un usage sans risques d l'urine et des matières fécales dans les systèmes ecosan. Rapport-1. SEI, 53p.
43. **Skiredj A., Elattir H. et Elfadl A.** 2002. Fiches techniques IV du melon, pastèque, courge, concombre et cornichon. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin Mensuel d'information et de liaison du Programme national de transfert de technologie en agriculture (PNTTA), N°99. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II.
44. **Spiess E. et Richner W.** 2005. Azote dans l'agriculture. Les cahiers de la FAL (57). Disponible sur : http://www.agroscope.admin.ch/data/publikationen/1311320873_Spiess_E_SR57_N-Einleitung_fr.pdf >. (consulté le 1.09.2011).
45. **Tandia C. T.** 2006. Volet technique de l'ecosan, Burkina Faso, CREPA.
46. **Tandia C.T.** 2006. Volet hygiène/santé de l'ecosan, Burkina Faso, CREPA.
47. **Tanguay F.** 2007. Petit manuel d'auto-construction, éditions de Mortagne.
48. **Tossou S.** 2009. Qualité azotée de l'urine utilisée comme fertilisant en agriculture à Ouagadougou. p 54.
49. **Vandendriessche V.** 2007. Etude des facteurs de rendement d'une espèce dédiée aux bioénergies. Institut Supérieur d'Agriculture. p 61-64.

50. **Werner C., Florian K., Patrick B.** 2006. Ecosan – Folienkatalog englisch Agriculture. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Disponible sur :<<http://www.gtz.de/en/aktuell/677.htm>>. (Consulté le 9.03.2011).
51. **Werner C. 2010.** Introduction a l'assainissement écologique. GTZ.
52. **Werner C. 2004.** Environnement and Infrastructure sector project ecosan Lübeck, Germany 66.
53. **World Health Organization (WHO).**2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume IV -Excreta and Greywater Use in Agriculture. Disponible sur: <www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuww/en/index.html>. (Consulté le 3.05.2011).

RESUME

Ce projet pilote d'assainissement écologique se fonde sur l'introduction des urines humaines comme produit fertilisant azoté dans l'agriculture. Véritable source de nutriments, elles peuvent être généralisées et appliquées en tant qu'engrais dans certains pays en développement notamment au Maroc. En effet, le monde rural marocain connaît de faibles rendements à cause de l'appauvrissement des sols, du manque d'assainissement hygiénisé et des coûts excessifs des engrais chimiques. Ce qui constitue une contrainte majeure au développement et à l'évolution durable des zones rurales du pays.

Le village d'Ait Daoud ou Moussa a pu vivre depuis l'hiver dernier l'expérience pilote qui consiste à utiliser les urines humaines comme moyen fertilisant azoté et d'y participer activement.

L'expérimentation sur la culture des la courgette, des urines hygiénisée apportées en cinq doses différentes a révélé l'efficacité de ce produit de substitution.

Notre objectif est de démontrer l'impact de l'urine humaine sur la productivité des cultures et de déterminer les quantités optimales pour une meilleure production agricole. Les résultats montrent que les urines hygiénisées contiennent 5,6 g de N-total par litre, avec un pH basique. En termes de rendements, les urines peuvent être soit utilisées comme engrais azoté compétitif aux engrais conventionnels soit utilisée comme engrais d'entretien.

Le taux de recouvrement de N-urines est significativement plus élevé que celui de N-engrais.

Nous avons par ailleurs montré que la dilution des urines à 100 % optimise le rendement. En perspective, ces résultats demandent d'être confirmés et vulgarisés par la suite. Les communautés notamment rurales doivent s'approprier cette technologie pour une amélioration de leur revenu, dans un environnement sain.

Mots clés: Assainissement écologique, urine humaine hygiénisée, N-urines, N-engrais, courgette.

ABSTRACT

This pilot ecological sanitation is based on the introduction of the human urine like a product nitrogen fertilizer in agriculture. The human urine being a true source of nutrients, can be generalized and applied as fertilizer in certain developing countries including Morocco. Indeed, the Moroccan rural world knows poor yields because of the impoverishment grounds, the lack of hygienized sanitation and excessive costs of the artificial fertilizer. What constitutes a major constraint with the development and the durable evolution of the rural areas of the country.

The village of Ait Daoud Moussa have lived since last winter the pilot experiment which consists in using the human urines as average nitrogenized fertilizer.

The experimentation of the urine hygienized on with five different doses on zucchini can revealed the effectiveness from this substitute product.

Our objective is to show the impact of human urine on the productivity of the cultures and to determine the optimal quantities for a better agricultural production. The results show that the urine hygienized contain per liter 5.6 g of N-total, with a basic pH. In terms of output, the urine can be used as nitrogen fertilizer competitive with conventional fertilizer or used like fertilizer of maintenance.

The rate of covering of N-urine is significantly higher than that of N-fertilizer. We have also showed that the dilution of the urine with 100% allows a better nitrification and optimizes it. In prospect, these results need to be confirmed and popularized thereafter. In particular rural communities must adapt this technology for an improvement of their income, in a healthy environment.

Keywords: Ecological sanitation, human urine hygienized, urine-N, N-fertilizer, zucchini.

ANNEXE

Annexe 1. Mode opératoire des analyses des sols et des urines

I. Analyse des sols : Dosage de l'azote Total par la méthode Kjeldahl

1. Mode opératoire :

La détermination de l'azote total renseigne sur la quantité de réserves azotées dans le sol, mais dont la grande partie n'est pas disponible immédiatement pour les plantes.

D'abord, les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre et tamisés à 2mm pour éliminer les grosses particules. Le matériel et les réactifs utilisés durant la manipulation sont résumés dans le tableau 1.

Le dosage de l'azote comprend deux étapes :

- une minéralisation de l'azote organique du sol sous forme de sulfate d'ammonium ou présence d'acide sulfurique concentré ; Des prises d'essai de 2 g sont transverses dans uns matras de 100ml. Ensuite, ajout de : 1g de catalyseur de minéralisation bien homogénéiser, de 10ml de H_2SO_4 concentré et homogénéiser. Après, le matras est mis sur la rampe et chauffé à $6^\circ C$ jusqu'à destruction de la matière organique (agitation de temps en temps). La chauffe peut durer 2heures jusqu'à coloration vert pale, laisser refroidir et ajouter 25 ml d'eau distillée et laisser refroidir à nouveau.
- Puis une distillation par entrainement à la vapeur d'eau, il y'a libération de l'ammoniaque en milieu alcalin et le dosage s'effectue par acidimétrie. Ajouter 50ml de solution de NaOH à 40% et adapter le matras à l'appareil de distillation, Doser l'ammoniaque dégage dans un bécher de 250ml contenant environ 50ml d'eau distillée, avec la solution de HCl N/70, en présence de 2 à 3 gouttes d'indicateur de Tashiro. L'indicateur va virer de la couleur verte à une coloration violette (fin de titrage). Soit n le volume de HCl N/70 utilisée.

On effectue un témoin avec le catalyseur de H_2SO_4 concentré, l'attaque, la distillation et le dosage se font dans les mêmes conditions que sur le sol.

Tableau 1. Matériels et réactifs utilisés pendant de l'analyse des sols

Réactifs	Matériels
<ul style="list-style-type: none"> - Acide sulfurique H₂SO₄, d =1,84 - Solution d'acide chlorydrique HCl N/70 - Catalyseur de minéralisation : <ul style="list-style-type: none"> • Sulfate de potassium (K₂SO₄) = 250g • Sulfate de cuivre (CuSO₄, 5H₂O) = 50g • Sélénium en poudre (Se) = 5g - Solution de soude NaOH à 40% - Indicateur de Tashiro - Rouge de méthyle et diluer à 100ml avec de l'éthanol. - Bleu de méthylène et diluer à 100ml avec de l'éthanol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fioles de Kjeldahl de 100ml - Rampe de chauffage électrique - Burette de 25ml et 50ml - Appareil de distillation - Agitateur magnétique - Eprouvette de 50ml - Balance (min 5g- max 4000g) - Bêchers de 250ml

2. Calculs et réactions :

- Matière Organique + S₂SO₄ = SO₄ (NH₄)₂
- SO₄ (NH₄)₂ + 2NaOH = 2 NH₄OH + SO₄Na₂
- NH₄OH = NH₃ + H₂O
- HCl + NH₄OH = H₂O + NH₄Cl \longrightarrow 1ml de HCl 1N correspond à 14mg d'azote = 0,014 g d'azote.

En fonction de la prise d'essai de sol, le taux d'azote est exprimé en N% de la façon suivante :

$$\% \text{ N (g)} = (n - T) \times (0.014/70) \times 1000 \times N / p$$

Avec :

N% = pourcentage d'azote total ;

n = Volume de HCl (N/70) utilisés pour doser l'échantillon ;

T = Volume de HCl (N/70) utilisés pour le témoin ;

0,014 = quantité de N (en g) correspondant à 1ml de HCl 1N ;

$1/70$ = Normalité de HCl utilisé pour le dosage ;

1000 = Coefficient pour ramener le résultat à 1000g de sol ;

P = prise d'essai de sol (en g) = 2g.

II. Analyse des urines :

1. Echantillonnage et prélèvement des urines

Afin d'évaluer les caractéristiques physicochimiques et bactériologiques de l'urine collectée au niveau des ménages disposant les TDSU.

Ainsi, les urines prélevées, ont été conditionnées dans des flacons stériles de 500 cl, avant d'être acheminés au laboratoire. Ces analyses ont été effectuées au niveau du le laboratoire de l'ONEP centrale certifié « ISO 17025 version 2005 » et pour l'azote au niveau de l'INRA.

La multiplication des échantillons à pour but, d'avoir un résultat moyen représentatif pour l'urine de tout le village Dayet Ifrah.

2. Analyse chimique des urines

L'urine ainsi prélevée, a fait l'objet d'un dosage de NPK et d'autres éléments tel le calcium et le sodium, pour une application qui tient compte des besoins des plantes à cultiver (Photo1).



1. Prélèvement de l'urine



2. Analyse de l'urine

Photos 1. Etapes d'analyse des éléments nutritifs contenus dans l'échantillon d'urine (Dayet Ifrah et laboratoire de l'INRA, 2011)

❖ Mode opératoire pour dosage de l'azote:

Le dosage d'azote contenu dans les urines a été effectué pour une application qui tient compte des besoins de la plante à cultiver.

Le matériel et les réactifs utilisés durant cette manipulation sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Matériels et réactifs utilisés lors de l'analyse des sols

Réactifs	Matériels
<ul style="list-style-type: none">- Acide sulfurique H₂SO₄, d =1,84- Catalyseur de minéralisation- Acide Borique- Soude NaOH- Acide Chlorhydrique (1N)	<ul style="list-style-type: none">- Fioles de Kjeldahl de 100ml- Burette de 25ml et 50ml- Agitateur magnétique- Eprovette de 50ml- Balance (min 5g- max 4000g)- Bêchers de 250ml- Rampe de chauffage électrique- Appareil de distillation

- Prélever à l'aide d'une pipette 5 ml de l'échantillon d'urine après homogénéisation et les introduire dans le matras de Kjeldhal.
- Ajouter 20 g d'acide borique pour un litre d'eau distillé (2%) et mélanger.
- Ajouter du Devarda et l'oxyde de magnésium (MgO).
- Ajouter l'indicateur coloré Tashiro (2 V de rouge de méthyle 0,2 % + 1 V bleu de méthylène 0,2 %).
- Disposer le tube sur le bloc de minéralisation.
- Régler sur l'appareil de distillation automatique le volume de soude 35% (50 ml), le volume d'eau distillée (50 ml) et le temps nécessaire pour la distillation (5 min).
- Brancher le tube sur l'appareil.
- Le distillat est récupéré dans une fiole d'ermeneyere et refroidir.
- Titrer rapidement l'ammoniac recueilli dans la solution d'acide borique par la solution d'acide chlorhydrique (1N) jusqu'à changement de la coloration (virage au violet) (Photo 2).



Photo 2. Titration de l'ammoniac dans la solution d'acide dorique par la solution d'acide chlorhydrique (1N)
(Laboratoire de l'INRA)

❖ **Formule de calculs :** En fonction de la prise d'essai, le taux d'azote est exprimé en N% de la façon suivante :

$$\% \text{ N (g)} = (n - T) \times (0.014 / \text{Norm}) \times 100 \times 1 / p$$

Avec :

N% = pourcentage d'azote total ;

n = Volume de HCl (1N) utilisés pour doser l'échantillon ;

T = Volume de HCl (1N) utilisés pour le témoin. ;

0,014 = quantité de N correspondant à 1ml de HCl 1N ;

Norm = Normalité de HCl utilisé pour le dosage ;

100 = Coefficient pour ramener le résultat à 100g de sol ;

p = prise d'essai d'urine (en ml)

La mesure de phosphate P et potassium K est assurée par une technique ICP qui est une méthode d'analyse par spectrométrie d'émission atomique dont la source est un plasma généré par couplage inductif.

3. Analyse bactériologique

L'analyse bactériologique a été effectuée au sein du laboratoire de bactériologie de l'ONEP. Les indicateurs de pollution fécale pris en compte dans cette partie sont uniquement les coliformes (dits coliformes totaux (CT)), les coliformes thermotolérants (CTT) et les streptocoques fécaux (SF).

Deux échantillons ont été prélevés de bidons de collecte d'urine chez deux familles. Des analyses des échantillons avant et après le traitement de 2 mois de stockages sont réalisées par le laboratoire de l'ONEP. Les microorganismes pathogènes recherchés étaient les suivants :

- Streptocoques fécaux
- Coliformes fécaux

Les méthodes utilisées pour la détermination des indicateurs de pollution fécale sont multiples. Ainsi, les critères de choix d'une technique dépendent de l'origine, de la nature de l'échantillon à examiner (Les méthodes classiques utilisées sont :

- La filtration sur membrane ;
- L'étalement ;
- L'incorporation en gélose ;
- La dilution en milieu liquide ou le Nombre le plus probable (NPP).

Annexe 2. Photos des différentes étapes du travail

Jardin d'essai démonstratif



1. Echantillonnage



2. Conditionnement

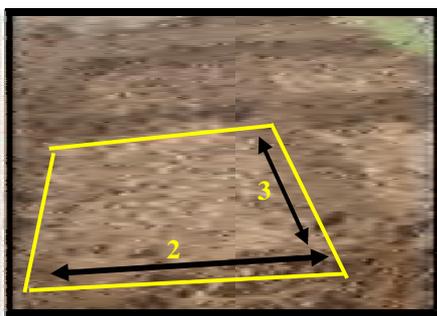


3. Analyse

Photos 1. Etapes de l'analyse des sols (Dayet Ifrah et laboratoire du CRF, Mai 2011)



Photos 2. Labour du sol au village de Dayet Ifrah avec un engin tracteur (Dayet Ifrah, Mai 2011)



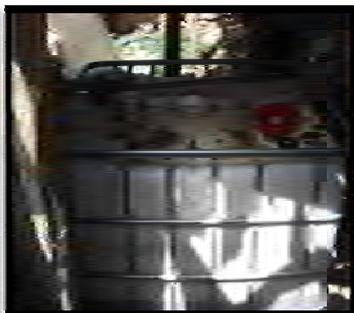
Photos 3. Travaux de dimensionnement et délimitation des parcelles (Dayet Ifrah, Mai 2011)



Photo 5 Engrais NPK 7-12-7 utilisé pour fertilisation au jardin d'essai (Dayet Ifrah, Aout 2011)



Photos 6. Bidons de stockage d'urines collectées (Dayet Ifrah, juillet 2011)



1. Séparation urine-fèces	2. Collecte d'urine à partir du stock	3. Application de l'urine	4. Produit de la valorisation agricole
---------------------------	---------------------------------------	---------------------------	--

Photos 7 Etapes de mise en œuvre de la valorisation agricole (Dayet Ifrah 2011)



Photo 8. Arrosage du terrain après mise en culture (Dayet Ifrah, juin 2011)



Une semaine après semis

Au moment de la récolte

Photo 9. Evolution de la croissance du Navet après utilisation des produits d'assainissement écologique (Dayet Ifrah, 2011)

Bacs de végétations



Photo 10. Mesure de protection durant l'application en ex-situ



Photo 11. Arrosage des cultures en pots de végétations (FSR, 2011)

Annexe 3. Questionnaire de l'enquête sur la valorisation et l'acceptabilité des produits ecosan en Agriculture - Projet pilote au village Dayet Ifrah

A. FICHE SIGNALÉTIQUE

1. Foyer cible :

Nom de famille :

Localisation :

Nom & Fonction du répondant :

Nombre d'habitants (En chiffre):

Femmes Hommes Enfants

Membres demeurant externes à la famille :

	Nombre
Cousin	
Ami	
Locataire	
Voisin	
Autres	

B. MENAGES DISPOSANTS DES INSTALLATIONS ECOSAN

1. Ménages disposants De TDSU :

Avez-vous bénéficié d'une séance de formation quant à l'utilisation des TDSU ?

Oui Non

Qui est chargé dans le foyer d'orienter le reste des occupants en matière de TDSU ?

.....

Qui est chargé de l'entretien de la TDSU ?

.....

En cas d'absence du chargé principal de l'entretien de la TDSU qui est désigné pour assurer le relais ?

.....

Avez-vous observé un quelconque dysfonctionnement dans la TDSU ?

Oui Non

Si oui, De quelle nature ?

.....
Avez-vous pensé à les corriger ?

Oui Non

Si oui, Comment ?
.....

Si non, qu'elle était la contrainte ?
.....

Avez-vous utilisé la TDSU de façon régulière ?

Oui Non

Si non, veuillez préciser les raisons :
.....

Pensez-vous que la TDSU devrait être généralisé dans le village (A l'école ou dans d'autres ménages) et à travers le territoire vu son importance et la large utilisation dans les pays développés ?

Oui non

Si non, argumentez :

2. Ménages disposants de filtre planté/ Digesteurs :

Avez-vous idée du mode de fonctionnement de ces ouvrages ?

Oui non

Si oui, qu'en pensez- vous ? A quoi vous servent-ils?
.....

Pensez-vous pouvoir tirer profit de ces produits d'assainissement (Digestat, EUE) ?

Oui non

Si oui, Comment ?
.....

C. AUTRES MENAGES

Etes-vous au courant de la technologie ECOSAN ?
.....

Avez-vous pu inspecter les ouvrages d'assainissement aménagés à DAYET IFRAH?

Oui non

Si oui, lesquels ?
.....

Avez-vous compris leur mode de fonctionnement?

Oui non

Si oui, par quel moyen ?

Vous avez assisté à des séances de sensibilisation

Vous avez pu participer aux travaux d'aménagement sur terrain.

Vous en avez entendu parler dans le village

Avez-vous pu utiliser les ouvrages ECOSAN chez vos voisins ?

Oui non

Qu'en pensez-vous ?

.....

Envisagez-vous d'installer un système ECOSAN chez vous ?

Oui non

Si oui, Quel système vous semble le mieux adapté à vos besoins?

TDSU

Digesteur

Filtre planté

Système de collecte d'eau de pluie

Autres :

En quoi ce système va vous être utile ?

.....

D. GESTION DES PRODUITS ECOSAN

1. Gestion des produits de TDSU

Veuillez indiquer (en chiffre) la fréquence de vidange des réservoirs de la TDSU ?

Jour semaine mois

Qui est chargé de la vidange du stock d'urine et de la fosse d'excrétas ?

.....

Quels Outils utilisez-vous pour vider les réservoirs TDSU ?

.....

Fréquence de remplissage du bidon de 50l (passage d'une latrine à une autre) ?

.....

Où évacuez-vous le stock d'urine ?

.....

Avez-vous observé un changement à l'endroit même où vous avez vidé le stock ?

.....

Qu'en pensez-vous ?

.....

Avez-vous déjà témoigné ou entendu parler de l'utilisation des urines dans l'agriculture ?

Oui non

Si oui, par quel moyen ?

.....

Veillez expliciter l'expérience dont vous avez témoigné ?

.....

2. Gestion des produits filtre planté/ Digesteur :

Comment procéder-vous pour entretenir l'installation?

.....

Que faites-vous avec l'excédent de Digestat ?

.....

En quoi le bio digesteur vous-est-il utile ?

Génération de biogaz pour les besoins de chauffage/ cuisson

Génération de compost pour la fertilisation en Agriculture

Autre :

Avez-vous idée de l'intérêt du filtre planté ? Que faite-vous des EUE ?

.....

Ces installations posent-ils un quelconque problème ?

Oui non

Si oui, de quelle nature ?

.....

E. EVALUATION DE LA REUTILISATION DES PRODUITS ECOSAN EN AGRICULTURE

1. Utilisation des engrais en Agriculture

Quel type d'engrais est fréquemment utilisé dans le village ?

.....

Quelle est la fréquence d'épandage des engrais en agriculture?

.....

Quelle est le prix moyen des engrais achetés?

.....

Avez-vous idée du danger que représentent les engrais pour votre santé, celle de vos proches et le potentiel de votre terre ?

Oui non

Si oui, développez?

.....

2. Utilisation des urines en Agriculture

Une expérience de réutilisation des urines a été réalisée en 2009/2010 à échelle réduite chez quelques familles de douar. (Exclusive aux familles disposant d'installation TDSU)

Quel était le motif derrière cette démarche ?

.....

Comment s'est déroulée l'expérience (Les étapes)?

.....

Quelles étaient les cultures objet de l'expérience ?

.....

Qui vous a assisté pour mener l'expérience ?

.....

Comment avez-vous manipulé l'urine ? (du bidon de stock vers le champ)

.....

Y'avaient-ils des difficultés quant à la manipulation ou l'application des urines ?

Oui non

Si oui, quelle était la difficulté ?

.....

Comment vous vous êtes pris pour y remédier ?

.....

Quels résultats avez-vous obtenu?

.....

Quels étaient vos impressions quant à ces résultats?

.....

Songez-vous à refaire la même expérience cette année ?

Oui non

Si non, pourquoi pas ?

.....

Si oui, allez-vous suivre la même démarche? Ou avez-vous d'autres suggestions ?

.....

3. Irrigation avec l'EUE :

Utiliser-vous l'eau de la sortie du filtre planté ?

Oui non

Si oui, dans quel but ?

.....

Combien de litres d'eau vous faut-il en moyenne pour irriguer vos cultures ?

.....

Avez-vous pensé à arroser votre jardin avec l'EUE ?

Oui non

Si oui, L'avez-vous fait ?

.....

Avez-vous témoigné d'une expérience d'irrigation via EUE ?

.....

Si oui, laquelle ?

.....

Que pensez-vous des résultats obtenus ?

.....

4. Réutilisation du Digestat en Agriculture :

Avez-vous été informé sur le potentiel du compost comme fertilisant écologique en Agriculture ?

Oui non

Si oui, que vous a-t-on appris ?

.....

Avez-vous fait l'expérience ou témoigner d'une expérience qui fait référence aux composts comme fertilisants ?

Oui non

Si oui, quel en était le résultat ?

.....

Sur la base de ces résultats, seriez-vous en mesure d'abandonner des engrais chimiques, qui non seulement coûtent chers mais menacent votre salubrité, par des produits naturels et riches ?

Oui non

Si non, qu'est ce qui vous en empêche ?

.....

F. ACCEPTABILITE DE L'APPROCHE ECOSAN PAR LA POPULATION LOCALE

1. Acceptabilité des produits de TDSU

Combien dépensez-vous en culture/an ? (la pomme de terre comme exemple)

.....

Quel est votre rendement annuel moyen?

.....

Quelles sont vos recettes annuelles en agriculture?

.....

Avez-vous été informé sur le gain économique et écologique quant à l'utilisation des urines dans le secteur de l'agriculture ?

Oui non

Si oui, par quel moyen ?

.....

Pensez-vous que ça serait une bonne idée de pouvoir vendre vos urines au profit des agriculteurs ?

Oui non

Si oui, connaissez-vous des agriculteurs qui en achèteront ?

.....

En utilisant l'urine comme fertilisant, vous serez en mesure d'épargner le cout des engrais tout en aboutissant à un rendement similaire si ce n'est meilleur. Qu'en pensez-vous ?

.....

Avez-vous pensé à substituer l'urine aux engrais ??

Oui non

Si non, pourquoi ?

.....

Aviez-vous été informé sur les avantages de fertilisation du sol agricole suivant ce nouveau procédé d'ailleurs largement utilisé dans les pays développés ?

Oui non

Si oui, par quel moyen ?

.....

Une fois l'urine utilisée, quel sera le débouchement de la récolte objet de l'expérience ?

- Consommation
- Commercialisation

Projetez –vous de mettre en vente la récolte objet de l'expérience ?

Oui non

Si oui, où allez-vous la commercialiser ?

.....
Si non, qu'en feriez-vous?

.....
Après avoir visualisé les étapes de l'expérience ainsi que le rendement issu, seriez-vous en mesure de refaire la même expérience l'année prochaine ?
Oui non

Si non, pourquoi ?

.....
Si oui, quels cultures choisirez-vous ?

.....
Avez-vous une suggestion particulière à apporter pour mieux informer les gens des bienfaits de cette nouvelle technique ?

.....
Pensez-vous que l'approche ECOSAN soit une bonne initiative pour le village ?
Oui non

Devrions-nous étendre cette campagne sur les medias de masse tel que la télévision et autres moyens de communication ?

Oui non

Si oui, quels sont les moyens de communication les plus adaptés ?

- Audio-visuel
- Internet
- Brochures, Journaux...
- Autres :

5. REGLE D'HYGIENE LIEE A LA MANIPULATION DES PRODUITS ECOSAN

1. Lors de la collecte (En amont du système) :

Avec quoi vous vous nettoyez après défécation ou miction ?

.....
Comment procédez-vous au nettoyage des TDSU ?

.....
Via quels produits/outils de nettoyage ?

A quelle fréquence?

Jour semaine mois

Comment collectez-vous les rejets pour le bio digesteur ? Avec quel outil ?

.....

2. Lors de la vidange du stock :

Quant-est ce que vous procédez à l'évacuation du stock ?

.....

Comment faites-vous pour vider les réservoirs de la TDSU?

.....

3. Lors de prélèvement :

Par quel moyen prélevez-vous les produits ECOSAN ?

Seau

Pompe

Autres :

Quel outil vous-est plus pratique à manier ?

.....

En utilisant cet outil, Veillez-vous à ne pas manipulez de trop près les produits objets de l'expérience ?

Oui non

4. Lors de la réutilisation (En aval) :

Comment procédez-vous pendant l'épandage des produits fertilisants ?

.....

En tant qu'agriculteur manipulant bien des produits dangereux, Quels sont d'habitude les règles d'hygiène que vous adoptez?

.....

Questionnaire de l'enquête après réalisation du jardin d'essai

A. FICHE SIGNALÉTIQUE

Foyer cible :

Nom de famille :

Nom & Fonction du répondant :

Nombre d'habitants (En chiffre) :

B. EVALUATION DE LA REUTILISATION DES URINES EN AGRICULTURE

1. Expérience réalisation du jardin d'essai (2011)

Avez-vous assisté ou entendu parler au village du projet de jardin d'essai pour la réutilisation de l'urine ?

Oui non

Si oui, Quel était le but derrière le projet de valorisation agricole?

.....
Comment s'est déroulée l'expérience (Les étapes)?

.....
Comment l'urine était manipulée? (du bidon de stock vers le champ)

.....
Y'avaient-ils des difficultés quant à la manipulation ou l'application des urines ?

Oui non

Si oui, quelle était la difficulté ?

.....
Comment faire pour corriger ces difficultés?

.....
Quels sont les résultats obtenus?

2. Acceptabilité de la valorisation agricole

Quels étaient vos impressions quant aux résultats du jardin?

Bonne

Mauvaise

.....
Songez-vous à refaire une expérience similaire l'année prochaine?

Oui non

Si non, pourquoi pas ?

.....
Si oui, allez-vous suivre la même démarche? Ou avez-vous d'autres suggestions ?

.....
Avez-vous une suggestion particulière à apporter pour mieux informer les gens des avantages de la valorisation agricole ?

.....
Pensez-vous que l'approche ECOSAN soit une bonne initiative pour le village ?

Oui non

Si non, justifiez ?