

Collection de Volumes EcoSanRes



EcoSanRes

Rapport 2004-2

**Directives pour une Utilisation des Urines
et des Fèces dans la Production Agricole**



Directives pour une Utilisation des Urines et des Fèces dans la Production Agricole

Håkan Jönsson
Université Suédoise des Sciences Agricoles – SLU

Anna Richert Stintzing
VERNA Ecology, Inc
Björn Vinnerås
Université Suédoise des Sciences Agricoles – SLU

Eva Salomon
Institut Suédois du Génie Agricole et Environnemental (JTI)

 **SEI** Institut de
l'Environnement
de Stockholm

EcoSanRes Programme
Institut de l'Environnement de Stockholm
Lilla Nygatan 1
Boîte Postale 2142
SE-103 14 Stockholm, Suède
Tel : +46 8 412 1400
Fax : +46 8 723 0348
postmaster@sei.se
www.sei.se

Vous pouvez télécharger cette publication au :
www.ecosanres.org

SEI Communications
Directrice de la Communication : Arno Rosemarin
Directrice de la Publication : Erik Willis
Mise en page : Lisetta Tripodi
Web Access : Howard Cambridge

*Copyright 2004 par
Le Programme EcoSanRes
et l'Institut de l'Environnement de Stockholm*

Cette publication peut être reproduite en totalité ou en partie et sous quelque forme que ce soit dans un but d'éducation et non lucratif, sans autorisation spéciale du (des) détenteur(s) du copyright, sous réserve de mentionner la source. Il ne peut être fait usage de cette publication pour revente ou autre intention commerciale, sans autorisation écrite du (des) détenteur(s) du copyright.

ISBN 91 88714 94 2

Table des matières

Préface.....	V
Sommaire	1
Conditions pour une bonne croissance des plantes.....	2
Macronutriments.....	3
Micronutriments.....	3
Réponse du rendement et utilisation de la ressource.....	4
Nutriments dans les Excréta.....	5
Bilan de masse de nutriments.....	5
Macronutriments contenus dans les Excréta.....	6
Teneur en métaux lourds et en substances polluantes dans les Excréta.....	9
Composition et disponibilité végétative des nutriments contenus dans les urines.....	10
Composition et utilisation des nutriments contenus dans les fèces par la plante.....	12
Traitement hygiénique des urines et des fèces – effets des nutriments sur la plante.....	12
Traitements primaire et secondaire.....	12
Traitement primaire.....	14
Urine.....	14
Fèces – dessiccation avec utilisation d’adjuvants.....	14
Traitement secondaire.....	15
Urine.....	15
Fèces.....	16
Fèces – incinération.....	16
Fèces – compostage.....	16
compostage thermophile.....	16
compostage à basse température.....	17
Fèces – stockage.....	19
Fèces – digestion.....	19
Fèces – adjuvants chimiques.....	19
Recommandations pour une utilisation des urines et des fèces dans l’agriculture.....	20
Urines.....	21
Observations générales.....	21
Effet fertilisant des urines.....	21
Dilution.....	22
Période d’application.....	22
Stockage dans le sol.....	24
Technique d’application.....	24
Taux d’application.....	25
Expériences.....	25
Fèces.....	29
Observations générales.....	29
Effets fertilisants.....	30
Cendre.....	30
Compost par le système de compostage thermophile ou à basse température.....	30
Fèces sèches de dessiccation et stockage.....	31
Résidus de digestion anaérobie.....	31
Traitement chimique avec de l’urée.....	31
Période d’application.....	31
Technique d’application.....	32

Taux d'application.....	33
Fèces sèches.....	36
Résidus de digestion.....	37
Recommandations de Conclusion.....	37
Excréta, recommandations générales.....	37
Urine.....	37
Fèces.....	38
Connaissances à approfondir.....	39
Adaptation de ces directives aux conditions locales.....	39

Références bibliographiques

Figures et tableaux

Figure 1. Les facteurs limitants régulateurs de la croissance des plantes	2
Figure 2. Les effets sur le rendement agricole de l'accroissement du taux d'applications du N utilisable.....	5
Figure 3. Taille des racines de plantes végétales.....	23
Figure 4. Application d'urines sur les végétaux	24
Figure 5. Fraises et roses fertilisées aux urines	26
Figure 6. Epandage d'urines avant la semence d'orge.....	27
Figure 7. Essais sur le terrain réel en utilisant l'urine comme engrais pour les poireaux.....	28
Figure 8. Epinard fertilisé et non fertilisé	29
Figure 9. Manguier fertilisé aux fèces	33
Figure 10. Oignons fertilisés et non fertilisés.....	35
Figure 11. Production d'arbres fruitiers dans des fosses de WC d'Axe au Malawi.....	37
Table 1. Nouvelles valeurs suédoises par défaut proposées pour la masse et les aliments excrétés	6
Table 2. Approvisionnement alimentaire (équivalent primaire de récoltes) dans différents pays en 2000.....	7
Table 3. Estimation d'excrétion de nutriments par habitant dans différents pays.....	7
Table 4. Concentration de métaux lourds dans les urines, les fèces, le mélange urines+fèces et dans les déchets de cuisine séparés à la source, par rapport à l'engrais de basse-cour	9
Table 5. Analyse de l'humus composté dérivé du sol de mine d'Alterna fossa et d'humus de Skyloo par rapport à une moyenne de diverses terres arables.....	18
Table 6. Quantités de N, P et K (kg/ha) retirées par tonne métrique de fraction comestible moissonnée pour différentes récoltes.....	20
Table 7. Résultat d'un essai pratiqué avec utilisation d'urines humaines comme fertilisant pour les poireaux	28
Table 8. Rendement moyen (poids en grammes à l'état frais) dans des essais de plantes avec utilisation des urines comme fertilisant des végétaux au Zimbabwe.....	29
Table 9. Rendements moyen (poids en grammes à l'état frais) des essais de plantes par rapport à la culture sur terre arable uniquement, avec la culture dans un mélange se composant de compost de terre arable à 50% et d'Alterna de fossa à 50%.....	36

Préface

Les directives que nous publions ici se fondent sur nos connaissances actuelles sur l'utilisation des urines et des fèces dans l'agriculture à petite et grande échelle. De nos jours, cette utilisation est limitée à travers le monde. Les directives que voici sont non seulement tirées de nos expériences communes telles que documentées dans les journaux scientifiques mais aussi, de celles des autres travaux sur l'utilisation des engrais de type semblables comme le compost et la digestion des boues de déchets solides biodégradables. Les enseignements tirés de nombreuses expérimentations appropriées et ambitieuses à travers le monde quoique non encore publiées dans les revues scientifiques constituent ces présentes directives.

Une place importante est accordée aux multiples expériences ambitieuses sagement exécutées par Peter Morgan, Aquamor du Zimbabwe. Nous remercions M. Morgan pour avoir non seulement bien partagé ses résultats de recherche avec nous mais aussi pour sa contribution à la finalisation de ces directives. Nous lui sommes très reconnaissants pour les échanges fructueux qu'il a eu avec nous (principalement par E-mail), échanges au cours desquels il a partagé certaines des idées qu'il a développé dans sa recherche sur l'assainissement écologique.

Nous sommes également très reconnaissants à tous les autres experts participant à notre groupe de référence : George Anna Clark (Mexique), Sidiki Gabriel Dembele (Mali), Janv. Olof Drangert (Suède), Gunder Edström et Almaz Terefe (Ethiopie), Gumbo de Bekithemba (Zimbabwe/Afrique du Sud), Li Guoxue (Chine), Edward Guzha (Zimbabwe), Watana Pinsem (Thaïlande), Caroline Schönning (Suède) et Liao Zongwen (Chine).

Nous remercions également Mary McAfee pour avoir veillé sur la forme du document en anglais. Ces directives ont été élaborées et financées par EcoSanRes, un programme de réseau international intervenant dans l'environnement et le développement à travers l'assainissement écologique financé par l'ASDI, l'Agence suédoise de coopération de développement international.

Sommaire

Des recommandations pour une utilisation agricole des excréta sont fondées sur la connaissance de la composition en éléments nutritifs des excréta, les quantités excrétées, la composition et l'absorption d'éléments fertilisants par la plante et le traitement des excréta. La façon d'adapter les données à un contexte local donné est présentée dans le texte. Les urines et les fèces sont des engrais complets de haute qualité avec des niveaux inférieurs de contamination comparativement aux métaux lourds. Les urines sont riches en azote, alors que les fèces le sont en phosphore, en potassium et en matière organique. La quantité des nutriments excrétés dépend des quantités d'aliments consommés. Des équations sont présentées pour le calcul de l'azote et du phosphore contenus dans les excréta sur la base de statistiques facilement utilisables sur l'approvisionnement en protéine de la substance nutritive.

Les excréta devraient être manipulés et traités selon les règles d'hygiène (Schönning & Stenström, 2004) avant leur application sur les cultures. Les recommandations locales particulières pour l'utilisation des urines et des fèces dans la culture devraient se fonder sur les recommandations locales pour la fertilisation des cultures. Les taux d'applications des engrais minéraux azotés commerciaux (urée ou ammonium), s'ils sont connus, peuvent être utilisés comme base pour les recommandations concernant l'utilisation des urines. L'idéal serait d'analyser sa concentration en azote (N). Autrement dit, on peut l'estimer à 3-7 g N par litre. Si aucune disposition réglementaire locale n'existe sur l'utilisation des excréta en agriculture, un principe de base sera d'appliquer l'urine produite par une personne en une journée (24 heures) à un mètre carré de terre par saison agricole. Si toute l'urine est recueillie, elle suffira à fertiliser 300-400 m² de cultures par personne par an avec N à un taux raisonnable. Pour la plupart des cultures, le taux d'application maximum, avant de courir le risque d'effets toxiques, est d'au moins quatre fois ce dosage. L'urine contient également une quantité de phosphore et elle suffira pour fertiliser jusqu'à 600 m² de cultures par personne et par saison agricole, si le taux d'application est choisi pour remplacer le phosphore éliminé, comme présenté ici pour les fèces ci-dessous.

L'urine peut être utilisée pure ou diluée. Cependant, sa fréquence d'application devrait toujours se baser sur le taux d'application de nutriment souhaité et tout besoin potentiel d'eau supplémentaire devrait être satisfait avec de l'eau plate, et non l'urine diluée. Pour éviter les odeurs, la perte d'ammoniaque et les brûlures foliaires, l'urine devrait être appliquée près du sol et être incorporée aussitôt que possible.

L'urine est un bon fertilisant dont les nutriments sont mieux utilisés quand ils sont appliqués avant la semence jusqu'aux deux tiers de la période entre l'ensemencement et la moisson. On réalise le meilleur effet de fertilisation lorsque l'urine et les fèces sont employés en combinaison l'un avec l'autre, mais pas nécessairement la même année sur la même surface. La quantité d'urine pour l'épandage peut être appliquée en une grande dose ou en plusieurs petites doses. Dans la plupart des cas, la production totale est la même pour le même taux d'application total.

Pour les fèces, les dispositions réglementaires locales sur l'utilisation des engrais phosphatés peuvent être observées. Ceci donne un faible taux d'application et l'amélioration due à la teneur en matière organique supplémentaire est difficile à distinguer. Cependant, les fèces sont souvent appliquées à des taux beaucoup plus élevés, auxquels la structure et la capacité de rétention d'eau du sol sont également visiblement améliorées consécutivement à l'effet de l'augmentation de la matière organique. La fumure organique est souvent ajoutée aux fèces pour améliorer le pouvoir tampon et le pH du sol. Ceci est particulièrement important sur les sols ayant un faible pH. Ainsi, selon la stratégie d'application, les fèces d'une seule personne suffiront à fertiliser 1.5-300 m², selon qu'ils sont appliqués en fonction de leur teneur en matière organique ou de phosphore. Les fèces devraient être appliquées comme fumure de fonds. L'application locale qui consiste à les appliquer dans les trous ou dans les sillons près des plantes, est une manière d'économiser ces biens précieux.

Ces directives ont été élaborées dans le cadre des recherches d'EcoSanRes, un réseau international d'expertise en assainissement écologique financé par l'Asdi, l'Agence suédoise de développement internationale.

Conditions pour une bonne croissance des plantes

Les conditions pour la bonne croissance d'une plante comprennent la lumière, l'eau, un support pour que les racines s'y développent et des nutriments. Les facteurs limitants régulateurs de la croissance d'une plante peuvent être illustrés comme suit à la Figure 1. Lorsque l'approvisionnement en un facteur limitant de croissance est augmenté, alors d'autres facteurs de croissance deviennent importants en tant que facteurs limitants (Figure 1). Si des facteurs autres que les nutriments limitent, par exemple l'eau, le pH, la salinité, la lumière ou la température la croissance, alors l'ajout de plus de nutriments n'augmentera pas le rendement.

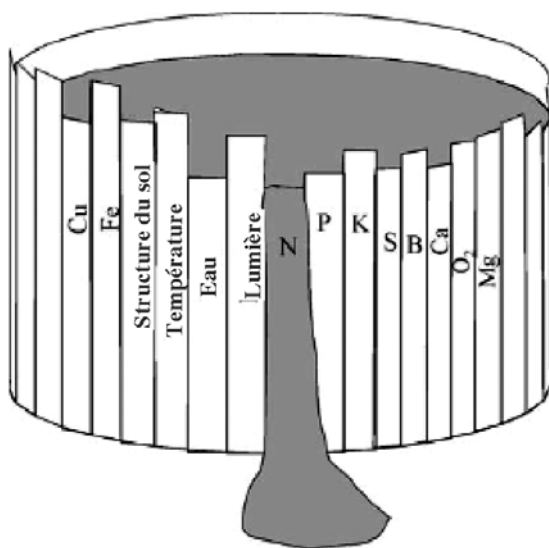


Figure 1. Les facteurs limitants qui régulent la croissance des plantes peuvent être considérés comme les planches latérales d'un baril et le niveau de rendement comme étant le niveau que le liquide peut atteindre avant de déborder. Si le facteur le plus limitant est amélioré, par exemple ici par l'addition d'azote, alors un autre facteur limitera le rendement à un niveau supérieur.

MACRONUTRIMENTS

Les éléments essentiels à la croissance des plantes s'appellent des nutriments. Les nutriments utilisés en plus grandes quantités sont des éléments non minéraux, c'est à dire le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Ces éléments sont principalement pris sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'air et l'eau (H_2O) à travers les racines. L'accroissement de l'approvisionnement en lumière, dioxyde de carbone, eau et nutriments minéraux de la gamme d'insuffisance augmente le taux de croissance et le rendement de la culture.

Les nutriments peuvent être divisés en deux catégories ; les macronutriments et les micronutriments. La prise des macronutriments est d'environ 100 fois plus que celle des micronutriments. Les six éléments normalement classifiés comme macronutriments sont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Ces nutriments sont principalement pris dans le sol à travers les racines en forme ionique.

N est fréquemment le nutriment le plus limitant pour la croissance des plantes. Son utilisation est habituellement plus élevée que l'utilisation des autres macronutriments et des micronutriments réunis. N est pris par la plante sous forme d'ions de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). Les principales sources naturelles de N assimilables par la plante sont la dégradation de la matière organique dans le sol et la fixation de N par des micro-organismes vivant en symbiose avec les racines des légumineuses.

P est pris par les plantes sous forme d'ions de phosphate (à pH 5-7 principalement sous forme HPO_4^{2-} et H_2PO_4^-). L'approvisionnement naturel en P assimilable par la plante provient de la dissolution des phosphates solubles dans le sol et de la minéralisation de la matière organique.

La haute solubilité dans l'eau de K a souvent pour conséquence un bon approvisionnement en K assimilable par la plante. Cependant, beaucoup de cultures telles que les légumes, ont besoin de grandes quantités de K et donc la fertilisation additionnelle en K peut améliorer la croissance des plantes. Le soufre (S) est également fortement hydrosoluble et la plupart des cultures en ont besoin en quantité inférieure comparativement à P. Des additions annuelles de S sont souvent nécessaires.

MICRONUTRIMENTS

De même que les macronutriments, les micronutriments sont aussi essentiels pour la croissance des plantes. A la différence des macronutriments, les micronutriments sont pris en petites (micro) quantités. Les éléments normalement considérés comme micronutriments sont le bore, le cuivre, le fer, le chlorure, le manganèse, le molybdène et le zinc (Frausto da Silva & Williams, 1997; Marschner, 1997). La majeure partie des micronutriments est nécessaire à la formation des différentes enzymes. Ces nutriments sont normalement disponibles en quantité suffisante dans le sol. Ce n'est seulement que dans des circonstances spéciales que la pénurie de micro-éléments limite la croissance des plantes. Le risque d'une telle insuffisance en micro-éléments est minimisé lorsque les excréta humains sont utilisés comme engrais. Les excréta contiennent tous les micro-éléments nécessaires à la croissance des plantes.

REPONSE DU RENDEMENT ET UTILISATION DE LA RESSOURCE

La fertilisation n'augmente le rendement des cultures que si le nutriment apporté est l'un des facteurs de croissance les plus limitants. (Figure 1). Il ne faut pas s'attendre à une quelconque augmentation de rendement si la croissance des cultures est principalement limitée par des facteurs autres que l'approvisionnement en nutriment (par exemple le manque en eau, pH trop bas ou trop élevé etc.) . Pour un effet maximum, il est important que les excréta soient employés efficacement et différemment en fonction de la quantité de nutriments requis par superficie emblavée et en fonction des besoins en engrais par unité de surface.

Il y a suffisamment de surface pour utiliser tout le potentiel des nutriments si l'application moyenne de N utilisable des plantes est inférieure au taux A dans la Figure 2, qui est le taux auquel le rendement augmente linéairement avec une augmentation de l'application de fertilisants. Le taux A diffère d'une culture, d'une région et d'un climat à un autre. Si ce taux n'est pas connu, alors l'application des urines d'une personne pendant une pleine journée par mètre carré (approximativement 1,5 litres d'urine/m² et par saison agricole) peut être employée en général. Cela correspond à l'application 40-110 kg N/ha environ.

Quand la surface n'est pas un facteur limitant, on peut facilement gagner le plein effet de fertilisation des urines, même si l'urine est appliquée à différentes doses sur différents endroits, aussi longtemps que le dosage à tous ces endroits est inférieur au taux A (Figure 2).

Quand la surface est si limitée de sorte que le taux d'application moyen doive être supérieur à A, la meilleure fertilisation peut s'obtenir en maintenant le taux uniforme sur toute la surface disponible, si toutes les cultures ont la même demande en N. Le rendement augmente quand on augmente l'application du taux A au taux B (Figure 2). Cependant, la quantité et la qualité du rendement sont importantes et des taux élevés de N disponible peuvent affecter la qualité, tant positivement que négativement. Par exemple, la qualité du blé s'améliore généralement grâce à un dosage élevé de N, tandis que la qualité par exemple des pommes de terre irlandaises peut diminuer puisque les tubercules risquent de devenir aqueux. Cependant, la synchronisation de l'application importe ici puisque la prise de nutriment par la plupart des cultures diminue après que la culture entre dans la phase générative, telle que l'épiaison pour le maïs.

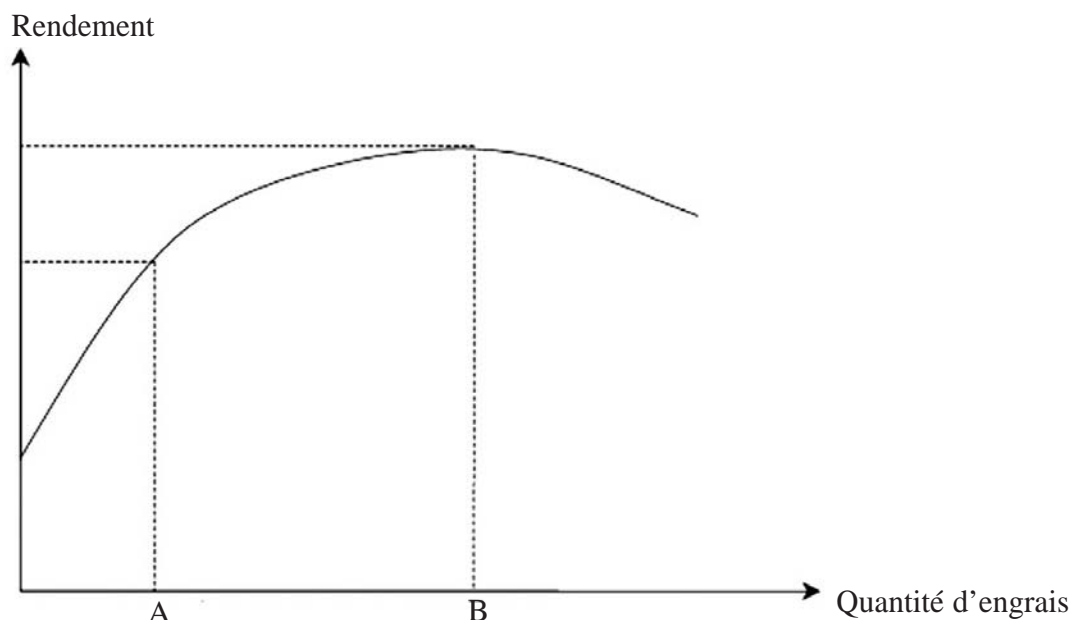


Figure 2. Effet de l'augmentation des taux d'application de N utilisable sur le rendement des cultures, par exemple sous forme d'urine. Jusqu'au taux A, l'augmentation du rendement reste linéaire à l'addition des urines. Entre le taux A et le taux B, le rendement augmente toujours en réponse à l'application accrue d'engrais, mais à un taux plus lent. Au-delà du taux B, l'application additionnelle d'engrais devient toxique et le rendement diminue si le taux d'application est augmenté.

Au cas où aucune information ne serait disponible sur le taux B, alors un taux quatre fois supérieur au taux A pourra être employé en général. Cela reviendrait à appliquer des urines excrétées par une seule personne durant une journée sur une aire de 0.25 m², correspondant à un taux d'application approximatif de 160-440 kg N/ha.

Même si la surface est très limitée, le taux moyen ne devrait jamais excéder le taux B, au-dessus duquel des quantités additionnelles de N (par exemple d'urine) deviennent toxiques. La quantité d'urine qui ne peut être utilisée comme engrais devrait être employée d'une autre manière, c'est-à-dire comme agent d'accélération lors du compostage. Une fois utilisée de cette façon, la plus grande partie du N se perd, mais les autres nutriments demeurent dans le compost et deviennent ainsi utilisables par les plantes.

Nutriments dans les excréta

Bilan de masse de nutriments

La masse ne peut ni être créée ni détruite, excepté dans les réactions nucléaires et ce fait est la base des cycles durables des nutriments végétaux. De tels cycles existent dans la nature. Un exemple en est la savane africaine, où la circulation de nutriment végétal entre la végétation et les animaux a été durable pendant une si longue période que la girafe a eu le temps de développer son long cou. Avec l'assainissement écologique, nous nous efforçons de créer des cycles de nutriment dans les sociétés urbaines, qui seront aussi durables que celles qui existent dans le reste de la nature.

Une fois que le corps a entièrement grandi, les nutriments consommés sont excrétés par l'organisme. Au cours de sa croissance, le corps intègre certains nutriments dans les tissus. N se transforme en protéines, P entre dans la composition des os et des muscles, K dans les nerfs et les muscles. Cependant, seule une infime proportion des nutriments est maintenue dans le corps même lorsque les enfants et les jeunes grandissent rapidement. La conservation incomplète des nutriments dans le corps en croissance, calculée sur la base du régime et du poids moyen en gain des jeunes suédois entre 2 et 17 ans d'âge (Becker, 1994) et la composition du corps humain (Garrow, 1993), pendant cette période est approximativement de 2%, 6% et 0.6% pour N, P et K respectivement. Une fois que le squelette et les muscles ont atteint leur taille normale, le corps ne retient ni n'accumule plus de nutriments végétaux.

Ainsi, la quantité de nutriments végétaux excrétés correspond essentiellement à celle qui a été consommée. Ceci a trois implications importantes :

- 1) La quantité de nutriments végétaux excrétés peut se calculer sur l'ingestion d'aliment, sur laquelle les données sont meilleures et plus facilement utilisables que les excréta.
- 2) Si les excréta et les bio déchets de même que les débris végétaux et animaux sont recyclés, il est alors possible de maintenir la fertilité des terres arables, car la quantité de nutriments dans les produits recyclés est la même que celle enlevé avec la récolte.
- 3) Les différences dans la composition des excréta d'une région à l'autre reflètent les variations dans l'alimentation des populations et dans l'approvisionnement en nutriments végétaux nécessaires au maintien de la fertilité. Indépendamment des quantités et des concentrations en nutriments végétaux contenus dans les excréta, une recommandation importante de fertilisation consistera à distribuer les engrais contenus dans les excréta sur une surface égale à celle utilisée pour produire la nourriture.

MACRONUTRIMENTS CONTENUS DANS LES EXCRETA

Il existe très peu de données sur les quantités et la composition des excréta humains. Il est donc nécessaire d'établir une méthode qui facilite le calcul de la composition des excréta à partir des données disponibles. Une telle méthode a été élaborée par Jönsson & Vinnerås (2004) à partir des statistiques de l'organisation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture (FAO) (www.fao.org) sur les approvisionnements alimentaires disponibles dans les différents pays. Cette méthode emploie des équations dérivées des statistiques de la FAO et une évaluation de l'excrétion moyenne de la population suédoise (Tableau 1), où beaucoup de grandes mesures ont été réalisées sur les excréta.

Table 1. Nouvelles valeurs suédoises proposées pour la masse et les nutriments excrétés (Vinnerås, 2002)

Paramètre	Unité	Urine	Fèces	Papier Hygiénique	Eaux noires (urine+fèces+papier)
Masse humide	kg/personne, an	550	51	8.9	610
Masse sèche	kg/ personne, an	21	11	8.5	40.5
Azote	g/ personne, an	4000	550		4550
Phosphore	g/ personne, an	365	183		548

Sur la base de cette évaluation de l'excrétion moyenne ainsi que la nourriture fournie à la population suédoise selon les statistiques de la FAO et de l'analyse statistique des différents produits alimentaires, des relations (Equations 1-2) ont été élaborées entre la nourriture fournie selon la FAO et l'excrétion de N et de P.

$$N = 0.13 * \text{Protéine alimentaire total} \quad \text{Equation 1}$$

$$P = 0.011 * (\text{Protéine alimentaire total} + \text{Protéine d'aliment végétal}) \quad \text{Equation 2}$$

Dans les équations 1-2, les unités de N et P sont les mêmes que celles de la protéine alimentaire. Comme décrit dans l'Equation 2, il y a une forte corrélation positive entre la teneur en protéine et le phosphore dans les produits alimentaires. En outre, les produits alimentaires végétaux contiennent en moyenne deux fois plus de phosphore par gramme de protéine que les produits alimentaires animaux, c'est pourquoi la protéine végétale est doublement comptée dans l'équation 2.

Ces équations sont utiles pour l'évaluation de l'excrétion moyenne en N et en P dans les différents pays. Les données utiles pour faire ces évaluations sont fournies par les statistiques de la FAO sur l'alimentation dans les pays. Pour plus d'informations, prière se référer à la page Web de la FAO appelée "Nutrition Data – Food Supply – Crops Primary Equivalent" ("Données de Nutrition – Approvisionnements alimentaires – Équivalent Primaire des Cultures"). Vous trouverez des exemples des résultats de telles évaluations sur certains pays dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Approvisionnements alimentaires (équivalent primaire de cultures) dans différents pays en 2000 (FAO, 2003)

Pays	Énergie totale kcal/cap, jour	Énergie végétale kcal/cap, jour	Protéine totale g/cap, jour	Protéine végétale g/cap, jour
Chine, Asie	3029	2446	86	56
Haïti, Antilles	2056	1923	45	37
Inde, Asie	2428	2234	57	47
Afrique du Sud, Afrique	2886	2516	74	48
Ouganda, Afrique de l'Est	2359	2218	55	45

Tableau 3. Estimation de nutriments excrétés par tête d'habitant de différents pays (Jönsson & Vinnerås, 2004)

Pays		Azote kg/cap, an	Phosphore kg/cap, an	Potassium kg/cap, an
Chine	Total	4.0	0.6	1.8
	Urine	3.5	0.4	1.3
	Fèces	0.5	0.2	0.5
Haïti	Total	2.1	0.3	1.2
	Urine	1.9	0.2	0.9
	Fèces	0.3	0.1	0.3
Inde	Total	2.7	0.4	1.5
	Urine	2.3	0.3	1.1
	Fèces	0.3	0.1	0.4
Afrique du Sud	Total	3.4	0.5	1.6
	Urine	3.0	0.3	1.2
	Fèces	0.4	0.2	0.4
Ouganda	Total	2.5	0.4	1.4
	Urine	2.2	0.3	1.0
	Fèces	0.3	0.1	0.4

Ces évaluations supposent que la perte entre la nourriture fournie et la nourriture consommée réellement, c'est à dire les déchets alimentaires produits, est relativement de la même taille dans les différents pays. Cette hypothèse se vérifie par les données chinoises. Toute l'excrétion rapportée par Gao et al. (2002) pour la Chine était de 4.4 kg de N et 0.5 kilogramme de P. Ces valeurs sont tout à fait bien conformes à celles calculées au tableau 3, étant donné la difficulté de faire des mesures représentatives de l'excrétion d'une grande population.

Au tableau 3, tout l'ensemble de l'excrétion a été également divisé entre urine et fèces. Pour cela, nous avons utilisé les données suédoises. En Suède, on trouve approximativement 88% de N dans les excréta et 67% du P des excréta dans l'urine, le reste dans les fèces. La division des nutriments entre urine et fèces dépend de la digestibilité du régime alimentaire, étant donné que les nutriments digérés entrent dans le métabolisme et sont excrétés avec l'urine, alors que les fractions non digérées sont excrétées avec les fèces. Ainsi, pour les pays où l'alimentation est moins digestible qu'en Suède, les urines auront tendance à contenir moins de 88% de N dans les excréta et 67% du P des excréta. Par exemple, les données chinoises (Gao et al, 2002) indiquent que les urines contiennent approximativement 70% de N des excréta et 25-60% du P. Pour diminuer l'incertitude sur la façon dont les nutriments, en particulier P, sont divisés, il faut effectuer plusieurs mesures de la composition des excréta dans les pays ayant des régimes moins digestibles.

La digestibilité influence également la quantité des fèces excrétées. En Suède, on l'estime à 51 kilogrammes de masse humide (Vinnerås, 2002), en Chine à 115 kg/personne par an (Gao et autres, 2002) et au Kenya jusqu'à 190 kg/personne par année (Pieper, 1987). La masse fécale sèche en Suède est environ 11 kilogrammes et en Chine 22 kg/personne par an. Les concentrations de nutriments sont estimées à partir des quantités de nutriments contenues dans la matière fécale et sa masse.

La concentration en nutriments des urines excrétées dépend de la quantité des nutriments (estimés ci-dessus) et la quantité moyenne de liquide produit par les adultes, estimée à environ 0.8-1.5 litres par personne et par jour (les enfants excrètent la moitié) (Lentner et al., 1981). En s'appuyant sur cela et sur d'autres mesures, la valeur suédoise proposée est de 1.5 litres par personne par jour (550 litres/personne/année ; Vinnerås 2002), tandis que Gao et al. (2002) pour la Chine rapporte 1.6 litres par personne par jour (580 litres/personne/année).

Le corps utilise les urines comme moyen d'équilibrage entre les liquides et les sels. La quantité d'urine varie donc avec le temps, la personne et les circonstances. Par exemple, une transpiration excessive a pour conséquence des urines concentrées, alors qu'une consommation de grandes quantités de liquide dilue les urines. Ainsi, pour déterminer le taux d'application des urines comme engrais, le calcul devrait se baser de préférence sur le nombre de personnes et de jours où elles ont été recueillies, puisque cela donne une meilleure indication de la teneur en nutriment que le volume.

TENEUR EN METAUX LOURDS ET EN SUBSTANCES POLLUANTES DANS LES EXCRETA

Les teneurs en métaux lourds et autres substances chimiques telles que les résidus de pesticides, sont généralement faibles ou inexistantes dans les excréta et dépendent des quantités contenues dans les produits consommés. Les urines sont filtrées à travers le sang par les reins. Elles contiennent des substances qui ont fait partie du métabolisme. La teneur en métaux lourds contenus dans les urines est donc très bas (Jönsson et al., 1997; Jönsson et al., 1999; Johansson et al., 2001; Vinnerås, 2002; Palmquist et al., 2004). Cette teneur est plus élevée dans les fèces. La raison principale est que les fèces sont principalement composées de matières non métabolisées. La majeure partie des micronutriments et des métaux lourds traversent l'intestin sans transformation (Fraústo da Silva & Williams, 1997). Dans tous les cas, les concentrations de substances chimiques contenues dans les fèces sont inférieures que celles contenues dans les engrais chimiques (par exemple le cadmium) et le fumier (par exemple le chrome et le plomb) (tableau 4).

Table 4. Concentrations de métaux lourds (cuivre, zinc, chrome, nickel, plomb et cadmium) dans les urines, les fèces, le mélange urine+fèces et dans les déchets de cuisine séparés à la source, comparé aux fumures de bétail de fermes organiques en Suède tant en µg/kg de poids humide (ww=wet weight en anglais) et en mg/kg P (calculé à partir de SEPA, 1999; Vinnerås, 2002)

	Unité	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd
Urine	µg/kg ww	67	30	7	5	1	0
Fèces	µg/kg ww	6667	65000	122	450	122	62
Mélange Urine+fèces	µg/kg ww	716	6420	18	49	13	7
Déchets de cuisine	µg/kg ww	6837	8717	1706	1025	3425	34
Fumure Bétail org.	µg/kg ww	5220	26640	684	630	184	23
Urine	mg/kg P	101	45	10	7	2	1
Fèces	mg/kg P	2186	21312	40	148	40	20
Mélange urine+fèces	mg/kg P	797	7146	20	54	15	7
Déchets de cuisine	mg/kg P	5279	6731	1317	791	2644	26
Fumure Bétail org.	mg/kg P	3537	18049	463	427	124	16

Une proportion élevée des hormones produites par notre corps et les produits pharmaceutiques que nous consommons sont excrétés par les urines. Il est raisonnable d'estimer que le risque d'effets négatifs de ces excréments sur la quantité ou la qualité des cultures est négligeable. Tous les mammifères, au cours de leur évolution ont produit et rejetés des hormones dans les environnements terrestres. La végétation et les micro-organismes du sol sont adaptés aux hormones et aptes à les dégrader. En outre, la quantité d'hormones contenue dans les excréments des animaux domestiques est supérieure à la quantité trouvée dans les urines humaines. Ainsi, quoique des estimations théoriques sur la base de tests réalisés sur des poissons aient indiqué un risque d'écotoxicité à l'œstradiol (Ambjerg-Nielsen et al., 2004) dans l'application des urines, les expérimentations faites sur l'engrais et l'histoire de l'évolution indiquent fortement qu'il n'y a pas un risque réel.

Aussi convient-il de rappeler que la majorité des produits pharmaceutiques sont dérivés des substances naturelles. Les produits pharmaceutiques sont donc des produits de synthèse que l'environnement naturel arrive à dégrader avec des activités microbiennes diverses. Ceci a été vérifié dans les stations d'épuration des eaux usées, où la dégradation des substances pharmaceutiques s'est améliorée lorsque le temps de conservation était prolongé de quelques jours. Les urines et les excréta sont mélangés dans la terre arable qui a une communauté microbienne aussi diverse et active que celle des stations d'épuration des eaux usées. Les substances sont maintenues pendant des mois dans la terre arable. Cela signifie qu'il y a suffisamment de temps pour que les microbes dégradent toutes les substances pharmaceutiques et que les risques liés à celles-ci sont infimes.

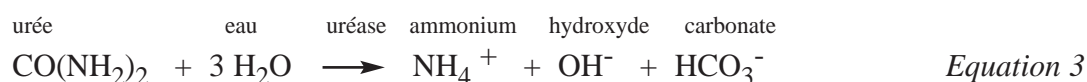
Il serait meilleur de réutiliser les urines et les fèces sur les terres arables que de les évacuer dans des eaux réceptives pour ce qui concerne tant les hormones que les substances pharmaceutiques. Dans la mesure où les systèmes aquatiques n'ont jamais été exposés aux hormones des mammifères en grande quantité, il n'est pas surprenant que la distribution sexuelle des poissons et des reptiles soit perturbée lorsqu'ils seront exposés à un effluent d'eaux usées. En outre, la période de conservation des eaux usées dans les stations d'épuration des eaux est bien trop courte pour que de nombreuses substances pharmaceutiques se dégradent. Les eaux réceptives sont aussi habituellement reliées à des sources d'eau. Ainsi, il n'est pas surprenant que des substances pharmaceutiques aient été détectées pendant des décennies dans les eaux réceptives de Berlin et aussi dans les eaux souterraines, qui sont la source d'eau potable de Berlin (Herberer et al., 1998).

Il existe de nombreuses indications qui montrent que le risque éventuel des substances pharmaceutiques sur le système agricole est sensiblement faible comparativement aux risques liés au système actuel. Une telle indication est celle que dans beaucoup de pays la consommation humaine de produits pharmaceutiques est petite par rapport à celle des animaux domestiques, étant donné que dans la majeure partie des pays, la plupart des aliments commercialisés pour la consommation animale contiennent des substances antibiotiques, utilisées en supplément comme instigateurs de croissance. En outre, l'utilisation humaine de substances pharmaceutiques est faible comparée à la quantité de pesticides (insecticides, fongicides, bactéricides et herbicides) utilisée dans l'agriculture, et qui ont autant d'impact biologique que les pharmaceutiques.

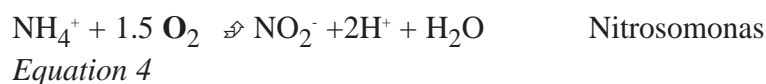
COMPOSITION ET DISPONIBILITE VEGETATIVE DES NUTRIMENTS CONTENUS DANS LES URINES

L'urine a été filtrée par les reins et ne contient que des substances de faible poids moléculaire. A l'excrétion, le pH des urines est normalement d'environ 6, mais peut varier entre 4.5 et 8.2 (Lentner et al., 1981). 75-90% du N est excrété sous forme d'urée et le reste principalement sous forme d'ammonium et de créatinine (Lentner et al., 1981).

En présence de l'uréase, l'urée est rapidement dégradée en ammonium et en dioxyde de carbone (équation 3) et les ions d'hydroxyde produits augmentent normalement le pH à 9-9.3. Normalement, l'uréase s'accumule dans le système de circulation (tuyaux) des urines et donc la transformation ci-dessus se fait très rapidement, habituellement en quelques heures (Vinnerås et al., 1999; Jansson et al., 1999)



L'ammonium directement utilisable par la plante, est un excellent engrais azoté. C'est ce qui explique le fait que l'urée (qui est dégradée en ammonium par uréase contenu dans le sol) et l'ammonium sont les deux engrais azotés les plus utilisés dans le monde. Beaucoup de cultures préfèrent le nitrate à l'ammonium, mais cela ne pose aucun problème. L'ammonium appliqué au sol arable est transformé en quelques jours en nitrate (Equations 4-6). Dans les sols ayant une activité microbienne plus faible, ces transformations durent plus longtemps



L'utilisation par la plante de N contenu dans l'urine est identique à celle des engrais chimiques d'urée ou d'ammonium. Cela est évident car on trouve 90-100% d'urine N sous forme d'urée et d'ammonium. Les expériences de fertilisation le vérifient. (Kirchman & Pettersson, 1995; Richert Stintzing et al., 2001).

Le P contenu dans l'urine, presque entièrement inorganique (95-100%), est excrété sous forme d'ions de phosphate (Lentner et al., 1981). Ces ions sont directement utilisables par la plante. Il n'est pas surprenant que leur disponibilité pour la plante s'est avérée au moins aussi meilleur que celle du phosphate chimique (Kirchmann & Pettersson, 1995).

K excrété dans l'urine sous forme d'ions, est directement utilisable par la plante. C'est la même forme que celle fournie par les engrais chimiques. Leur effet de fertilisation devrait être aussi identique.

S est principalement excrété sous forme d'ions de sulfate libres (Lentner, 1981; Kirchmann & Pettersson, 1995), qui sont directement utilisables par la plante. C'est la même forme que le S contenu dans la plupart des engrais chimiques. L'effet de fertilisation de S contenu dans les urines et celui de S contenu dans les engrais chimiques devrait être identique.

COMPOSITION ET UTILISATION DES NUTRIMENTS CONTENUS DANS LES FECES PAR LA PLANTE

Comme il a été décrit ci-dessus, la principale proportion des nutriments excrétés se trouve dans l'urine, qui a une contamination extrêmement faible en métaux lourds. Les fèces contiennent également beaucoup de nutriments relativement non contaminés. A la différence des urines qui ont des nutriments hydrosolubles, les fèces contiennent à la fois des nutriments hydrosolubles et des nutriments combinés à de grandes particules non solubles dans l'eau. Cependant, environ 50% de N et la majorité du K contenus dans les fèces sont hydrosolubles (Berger, 1960; Trémolières et al., 1961; Guyton, 1992; Fraústo da Silva & Williams, 1997). P se trouve principalement sous forme de particules de phosphate de calcium, qui ne sont solubles que lentement dans l'eau (Fraústo da Silva & Williams, 1997). Le K se trouve principalement sous forme d'ions dissous.

La disponibilité de la plante en nutriments contenus dans la matière fécale est inférieure et plus lente que celle des nutriments d'urine. Cela est dû au fait que la proportion principale du P et une grande proportion du N proviennent de la matière non digérée et cette matière doit être dégradée dans le sol pour devenir utilisable par les plantes. Cependant, la matière organique contenue dans les fèces se dégrade et sa teneur en N et en P organiques devient alors disponible pour les plantes. Les phosphates de calcium se dissolvent également et deviennent utilisables par les plantes. Ces phosphates de calcium doivent être aussi utilisables que le sont ceux fournis par les engrais chimiques. Le K contenu dans les fèces sous forme ionique, est directement disponible pour la plante. Ainsi, c'est seulement pour N que la disponibilité des nutriments fécaux est considérablement inférieure à celle des engrais chimiques ou des urines. Les fortes concentrations de P, de K et de matière organique dans la matière fécale peuvent donner des augmentations substantielles de rendement, en particulier sur les sols pauvres. La matière organique contribue à l'amélioration de la structure du sol, à l'augmentation de la capacité de rétention d'eau et du pouvoir tampon, l'appui aux micro-organismes du sol, en servant de source d'énergie.

Traitement hygiénique des urines et des fèces : effets des nutriments sur la plante

TRAITEMENTS PRIMAIRE ET SECONDAIRE

L'urine est normalement recueillie à partir des toilettes ou de l'urinoir de détournement vers un réservoir ou un récipient de collecte. La qualité hygiénique des urines prélevée est normalement supérieure à celle des fèces. Les risques hygiéniques associés aux urines détournées sont principalement une conséquence de leur contamination par les fèces, ce qui est possible dans de nombreux systèmes.

Le traitement secondaire n'est nécessaire que dans les grands systèmes (c'est-à-dire les grands systèmes où l'urine recueillie dans une famille est employée pour fertiliser des cultures

consommées par des personnes en dehors de cette même famille) où la fertilisation est faite moins d'un mois avant la récolte¹. Le stockage séparé est la méthode de traitement secondaire la plus utilisée car étant simple et bon marché.

Les fèces ont généralement besoin d'un traitement primaire et d'un traitement secondaire avant leur application, même si la distinction entre ces traitements est souvent diffuse. Le traitement primaire est celui qui survient au cours de la collecte. Dans les systèmes secs, cela survient normalement sous la toilette pendant la période de collecte. Le traitement primaire a plusieurs objectifs : a) diminuer les risques d'odeurs ; b) diminuer le risque de prolifération des mouches; c) diminuer les risques hygiéniques, c'est à dire réduire le nombre de microbes pathogènes potentiels contenus dans les fèces. Dans un système sec, ce traitement primaire peut consister à l'ajout de cendre après chaque défécation.

Le traitement secondaire se produit quand la période de collecte est terminée et il peut avoir lieu au niveau des toilettes (par exemple, dans des toilettes à double fosses) ou ailleurs. L'objectif principal du traitement secondaire consiste à rendre les fèces hygiéniquement saines. Un autre objectif consiste à transformer le mélange de fèces en un état où il est inodore et visuellement non répulsif. Cela signifie qu'il ne devrait plus être possible de distinguer des morceaux de fèces ou de papier toilette. Cela est important quand le produit fécal est manipulé manuellement mais moins important quand cette manipulation est mécanisée.

Il y a plusieurs options de traitement secondaire ; le compostage, la digestion, le stockage, le traitement et l'incinération chimiques. Les traitements thermophiles (compostage, digestion, incinération) pour l'assainissement se fondent sur tout matériel atteignant une température suffisamment élevée pendant un temps suffisamment long pour assurer l'élimination des germes pathogènes. Le temps de traitement est de quelques secondes pour l'incinération et des jours ou même quelques semaines pour le compostage thermophile. Pour réaliser des niveaux d'hygiénisation similaires, les autres traitements ont besoin de plus de temps et normalement la diminution ou la destruction des germes pathogènes dépend non seulement de la température mais également d'un certain nombre d'autres paramètres, tels que l'humidité, pH, etc.

Le traitement des fèces a des effets sur la teneur en nutriments et sur la disponibilité de ces nutriments pour la plante. Cet effet varie suivant les nutriments et les traitements. N et S peuvent se perdre sous forme de gaz, N₂, SO₂ et H₂S, pendant certains traitements, mais les autres nutriments demeurent dans le produit traité aussi longtemps qu'aucun produit de lixiviation ne se forme.

¹ Pour de plus amples informations veuillez vous référer aux Directives d'Hygiène (Schönning & Stenström, 2004).

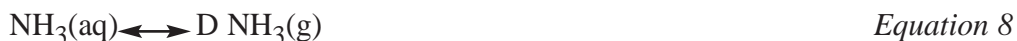
Traitement primaire

Urine

A partir des toilettes avec dérivation ou de détournement, les urines sont détournées vers un récipient de collecte. En raison de l'accumulation de l'uréase, il existe des formes de boue de vidange là où les urines restent dans les siphons des toilettes, dans les tuyaux placés à l'horizontal ou dans les réservoirs. Ces boues de vidange se composent en grande partie de struvite ($MgNH_3PO_4$) et d'apatite ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Elles se forment parce que le pH des urines monte jusqu'à 9-9.3 en conséquence de la dégradation de l'urée de l'ammonium (Equation 4). A ce pH élevé, les concentrations initiales du phosphate, du magnésium, du calcium et de l'ammonium ne sont plus solubles, mais se précipitent. 30% du P des urines se transforment par la suite en boue de vidange (Jönsson et al., 2000; Udert et al., 2003). Si les tuyaux ont une pente d'au moins 1% et sont assez larges (pour les tuyaux horizontaux = 75 mm), la boue de vidange coule vers un récipient de collecte où elle forme une plaque de fond. Celle-ci est liquide et peut être manipulée ainsi que le reste des urines.

Dans les conditions où les boues de vidange sont manipulées et réutilisées avec le reste des urines, la quantité et la disponibilité des nutriments restent sans changement. La concentration de P dans cette boue de vidange de fond peut être doublement supérieure au reste des urines. Ainsi, cette boue de vidange peut être utilisée pour des cultures ayant de fortes demandes en P ou être manipulée avec le reste des urines. Dans ce dernier cas, le produit fertilisant devrait de préférence être mélangé avant l'épandage pour obtenir un dosage égal.

Le pH élevé des urines contenue dans le récipient de collecte, normalement 9-9.3, couplé à sa concentration élevée en ammonium, signifie qu'il y a un risque de perte de N sous forme d'ammoniaque avec l'air de ventilation (Equations 7 et 8). Cependant, on élimine facilement ces pertes en concevant le système de sorte que le réservoir et les tuyaux ne soient pas aérés, mais la pression juste égalisée. Cela élimine également le risque de mauvaises odeurs du système d'urine. L'urine est très corrosive et donc les réservoirs devraient être faits de matériel résistant, par exemple du plastique ou du béton de haute qualité. Les métaux devraient être évités.



Fèces – Dessiccation avec utilisation d'adjuvants

Le traitement primaire des fèces le plus courant consiste à les collecter dans une fosse ventilée, souvent avec un adjuvant tel que la cendre végétale, la chaux ou la terre sèche. Cet adjuvant devrait être sec en principe. Bien plus dessiccateur que les fèces, qui à l'excrétion ont une teneur en matière sèche d'environ 20%, la teneur en matière sèche de la terre sèche et de la cendre est normalement de 85-100%. Ainsi, la teneur en matière sèche du mélange est bien plus élevée que celle des fèces, même si aucune dessiccation

à l'air libre ne se produit. Cette teneur accrue de matière sèche diminue le risque d'odeurs et de mouches. Cela réduit également certains microbes pathogènes et l'effet est renforcé si l'adjuvant a un pH élevé (la cendre ou la chaux). Le risque de prolifération de mouches est efficacement plus réduit si l'adjuvant est appliqué de telle manière que les surfaces fraîches des fèces ne soient jamais exposées, c'est à dire si l'ajout se fait immédiatement après chaque défécation de telle manière que toutes les surfaces de matières fécales fraîches soient recouvertes.

Les adjuvants fournissent différents nutriments. La cendre végétale est riche en K, en P et en calcium. Le sol contient également ces nutriments. Ces nutriments augmentent la quantité de ceux contenus dans le mélange fécal. Si on ajoute de la cendre ou de la terre après chaque utilisation de toilette, les fèces sèchent rapidement car l'humidité est amoindrie avec l'adjuvant sec. Le pH élevé de la cendre et de la chaux ainsi qu'une diminution rapide du niveau d'humidité des fèces signifie que la dégradation biologique est atténuée par l'emploi suffisant d'adjuvant. Ainsi, les pertes de matière organique et de N du mélange fécal sont faibles.

Dans le processus de séchage, excepté N, tous les nutriments et la majeure partie de la matière organique sont conservés. Une partie du N se perd sous forme d'ammoniaque. Certaines matières organiques se dégradent très facilement et se perdent également sous forme de dioxyde de carbone et d'eau. Cependant, si le séchage est rapide, les pertes sont faibles car la dégradation biologique ralentit davantage et cesse quand le niveau d'humidité diminue à des niveaux inférieurs. Dans ce cas-ci, c'est uniquement une partie des produits organiques et du N hydrosoluble, environ 50% du N total du début qui risque de se perdre. (Trémolières et al., 1961). Si le séchage est plus lent, il se produit plus de dégradation biologique et ainsi les pertes de produits organiques et de N sont plus grandes.

Traitement secondaire

Urine

Le stockage des urines est une méthode de traitement secondaire simple et bon marché. Aussi longtemps que le réservoir est juste sous pression égalisée et non aérée, il n'y a pas de pertes de nutriments ni de changement de leur disponibilité. La teneur en P de la boue de vidange du fond est élevée et celle-ci peut être employée pour les plantes demandeuses de P, autrement, elle devrait être mélangée au reste du contenu du réservoir avant épandage, afin de fournir un dosage uniforme.

Il existe une différence sur le plan de l'assainissement entre le stockage séparé des urines et le stockage combiné des urines et des fèces. Les fèces augmentent le nombre de microbes pathogènes, la matière organique et le pouvoir tampon du mélange. Ainsi, le mélange urine-fèces entraîne simultanément la nécessité d'assainir plus et diminue l'effet d'hygiénisation.

Fèces

N et S sont les nutriments qui risquent de se perdre pendant le traitement secondaire, et les facteurs importants influençant leur destin sont la quantité de l'aération et la dégradation qui se produit dans le processus.

Fèces – incinération

L'incinération est un processus aérobie, avec une dégradation essentiellement complète de la matière organique. Ainsi, si on incinère avec succès et entièrement les fèces, alors tous les N et S se perdent essentiellement sous forme de gaz, alors que les P et K restent essentiellement dans la cendre. Comme la cendre végétale, la cendre d'une incinération réussie est un concentré d'engrais hygiénique à forte teneur en P et K. Pour assurer une meilleure utilisation de cet engrais concentré, il devrait être soigneusement appliqué (voir la section "Fèces", sous-section "Technique d'application" ci-dessous).

Fèces – compostage

Compostage thermophile

Comme l'incinération, le compostage thermophile est un processus réalisé en milieu aérobie qui se fonde sur la chaleur de la matière organique dégradante pour atteindre la température désirée, > 50°C, pendant un certain nombre de jours en vue d'assurer une réduction sûre des microbes pathogènes (Vinnerås et al., 2003a; Schönning & Stenström, 2004). Il faut un taux élevé de dégradation si le compost doit atteindre cette forte température. La dégradation demande beaucoup d'oxygène et le poids total de l'air exigé pour le processus de compostage est habituellement plusieurs fois supérieur à celui du substrat (Haug, 1993). Dans un compostage réussi, le pH du substrat s'élève jusqu'à 8-9, même si le pH initial est bas (~5) (Eklind & Kirchmann, 2000; Beck-Friis et al., 2001, 2003). L'augmentation du pH est en grande partie due à l'ammoniaque formée quand N sous forme organique (protéine) est dégradée (Haug, 1993; Beck-Friis et al., 2003).

La combinaison de l'ammoniac, l'élévation de température, du pH et d'une aération signifie que N se perd sous forme d'ammoniaque. Ces pertes sont légèrement diminuées si le ratio C/N du substrat est augmenté au moyen d'adjuvant à carbone élevé comme les feuilles, la paille ou le papier. Cependant, si le ratio C/N devient trop élevé (> 30-35), alors le compostage est ralenti, altérant l'atteinte des températures requises. A des ratios C/N offrant un compostage réussi, les pertes de N se situent habituellement entre 10-50% (Eklind & Kirchmann, 2000; Jönsson et al., 2003). Si l'urine et les fèces des latrines sont compostées ensemble (au lieu des fèces uniquement) alors l'ajout du N dans le compost est augmenté de 3-8 fois et la grande partie du N des urines se perd, parce qu'elle est principalement sous forme d'ammoniaque, qui s'échappe facilement du compost fortement aérobie.

La grande proportion (en général 90-95%) du N contenu dans le compost fini est N organique (Sonesson, 1996; Eklind & Kirchmann, 2000). Ce N organique devient utilisable par la plante uniquement au taux où il se dégrade davantage dans le sol. Le N restant, 5-10% du total, est de l'ammonium et du nitrate, qui sont directement utilisables par les plantes.

La disponibilité de K, de S et de P dans la matière compostée est élevée. Si le produit de lixiviation s'échappe pendant ou après le processus du fait de la pluie ou d'un substrat humide, alors les fractions les plus utilisables de ces nutriments se perdront. Par conséquent, il est important que le compostage soit géré de sorte à ne pas permettre à aucun produit de lixiviation de s'échapper.

Un substrat uniquement basé sur des fèces n'est ordinairement pas suffisant pour atteindre les températures thermophiles, en particulier si les fèces sont mélangées à la cendre ou à la chaux. L'addition de substrats supplémentaires en quantité largement supérieure à celle des fèces et facilement dégradables est nécessaire. Ce substrat supplémentaire peut se composer par exemple de déchets alimentaires, de déchets industriels biodégradables ou de déchets de cuisine séparés à la source. Ces additions influencent les concentrations de nutriment dans le compost. Un suivi régulier est nécessaire pour la pérennité de l'opération thermophile.

Compostage à basse température

Le compostage mésophile et la dégradation aérobie à des températures ambiantes, communément appelé compostage à basse température, se caractérisent comme des variantes du compostage thermophile à basse température avec des processus entièrement aérobies. A maturité, les produits de ce processus sont aussi dégradés que ceux du compostage thermophile. Les produits finaux de la dégradation aérobie sont également semblables (dioxyde de carbone et l'eau). Le pH final et toutes les pertes de N sont semblables (10-50%) au compostage thermophile (Eklind & Kirchmann, 2000), de même que probablement la disponibilité du produit final pour la plante. Les deux principales différences entre les deux types de compostage sont premièrement que l'hygiénisation réalisé à température élevée dans le compost thermophile ne se produit pas dans le compostage à basse température. Deuxièmement, la nécessité de substrat additionnel facilement dégradable, de même que le besoin de grands facteurs de production exigés par l'opération et par l'entretien, sont diminués.

La description ci-dessus de la dégradation aérobie tient en grande partie également lorsque le processus a lieu dans le sol, comme c'est le cas pour l'Arbor Loo et Fossa alterna (voir note de bas de page au tableau 5). La perte d'ammoniaque dans ce processus pourrait cependant être plus faible que celle du compostage en surface dans la mesure où l'ammoniaque peut se répandre dans le sol environnant, se dissoudre dans la solution du sol et probablement être utilisé par les plantes. Il est particulièrement avantageux si on faisait une certaine culture sur la fosse de l'Arbor Loo ou Fossa alterna. La culture a besoin d'humidité pour survivre, ce qui signifie que l'ammoniaque se répandant vers le haut est également dissoute dans la solution du sol et utilisée par les plantes. Cependant, il y a un risque de pertes par lixiviation de N dans les puits. Ce risque augmente probablement avec la taille de la fosse et avec la quantité d'urine qui y est déposée. Pour les latrines à fosse conventionnelles, cette perte, au Botswana oriental, a été estimée entre 1 et 50% (Jacks et al., 1999).

Un travail extensif a été effectué au Zimbabwe sur le compostage des fèces à basse température (Morgan, 2003). Une analyse de l'humus extrait à partir des fosses peu profondes où de la terre est ajoutée à une combinaison de fèces et d'urine laissée à composer, montre une substance riche en tous les principaux nutriments nécessaires à la croissance des plantes, comparé à la terre arable normale.

Tableau 5. Analyse de l'humus composté dérivé du sol de fosse Fossa alterna et l'humus de Skyloo comparé à une moyenne de diverses terres arables après incubation de deux semaines

Source de sol	pH	N-minéral ppm mg/kg	P ppm mg/kg	K ppm mg/kg	Ca ppm mg/kg	Mg ppm mg/kg
Terres arables locales (moyen de 9 échantillons)	5.5	38	44	195	3200	870
Humus de Skyloo (moyen de 8 échantillons)	6.7	232	297	1200	12800	2900
Sol de fosse Fossa alterna (moyen de 10 échantillons)	6.8	275	292	1750	4800	1200

Le N minéral a été analysé par la méthode de Kjeldahl (nitrite, nitrate et ammonium). La classification des sols locaux au Zimbabwe : taux de moins de 20 ppm comme étant faibles. 20-30 comme étant moyens, 30-40 adéquats et =40 ppm “bons”. Par conséquent, les sols produits à partir de la Fossa alterna et de Skyloo sont très riches en N utilisables par la plante à cette échelle. Les échantillons de terres arables utilisés dans le tableau ci-dessus sont dans la marge adéquate.

P a été analysé avec le processus d'extraction de résine. Cela montre le P utilisable, non le P total. Moins de 7 ppm est considéré comme faible, 7-15 marginal, 15-30 moyen, 30-50 adéquat, 50-66 bon, 67-79 très bon et =80 ppm est considéré comme élevé. Les sols produits à partir de Skyloo et de Fossa alterna sont également très élevés en P.

Ca, Mg et K ont été extraits au moyen de l'acétate d'ammonium.

Le Fossa alterna est un système de toilette à double fosse dans lequel la terre, la cendre, les feuilles et les excréta (urine plus fèces) sont déposés dans un des deux puits peu profonds (habituellement 1.2 m de profondeur environ). L'utilisation alternée des puits à intervalles de douze mois est pratiquée. Une fosse est utilisée tandis que l'autre est en compostage. Il faut environ un an ou plus à une famille pour qu'elle remplisse une fosse avec son mélange d'ingrédients. Ainsi, ce système permet un cycle continu de fonctionnement, avec excavation de l'humus chaque année et l'utilisation alternée de la fosse chaque année.

Le Skyloo est une toilette à fosse unique avec déviation de l'urine. L'urine est déviée et recueillie pour une utilisation future comme fertilisant. Les fèces sont stockées dans un récipient tel un seau placé dans une fosse peu profonde. De la terre ou de la cendre de bois sont ajoutées aux fèces après chaque défécation. Quand le seau est presque plein, son contenu est déplacé vers un site de compostage secondaire où plus de terre est ajouté au mélange que l'on garde moite. Ce processus produit un compost riche après un temps.

Fèces – stockage

Le stockage dans un état sec à température ambiante ou accrue est un autre traitement secondaire possible. La réduction des germes pathogènes augmente avec l'élévation de la température ambiante (Moe & Izurieta, 2004). Si on maintient le niveau d'humidité bas, <20% pendant tout le stockage, alors la dégradation est faible ainsi que le sont les pertes de N et de produits organiques. Ces substances sont conservées et après incorporation dans le sol et humidification, elles se dégradent comme la matière contenue dans un compost mésophile ou Arbor Loo. En outre, puisque la dégradation a lieu en petits volumes dans le sol moite, planté de cultures, on élimine presque entièrement le risque de pertes d'ammoniaque ou du produit de lixiviation.

Fèces – digestion

La digestion anaérobie à des températures thermophile, mésophile ou ambiantes est une autre option de traitement secondaire des fèces. Les digesteurs sont fermés et toutes les substances affluentes leur laissent avec le biogaz et/ou les résidus de digestion. Dans la digestion, une grande proportion de la matière organique se dégrade en biogaz (méthane et dioxyde de carbone). Une grande proportion de S organique est minéralisée à partir des protéines dont une partie s'échappe du processus sous forme de sulfure d'hydrogène contaminant les biogaz. Une grande proportion du N organique est minéralisée à partir des protéines et le N résiduel est composé en grande partie (50-70%) d'ammonium (Berg, 2000), le N restant est organique. L'ammonium est directement utilisable par la plante et la disponibilité des autres nutriments végétaux est également appréciable. Les résidus de digestion devraient être manipulés avec soin pour ne pas perdre l'ammonium sous forme d'ammoniaque gazeuse.

Fèces – adjuvants chimiques

L'assainissement des fèces peut également se faire en les mélangeant à de l'urée. Cette urée se dégrade en ammonium grâce à l'uréase qui se produit naturellement dans les fèces. Le processus fonctionne mieux si les fèces sont sous forme de boue de vidange, pouvant être mélangée. Dans la boue de vidange, l'équilibre est établi entre l'ammonium et l'ammoniaque (Equation 7). L'ammoniaque est toxique pour les microbes et la réduction des germes pathogènes est très efficace dans le processus (Vinnerås et al., 2003b). Les ajouts d'adjuvants tels que la cendre et la chaux augmentent le pH pendant le traitement primaire et force l'équilibre de l'équation 7 à côté droite tout en augmentant l'effet d'aseptisation. Ce traitement doit être réalisé dans un récipient fermé. Le processus ressemble à du stockage dans la mesure où qu'aucune dégradation de fèces ne se produira : ni de perte de matière organique, ni de perte de N. Ils sont tous au profit des microbes au sol pour y prospérer après l'application de boue de vidange comme fertilisant. La teneur en ammonium de cette boue de vidange est plus élevée que celle des urines et du résidu de digestion. Ainsi, elle doit être un excellent engrais mais, comme résidu de digestion, elle doit être manipulée avec soin pour éviter les pertes d'ammoniaque.

Recommandations pour une utilisation des urines et des fèces dans l'agriculture

Un point de départ pour décider du taux d'application de l'urine et des fèces est de se référer à la recommandation locale en vigueur en matière d'utilisation de source de N conventionnel (de préférence l'urée ou engrais d'ammoniacal) et les engrais P. Au cas où les recommandations locales ne seraient pas à disposition, il y a lieu d'estimer la quantité de nutriments enlevés avec la récolte. Pour certaines cultures, l'élimination à la tonne métrique de fraction comestible moissonnée est décrite au tableau 6. Ces quantités devraient être multipliées par la moisson estimée pour obtenir les quantités de nutriments végétaux enlevés.

Tableau 6. Quantités de N, P et K (kg/ha) éliminés à la tonne métrique de fraction comestible moissonnée pour différentes cultures (Autorité Suédoise de l'Alimentation, 2004)

Culture	Quantité kg/ha	Teneur en eau %	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha
Céréales					
Maïs, sec*	1000	10	15.1	2.1	2.9
Maïs, frais	1000	69	6.2	1.1	2.9
Mil	1000	14	16.8	2.4	2.2
Riz non poli	1000	12	12.4	3.0	2.3
Sorgho	1000	11	17.6	2.9	3.5
Blé	1000	14	17.5	3.6	3.8
Autres					
Haricots verts frais	1000	90	2.9	0.4	2.4
Pommes de terre irlandaises	1000	80	2.9	0.3	4.7
Lentilles sèches	1000	12	38.4	3.8	7.9
Oignons	1000	91	1.9	0.4	1.9
Potiron	1000	92	1.6	0.4	3.4
Haricots rouges, secs	1000	11	35.2	4.1	9.9
Soja, sec	1000	10	59.5	5.5	17.0
Épinards	1000	94	3.0	0.3	5.6
Tomates	1000	93	1.4	0.3	2.1
Pastèque	1000	91	1.0	0.1	1.2
Chou blanc	1000	92	2.2	0.3	2.7

Il est important de se rappeler qu'un taux d'application correspondant à la quantité de nutriments enlevés par la fraction comestible de la culture est inférieur au taux d'application requis pour un rendement de culture plus élevé, en particulier sur les sols de basse fertilité. L'engrais fourni doit apporter des nutriments au système de racines, à la partie alimentaire et au résidu de la plante. On constate souvent qu'il y a des pertes additionnelles de N, de K et de S en lixiviation et de N par volatilisation. Certains nutriments se perdent également si les déchets du traitement de la culture ne sont pas réutilisés dans le

² Pour de plus amples discussions au sujet des taux d'application, voir les Sections " Urine " et " Fèces " ci-dessous.

champ comme engrais. Un autre aspect important est que le P supplémentaire est facilement absorbé par le sol pauvre en P. De ce fait, les quantités calculées à partir du tableau 6 donnent le niveau minimum d'application requis pour maintenir la fertilité. Des taux d'application élevés, souvent le double, sont requis pour augmenter simultanément la fertilité du sol, nécessaire pour obtenir un rendement élevé sur des sols pauvres. Cependant, si N est fourni aux légumineuses, par exemple le haricot et les pois, leurs capacités de fixation d'azote ne sont pas entièrement utilisées.

URINE

Observations générales

L'urine est une source précieuse de nutriments, utilisée depuis les temps anciens pour améliorer la croissance des plantes, les légumes à feuilles notamment. Il y a plusieurs manières d'utiliser l'urine. La plus manifeste consiste à utiliser les urines directement pour fertiliser les cultures. Les recommandations ci-dessous sont faites dans ce sens. Une autre possibilité, qui entraîne de grandes pertes d'ammoniaque, consiste à utiliser les urines pour améliorer le processus de compostage des substrats riches en carbone. Vous trouverez des recommandations concernant l'utilisation des différents composts dans la section "Fèces". De nombreuses options différentes de processus de concentration ou de séchage des urines ont été présentées, mais l'utilisation de ces produits n'est pas traitée dans ce texte.

Le texte suivant présume que la manipulation des urines suit les directives d'hygiène données en ce qui concerne les urines (Schönning & Stenström, 2004).

Effet fertilisant des urines

Les urines utilisées directement ou après stockage constituent une alternative de haute qualité, à moindre coût que de l'application d'engrais minéral dans la production végétale. Les nutriments contenus dans les urines sont de forme ionique et leur disponibilité à la plante rivalise bien avec l'engrais chimique (Johansson et al., 2001; Kirchmann & Pettersson, 1995; Kvarmo, 1998; Richert Stintzing et al., 2001). Les urines s'utilisent mieux comme engrais direct pour les cultures demandeuses de N et pour les légumes à feuilles. S'il existe des recommandations spécifiques régionales pour la culture en question en ce qui concerne l'utilisation des engrais azotés (l'urée, l'ammonium ou le nitrate), un point de départ sur la manière d'utiliser les urines consiste à traduire ces recommandations en urine. La traduction est simplifiée si la concentration en N des urines est connue. Si la concentration n'est pas connue alors, en général, une concentration de 3-7 grammes de N par litre d'urine peut être prévue (Vinnerås, 2002; Jönsson & Vinnerås, 2004). L'urine contient également de grandes quantités de P et de K, mais en raison de sa grande teneur en N, ses rapports P/N et K/N sont inférieurs comparativement à beaucoup d'engrais minéraux utilisés pour la production végétale.

Le rendement réalisé grâce à la fertilisation avec les urines varie en fonction de nombreux facteurs. Un aspect important en est l'état de sol. L'effet des urines, tout comme les engrais chimiques, est probablement légèrement inférieur sur un sol à faible teneur de substances organiques que sur un sol à teneur organique élevée. L'expérience montre

qu'il est salubre pour la fertilité du sol d'utiliser les urines en combinaison avec les fèces ou autres engrais organiques, mais ils peuvent être employés sur différentes années et pour différentes cultures.

Dilution

Les urines peuvent être appliquées pure (sans dilution) ou diluées à l'eau, comme cela se fait dans beaucoup d'endroits. Le niveau de dilution varie approximativement entre 1 :1 (1 part d'eau contre 1 part d'urine) à 10 :1, et le rapport 3 :1 semble courant. La dilution implique l'augmentation du volume à épandre et ainsi le travail, l'appareillage requis, l'utilisation d'énergie et tout le risque de tassement du sol sont augmentés.

La dilution a l'avantage de diminuer ou d'éliminer, le risque d'application excessive. L'application des urines à de taux élevés est toxique pour la culture. Cependant, indépendamment de savoir si l'urine doit être diluée ou non avant d'être appliquée, il faut noter que l'urine est un excellent engrais et devrait, tout comme les engrais chimiques beaucoup plus concentrés, être appliqué à un taux correspondant au taux d'application désiré en N, tandis que l'eau supplémentaire devrait être appliquée selon les besoins des plantes. Ainsi, l'urine peut être appliquée, pure ou même concentrée sur le sol, qui alors est irrigué selon les besoins en eau de la culture. L'urine peut également être diluée dans l'eau d'irrigation à un taux qui dépend du besoin en nutriments et d'eau de la culture. L'application d'un mélange eau/urine doit normalement être entremêlée avec l'irrigation à l'eau uniquement.

L'urine diluée devrait être manipulée de la même manière que l'urine non diluée. Afin d'éviter les odeurs, la perte d'ammoniac, la génération d'aérosols, les brûlures et la contamination éventuelle des plantes par les microbes pathogènes restants, l'urine devrait être appliquée très près ou être incorporée dans le sol. La fertilisation foliaire n'est pas recommandée.

Dans les secteurs où la salinisation des sols pose problème, la fertilisation à l'urine n'est recommandée que si elle donne une bonne augmentation du rendement. Si la salinisation est de loin le facteur limitant alors il faut d'autres améliorations que l'application d'urines pour une fertilité accrue du sol.

Période d'application

Aux premières étapes de la culture, une bonne disponibilité de tous les nutriments est importante pour accélérer la croissance. Dans la production agricole à grande échelle, la stratégie normale de fertilisation consiste à l'application de nutriments une fois ou deux fois par saison agricole. Si l'engrais n'est appliqué qu'une fois, il devrait normalement être effectué avant ou au moment de semer. Si la culture est fertilisée deux fois, la deuxième fertilisation peut être effectuée après approximativement 1/4 du temps entre l'ensemencement et la moisson, différent selon les besoins de la culture.

La culture peut également être fertilisée sans interruption, par exemple si l'urine est recueillie dans de petits récipients et utilisée plus ou moins directement. Cependant, une fois que la culture entre dans sa phase reproductrice, elle prend à peine plus de nutri-

ments. Un exemple est le maïs. L'engrais appliqué jusqu'à ce que les plantes entrent en épiaison est bien utilisé. Après cette étape, la prise des nutriments décline à partir du sol, étant donné qu'à ce stade, les nutriments sont principalement replacés au sein de la plante (Marschner, 1997). Ceci est reconnu dans les recommandations concernant l'utilisation des engrais chimiques. Par exemple, au Zimbabwe, où le maïs est moissonné 3-5 mois après sa plantation, la recommandation est de le fertiliser trois fois durant le deux premier mois suivant la plantation.

En général, la fertilisation devrait s'arrêter alors entre 2/3 et 3/4 du temps entre l'ensemencement et la récolte. Certains légumes, notamment ceux à feuilles, sont récoltés avant qu'ils n'atteignent leur étape reproductrice et donc l'engrais appliqué proche de la période de récolte peut toujours être utilisé par les plantes. Cependant, une période d'attente d'un mois entre la fertilisation et la récolte est très avantageuse d'un point de vue d'hygiène et est recommandée pour les cultures consommées crues (Schönning & Stenström, 2004).

Un aspect trop souvent mis en évidence est le risque de lixiviation des nutriments. Dans les régions où il y a de fortes précipitations pendant la saison agricole, les applications répétées d'urine peuvent être une garantie contre les pertes de nutriments en cas de précipitations. Cependant, il faudrait toujours se rappeler que la lixiviation après fertilisation est faible par rapport à la lixiviation d'une fosse de latrine ou au fait de laisser l'urine déviée s'infiltrer dans le sol près de la toilette.

La quantité totale d'urine appliquée est de savoir s'il faut de préférence l'appliquer une fois ou plusieurs fois. Cela dépend du besoin de la plante en N et de la taille de sa racine. La taille de racines varie considérablement entre différentes cultures (schéma 3). Les plantes ayant des systèmes racinaires peu profonds, par exemple les carottes, les oignons et la laitue, peuvent tirer bénéfice des applications répétées d'urine pendant toute la culture (Thorup-Kristensen, 2001).

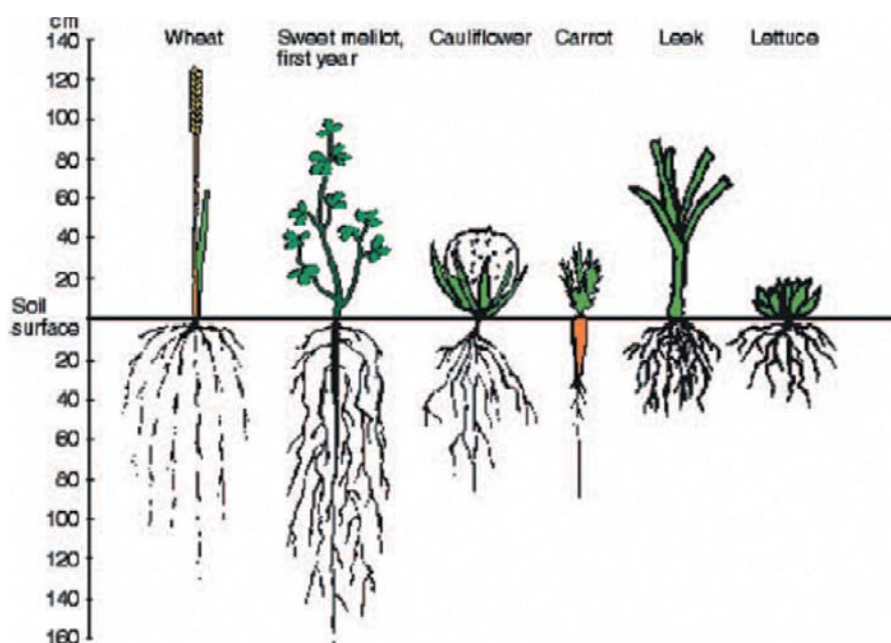


Figure 3. Taille des racines de plantes végétales. Dessin : Kim Gutekunst, JTIFI

Stockage dans le Sol

Dans les régions où il existe des périodes définies de culture suivies de périodes sèches, le stockage des nutriments d'urine dans le sol est une alternative si la capacité de stockage est insuffisante. Ceci se fait en appliquant et en incorporant l'urine dans le sol pendant la saison sèche, suivie de la culture normale pendant la saison agricole. L'idée est que la majeure partie des nutriments demeure dans le sol et devient utilisable par les plantes pendant la saison agricole. Il faudra pousser les investigations pour déterminer la perte et la disponibilité de nutriments, en particulier en N, pour les cultures pendant et après un tel stockage. Les résultats obtenus par la Société de Développement Urbain en Afrique de l'Est (SUDEA) en Ethiopie, de même qu'au Zimbabwe, indiquent que cette méthode est une alternative intéressante au stockage des urines dans des récipients jusqu'à la saison agricole, quoique les pertes en N puissent être élevées. Pendant une telle expérience où les nutriments présents dans les urines ont été stockés pendant 28 jours dans le sol, la perte du N minéral s'est avérée être de 37% (Sundin, 1999). Un avantage additionnel du stockage dans le sol est que le travail d'application des urines se fait pendant la saison sèche, qui est normalement moins employeuse de main-d'œuvre que la saison agricole.

Technique d'application

Pour un meilleur effet de fertilisation et pour éviter les pertes d'ammoniaque, l'urine devrait être incorporée aussitôt que possible au sol après application, immédiatement si possible (Johansson et al., 2001; Richert Stintzing et al., 2001; Rodhe et al., 2004). Une incorporation peu profonde suffira et il existe différentes méthodes. On doit appliquer l'urine dans de petits sillons recouverts après application. Le lessivage des nutriments dans le sol avec une application subséquente d'eau est une autre option.



Figure 4. L'épandage d'urine se fait facilement avec un arrosoir ordinaire. Légumes fertilisés aux urines, Suède. Photo : Håkan Jönsson, SLU.

Lors de l'épandage d'urine, celle-ci ne devrait pas être appliquée sur les feuilles ou autres parties des plantes, car ceci peut provoquer une brûlure foliaire en raison des concentrations élevées de sels pendant le séchage. L'épandage d'urine par "spraying" (pulvérisation) devrait également être évité en raison du risque de perte de N à travers des émissions gazeuses d'ammoniaque (Johansson et al., 2001; Rodhe et al., 2004) et du risque d'hygiène à travers les aérosols.

L'irrigation goutte à goutte en utilisant les urines comme engrais est une autre technique d'application possible. Cependant, lorsque l'on utilise cette technique, il faudra prendre des mesures pour éviter que les colmatages dus à la précipitation ne forment des sels de boue de vidange parce que la quantité totale de précipitation augmente souvent après dilution, étant donné que l'eau contient normalement du magnésium et du calcium.

Certaines cultures, comme les tomates, sont trop sensibles pour que l'on expose leurs racines à l'urine, du moins quand les plantes sont petites, alors que pour beaucoup de cultures, aucun effet négatif n'a été constaté. Par conséquent, avant que la sensibilité d'une culture ne soit connue, il est indiqué de ne pas exposer simultanément toutes les racines de la plante à l'urine pure ou diluée. L'urine peut plutôt, être appliquée avant l'ensemencement/la plantation ou à une telle distance des plantes que les nutriments restent à la portée des racines, mais toutes ne sont pas imbibées. Pour les plantes annuelles, cette distance peut être environ 10 centimètres.

Taux d'application

Un point de départ pour le calcul des dimensions de l'application d'urine porte sur les recommandations locales pour l'utilisation d'engrais azotés minéraux commerciaux, de préférence l'urée ou l'engrais d'ammonium. Si ces recommandations ne sont pas applicables, un autre point de départ serait d'estimer les quantités de nutriments éliminés par la culture, qui pour certaines cultures sont données au Tableau 6.

L'urine peut être recommandée pour la plupart des cultures. Comme elle est particulièrement riche en N, il est indiqué d'accorder la priorité aux cultures qui ont un besoin élevé et qui répondent bien au N, telles que les épinards, le chou-fleur, les fleurs ornementales et le maïs. Cependant, il n'y a aucune raison à ne pas employer l'urine, s'il y en a assez, comme engrais pour d'autres cultures, car les expériences à travers le monde montrent de bons résultats.

Expériences

L'urine humaine a été utilisée comme engrais dans le petit jardinage pendant longtemps dans beaucoup d'endroits à travers le monde, bien que la plupart de cette utilisation ne soit pas documentée (Figure 5).



Figure 5. Groseilles à maquereau, cassis et roses fertilisées aux urines dans un jardin à Uppsala, Suède. Photo : Håkan Jönsson, SLU.

L'urine a été testée comme engrais sur de la laitue produite sous serre au Mexique (Guadarrama et al., 2002). Il y a eu des comparaisons de traitements : urine uniquement, compost uniquement, un mélange d'urine et du compost et un traitement sans aucun engrais. Le taux d'application était de 150 kilogrammes du N total par hectare dans tous les traitements, excepté le traitement non fertilisé. L'urine a donné le meilleur rendement en laitue, en raison de sa disponibilité élevée en N. Des résultats semblables ont été rapportés pour d'autres cultures végétales.

L'urine a été testée comme engrais sur l'orge en Suède en 1997-1999 (Johansson et al., 2001; Richert Stintzing et al., 2001; Rodhe et al., 2004). Les résultats ont prouvé que l'effet de N des urines correspondait à environ 90% de quantités égales d'engrais minéraux de nitrate d'ammonium.

Dans des essais pratiqués sur des fermes organiques en 1997-1999, l'urine humaine a été testée comme engrais sur du grain de mars et du blé d'hiver (Lundström & Lindén, 2001). Pour le blé d'hiver, les applications ont été faites au mois de mars sur la culture croissante. Une comparaison a été faite entre l'engrais de basse-cour sec et un engrais de cendres d'os secs. L'urine humaine correspondant à 40, 80 et 120 kilogrammes de N/ha a augmenté les rendements de grain de blé d'hiver en moyenne de 750, 1500 et 2000 kg/ha, respectivement. L'engrais sec de basse-cour a donné des augmentations de rendement en moyenne respectivement de 600, 1100 et 1500 kg/ha environ. Les engrais de cendres d'os secs ont donné la plus petite augmentation de rendement : environ 400, 800, et 1200 kg/ha, respectivement. En moyenne pour chacun des trois niveaux de fertilisa-

tion azotée, l'augmentation de rendements de blé d'hiver était de 18 kilogrammes de grain par kilogramme de N pour l'urine humaine, 14 kilogrammes pour l'engrais sec de basse-cour et 10 kilogrammes pour l'engrais de cendres d'os. Ces données prouvent que la disponibilité de N en urine est plus élevée que dans l'engrais de basse-cour et les engrais de cendres d'os, ce qui doit être prévu puisque l'engrais de basse-cour et les engrais de cendres d'os ont tous une fraction plus élevée de N organiquement lié. Pour le blé de mars, les augmentations de rendement et l'utilisation de N étaient inférieures, probablement en raison des niveaux élevés de N utilisables par la plante dans le sol au début de la période de culture.



Figure 6. Epannage des urines avant l'ensemencement de l'orge, de même que l'orge fertilisée aux urines à un stade précoce. Photo : Mats Johansson, VERNA.

L'urine a été testée comme engrais sur l'orge en saison chaude temporaire et mise en essai pratiques en Allemagne (Simons & Clemens, 2004). L'urine dans certains traitements a été acidifiée afin de réduire les émissions d'ammoniaque et la contamination microbienne. Les résultats de l'essai en pratiques ont montré que l'effet fertilisant des urines était plus élevé que celui de l'engrais minéral dans la production de l'orge. Il n'y avait aucune différence de rendement entre les parcelles fertilisées avec des urines acidifiées et des urines non traitées.

L'urine a été testée comme engrais sur la bette à cardes en Ethiopie (Sundin, 1999). Les rendements des parcelles fertilisées étaient quatre fois supérieurs à ceux des parcelles non fertilisées. L'urine a été également testée comme engrais sur le coton et le sorgho au Mali (Dembele, communication personnelle). Les résultats sont prometteurs et les essais continuent en 2004. L'urine a été testée comme engrais sur l'amarante au Mexique (Clark, communication personnelle). Les résultats montrent qu'une combinaison d'urine et d'engrais de basse-cour donnait le rendement le plus élevé, 2.350 kg/ha. L'engrais de basse-cour seul a donné un rendement de 1.900 kg/ha. L'urine humaine seule a donné un rendement de 1.500 kg/ha et le témoin non fertilisé a donné un rendement de 875 kg/ha. La quantité de N appliquée était de 150 kilogrammes N/ha pour les trois traitements. Le prélèvement de sol n'a montré aucune différence entre les traitements en ce qui concerne les caractéristiques physiques ou chimiques.

Dans un essai en pratique en Suède en 2002, on a testé différentes stratégies d'application des urines comme engrais sur des poireaux (Båth, 2003). La fertilisation avec l'urine a donné une triple augmentation de rendement. Ni le rendement ni la prise de nutriment n'ont été sensiblement affectée par le fait que toute la quantité d'urine a été appliquée en deux doses ou qu'elle a été divisée en plusieurs petites doses appliquées tous les 14 jours.

L'efficacité de N, c'est-à-dire (rendement N – (rendement N de parcelles non fertilisées) N ajouté), lors de l'utilisation d'urine humaine était élevée, se situant entre 47% et 66%. C'est au même niveau que lorsque l'on utilise des engrais minéraux. L'efficacité de N pour la plupart des autres engrais organiques, par exemple le compost, se situe normalement entre 5 et 30%

Tableau 7. Résultats d'un essai en pratique en utilisant des urines humaines comme engrais pour les poireaux. Il n'y avait aucune différence statistiquement significative entre les traitements A, B, et C (D'après Båth, 2003)

Traitement	Taux N N kg/ha**	Rendement ton ha*	Rendement kg/ha**
A Urine tous les 14 jours	150	54	111
B Urine deux fois	150	51	110
C Urine tous les 14 jours + potassium supplémentaire	150	55	115
D Non fertilisé	0	17	24

* ton ha = kg/10 m²

** kg/ha = gram/10m²



Figure 7. Essai en pratiques en utilisant des urines comme fertilisant pour des poireaux. Photo : Anna Richert Stintzing, VERNA.

Des essais faits sur des plantes en utilisant des urines ont été menés sur divers légumes au Zimbabwe (Morgan, 2003). Les plantes ont été cultivées dans des bassins en ciment de 10 litres et nourries avec 0.5 litre d'un mélange eau/urine au rapport de 3 :1 trois fois par semaine. Les plantes non fertilisées ont été cultivées comme comparaison. L'augmentation de la production était grande mais aucune analyse statistique n'a été exécutée.



Figure 8. Les épinards vers la gauche sont non fertilisés. Les épinards vers la droite sont fertilisés avec des urines diluées à trois parts d'eau contre une part d'urine appliquée deux fois par semaine. Photo : Peter Morgan, Aquamor.

Tableau 8. Rendements moyens (poids à l'état frais en grammes) dans un essai sur plantes avec utilisation d'urines comme fertilisant de légumes au Zimbabwe (Morgan, 2003)

Plante, période de croissance, et nombre de répétitions=n	Plantes non fertilisées g	Fertilisées, application eau/urine 3 :1 3x par semaine g	Rendement relatif fertilisé à non fertilisé
Laitue, 30 jours (n = 3)	230	500	2.2
Laitue, 33 jours (n = 3)	120	345	2.9
Epinards, 30 jours (n = 3)	52	350	6.7
Covo, 8 semaines (n = 3)	135	545	4.0
Tomate, 4 mois (n = 9)	1680	6084	3.6

FECES

Observations générales

La quantité totale de nutriments excrétés par les fèces est inférieure à celle des urines. La concentration de nutriments et particulièrement de P et K, est élevée dans les fèces. Une fois utilisée comme engrais, la matière fécale peut donner des augmentations significatives de rendement végétal. P est particulièrement précieux pour la plante dans sa croissance précoce et importante pour le bon développement des racines. En plus de fournir des macro et des micronutriments, les fèces contiennent une matière organique, qui augmente la capacité de rétention d'eau et le pouvoir tampon ionique du sol, sert d'aliment aux micro-organismes et est important pour l'amélioration de la structure du sol. Cependant, le risque de concentrations élevées de microbes pathogènes dans les

fèces est élevé et il est ainsi décisif de traiter les fèces de manière à ce que le risque de transmission de maladie soit réduit au minimum. Il faudra suivre les directives d'hygiène appropriées (Schönning et Stenström, 2004).

Effets fertilisants

Il convient de noter que les fèces contribuent à la production agricole par leur effet de fertilisation et par leur effet d'amélioration du sol. L'effet de fertilisant des fèces varie beaucoup plus que l'effet des urines. Cela est principalement dû au fait que la proportion de N qui est contenue sous forme minérale dans les fèces varie en grande partie entre les différentes stratégies de traitement, comme mentionnées ci-dessus. Une autre raison est que différents adjuvants sont employés dans les différents traitements. Ces derniers contribuent à la teneur globale en nutriments et en matière organique contenus dans le produit fécal traité.

En conclusion, la teneur et les propriétés de la matière organique dans les fèces traitées diffèrent largement selon les traitements.

L'effet d'amélioration du sol consiste à accroître son pouvoir tampon, à améliorer sa capacité de rétention et contribuer à l'alimentation de l'activité microbienne. Tous ceux-ci sont liés à l'ajout de matière organique et dans une certaine mesure à des substances minérales contenues dans la cendre au système du sol. L'effet d'amélioration du sol varie selon les mêmes principes comme cité ci-dessus.

Cendre

L'incinération des fèces produit de la cendre avec une teneur élevée de P et de K de même que d'autres macro et micronutriments. Cependant, N et S se perdent sous forme de gaz de vapeur. Ainsi, la cendre est un engrais PK ayant des micronutriments et un pH élevé, augmentant le pouvoir tampon du sol. La disponibilité de la plante en nutriments contenus dans la cendre est bonne aussi longtemps que la température d'incinération n'est pas assez élevée pour faire fondre la cendre. Si tel est le cas, alors la disponibilité de la plante en nutriments diminuera probablement inexorablement.

La quantité et la teneur de la cendre qui est produite de l'incinération varient. Selon le choix du traitement primaire, des ajouts de cendre, de sol, de chaux ou d'autres matériaux de dessiccation peuvent être faits, ce qui affecte l'incinération. Il faudra aussi peut-être ajouter du carburant. La cendre et la chaux contribuent à accroître l'effet pH du produit, un effet des plus souhaitables puisque le pH de la plupart des sols est inférieur à l'optimal, 6-7 pour la plupart des cultures. Sur les sols ayant un pH très faible (4-5), ceci est un effet très important pour la production agricole et également pour obtenir le plein avantage de la fertilisation avec, par exemple, l'urine, qui a été montrée en Ouganda et au Zimbabwe.

Compost par le système de compostage thermophile ou à basse température

A bien d'égards, le compostage fonctionne comme une incinération lente et partielle effectuée par les microbes. Souvent environ 40-70% de la matière organique et légère-

ment moins en N se perdent. Le N restant se trouve principalement, souvent à hauteur d'environ 90%, sous forme organique et ne devient utilisable par la plante qu'au taux de dégradation, qui est lente puisque la matière organique restante est plus stable que la matière organique initiale. Cette matière organique stable améliore la capacité de rétention d'eau et le pouvoir tampon du sol. Le P se trouve également dans une certaine mesure, mais moindre que le N, contenu sous formes organiques, tandis que le K se trouve principalement sous forme ionique et utilisable par la plante. Le compost devrait être appliqué comme engrais complet de PK ou comme amendement du sol. Les ajouts de déchets organiques dans le compostage, tout comme les additions faites dans le traitement primaire, affectent la quantité et les caractéristiques du compost.

Fèces sèches de dessiccation et stockage

Si le séchage est rapide et le niveau d'humidité faible, les pertes de matière organique et de N sont faibles. La majeure partie de la matière organique est conservée et à l'application, elle amende le sol et sert d'aliment aux micro-organismes du sol. Comparé au compostage, le stockage sec des fèces réutilise la matière qui est plus organique et N au sol, mais la matière organique est moins stable. La matière fécale sèche est un engrais complet de PK, qui contribue également en quantités considérables de N.

Résidus de digestion anaérobie

Dans la digestion anaérobie, approximativement, la même proportion de matière organique est dégradée comme dans le compostage (40-70%) mais ici le N minéralisé ne se perd pas, comme il l'est en grande partie dans le compostage. Le N reste comme ammonium dans le résidu de digestion. Environ 40-70% du N contenu dans le résidu se trouve sous forme d'ammonium facilement utilisable par la plante. Ainsi, pour la plupart des cultures, le résidu de digestion est un engrais bien équilibré, rapide et complet (Åkerhielm & Richert Stintzing, à paraître). On ajoute à la plupart des processus de digestion, des substrats additionnels tels que la fumure organique et les déchets ménagers, ce qui affecte naturellement la quantité et la composition du résidu de digestion.

Traitement chimique avec de l'urée

Lorsque les fèces sont traitées avec de l'urée, la teneur en ammoniacale est élevée à des niveaux égales à ou supérieurs à ceux des urines pures. La forte teneur en P et en K contenus dans les fèces signifie que ceux-ci sont encore un engrais bien équilibré et complet. Les fèces traitées à l'urée devraient être appliquées selon leur teneur en N minéral. La cendre et l'ajout d'autres adjuvants pendant le traitement primaire contribuent aux propriétés du produit.

Période d'application

Indépendamment de la façon dont les fèces ont été traitées, ils devraient être appliqués avant ensemencement ou la plantation. Cela, parce que les fèces contiennent de grandes quantités de P et la disponibilité de P est très importante pour la bonne croissance des petites plantes et des racines. Les fèces doivent être appliqués de telle manière qu'ils se mélangent à la solution du sol qui peut dissoudre et transporter les nutriments jusqu'aux racines. Ainsi, les produits fécaux doivent être bien incorporés dans le sol et ceci devrait se faire avant

l'ensemencement/la plantation, afin d'éviter tout risque de perturber les jeunes plantes. En conclusion, les fèces contiennent initialement un bon nombre de germes pathogènes. Il faut plusieurs barrières entre ces dernières et la plante pour réduire au maximum le risque de transmission de maladie par l'intermédiaire des plantes fertilisées avec des fèces. Le traitement secondaire est une de ces barrières. L'application et la couverture complète des fèces traitées avant l'ensemencement/la plantation est une autre barrière contre la transmission de maladie. Eviter d'utiliser les fèces comme engrais pour les légumes consommés crus est une troisième barrière contre la transmission de maladie. Dans les zones climatiques ayant une saison sèche avant la période agricole, on peut épandre le produit fécal pendant la saison sèche ou à la fin de la saison agricole précédente.

Technique d'application

Deux des plus grands avantages des fèces sont leur teneur en P et en matière organique. Pour utiliser pleinement ces derniers, la matière fécale doit être appliquée à une profondeur où le sol reste moite, car le P ne devient utilisable par les plantes qu'au taux où il se dissout dans la solution du sol. De même, la capacité de rétention d'eau et le pouvoir tampon de la matière organique ne sont pleinement exploités que dans des conditions moites. Ainsi, l'engrais, indépendamment de savoir s'il est sous forme de cendre, de compost, de résidu de digestion ou de boue traitée, devrait être appliqué à une telle profondeur de manière à ce qu'il soit bien couvert par la couche supérieure du sol. Cependant, la profondeur d'enracinement des plantes est limitée et si les fèces sont appliquées à des profondeurs excédant la profondeur d'enracinement, les nutriments végétaux ne seront pas utilisables par les plantes.

La technique d'application varie selon le taux d'application désiré. Si le taux d'application désiré est élevé, c'est à dire de grandes quantités sont disponibles par rapport à la surface à fertiliser, les fèces peuvent être enfouies dans le sol sur une couche, recouverte de sol de surface non mélangé à aucun produit fécal, formant un lit. Si le taux d'application est très grand, il est avantageux que la couche soit mélangée à du sol de sous-sol avant d'être recouverte avec du sol de surface. On utilise du creusement à petite échelle, tandis qu'à plus grande échelle il faut préférer le labour, puisque cela recouvre bien le produit. Si le taux d'application désiré est faible, le produit fécal est appliqué de préférence dans des sillons recouverts de sol. A un taux d'application inférieur, le produit fécal peut être appliqué dans des trous proches de l'endroit où les plantes vont pousser. La taille des sillons ou des trous dépend du produit à épandre. Ces sillons ou ces trous doivent être plus grands si le produit à épandre est composé de fèces desséchées avec un contenu élevé en papier de toilette, comparativement au cas où c'est la cendre des fèces incinérées. Le produit fécal devrait toujours être bien recouvert et placé de manière à être à la portée des racines mais sans être leur unique moyen de croissance.

La teneur en ammoniacque des résidus de digestion et de la boue traitée à l'urée est élevée. Ces produits devraient être stockés, manipulés et appliqués de telle manière à réduire les pertes d'ammoniacque au minimum. Ceci nécessite le stockage dans des récipients recouverts et l'incorporation rapide dans le sol. La cendre des fèces incinérées est un engrais concentré et devrait être soigneusement répartie pour exploiter sa teneur en nutriment de la manière la plus efficace. L'épandage de la cendre de manière uniforme peut être diffi-

cile. Il est simplifié si on la mélange à un agent bouffant tel que le sable ou le sol sec. L'utilisation des fèces dans la production arboricole est un exemple de la façon dont l'application dans un trou peut être faite pour les cultures pérennes. On peut employer des fèces sèches compostées ou incinérées pour augmenter la fertilité du sol lors de la plantation d'arbre. Une manière appropriée d'épandre les fèces consiste à mélanger avec une pelle les fèces sèches ou compostées au sol dans le trou qui a été creusé pour la plantation de l'arbre. Ceci entraînera la croissance rapide de l'arbre.



Figure 9. Sabtenga, Burkina Faso. Manguier fertilisé avec des fèces à la plantation et à des doses d'urine de manière régulière pendant la saison de croissance. Photo : Anna Richert Stintzing, VERNA.

Taux d'application

Les taux auxquels la plupart des produits fécaux peuvent être appliqués s'étendent sur un grand intervalle. Les deux effets les plus bénéfiques à tirer de la plupart des produits fécaux sont leur disponibilité en P et en matière organique. Les principaux avantages de ces effets sont tirés à des taux d'application très différents. L'excrétion P avec des fèces est grande. En Suède, environ 0.2 et en Chine 0.2-0.3 kg/personne par an. Si P est appliqué à un taux désiré par la culture, alors la matière fécale d'une seule personne suffira pour fertiliser environ 200-300 m² de blé à un niveau de rendement de 3000 kg/ha par personne. Cependant, dans beaucoup d'endroits, le sol est si démuné en P que le taux d'application recommandé est de 5 - 10 fois supérieur au taux désiré. Dans ce cas, la matière fécale d'une personne en une année contient assez de P pour fertiliser 20-40m². Ainsi, sur des sols ayant des niveaux faibles en P, la matière fécale d'une famille de cinq personnes peut fournir 100-200 m² de blé en P à un niveau de rendement de 3000 kg/ha.

A ce taux d'application élevé, la majeure partie du P demeurera dans le sol, en l'amendant. Pour ce qui concerne la teneur en matière organique contenue dans le produit fécal, il faudra des taux d'application plus élevés pour réaliser des effets sur le système du sol qui donnera à son tour de plus grands rendements, comme montré ci-dessous. La quantité de matière organique contenue dans les fèces dans beaucoup de pays semble se situer dans la gamme de 10 kilogrammes (Suède) à 20 kilogrammes (Chine) par personne par an. En outre, en Suède, on utilise environ 8 kilogrammes de papier toilette/personne par an. Si on inclut la matière de toilette dans le compost fécal, le compost résultant, après des pertes d'environ 40-70% de matière organique, contient environ 10 kilogrammes de matière organique par personne par an dans le compost fécal en Chine et en Suède.

La matière sèche de terre arable sur un mètre carré et à une profondeur de 25 centimètres pèse autour de 300 kilogrammes. Si la teneur initiale en matière organique contenue dans le sol est 1%, alors un mètre carré de terre arable contient 3 kilogrammes de matière organique pure. Ce niveau de matière organique est un produit des propriétés de sol, de l'histoire de la culture et du climat. Pour augmenter instantanément la matière organique du sol à 3%, l'addition de 6 kilogrammes supplémentaires de matière organique par mètre carré est nécessaire. Ce niveau d'application correspond à l'application des fèces produites par une seule personne pendant une année à une surface de terre 1.5-3 mètre carré. En conséquence, la production des fèces d'une famille de cinq personnes fournirait 7.5-15 mètres cube de terre en matériel organique. Ce taux d'application est un exemple d'application élevé du taux de fèces pour réaliser le but principal d'amendement de la teneur organique du sol.

Cependant, la teneur élevée et stable en matière organique du sol ne peut se réaliser que sur de plus longues périodes. La matière organique contenue dans le produit appliqué (par exemple les fèces sèches ou le compost) n'est pas aussi stable que l'humus du sol. L'avantage de ceci est que plus ils se dégradent, plus les nutriments végétaux sont minéralisés et deviennent utilisables par la plante. L'inconvénient est que cette dégradation signifie que la teneur en matière organique diminue. Il faut des applications continues de matière organique afin d'élever en permanence la teneur en matière organique du sol.

L'ajout de matière organique fortement dégradabile (par exemple des fèces sèches) signifie qu'une grande proportion des nutriments devient utilisable par la plante mais que la matière organique se dégrade rapidement. L'ajout d'un produit plus stabilisé riche en humus, par exemple le compost, signifie que moins de N deviennent utilisable par la plante. Néanmoins, l'augmentation de la matière organique du sol est plus durable. Cependant, la quantité d'humus stabilisée formée dans le sol quand les fèces sèches sont dégradées, est approximativement la même que celle formée en compostage mésophile. La différence est qu'il y a un risque de perdre les nutriments minéralisés dans le compostage, tandis que lorsque la dégradation a lieu dans le sol, ceux-ci peuvent être utilisés par les plantes.

Il y a peu de risque d'effets négatifs à appliquer de grandes quantités de P ou de matière organique au sol. Cependant, les aspects suivants devraient être considérés à des taux d'applications très élevés. S'il y a des matériaux facilement dégradables riches en carbone dans le produit fécal, il y a risque que le N utilisable par la plante soit épuisé par les micro-organismes contenus dans le sol. Un manque à court terme de N peut conduire à

des diminutions de rendement. Si de grandes quantités de chaux ou de cendre sont utilisées comme adjuvants, il y a alors un petit risque d'effets négatifs à des taux d'applications très élevés, en raison du pH trop élevé ($> 7.5-8$) résultant du sol. Un pH élevé ne présente un risque qu'à des taux d'application extrêmement élevés ou si le pH initial du sol est déjà très élevé. Pour les produits dont la concentration en ammonium est élevée, (résidu de digestion et boue de traitement d'urée), il y a un risque d'effets négatifs si l'application d'ammonium est trop élevée. Par conséquent, le taux d'application de ces produits devrait se baser sur la connaissance de la concentration en ammonium du produit et le taux d'application désiré pour N.

Lorsque les taux d'applications élevés indiqués ci-dessus sont employés, des améliorations normalement très impressionnantes de rendement sont réalisées, étant donné que la matière organique, le pH et le pouvoir tampon sont augmentés et que de grands stocks de P et de K sont fournis au sol, suffisamment pour durer de nombreuses années ou même des décennies.

Cependant, ces taux d'applications ne sont pas efficaces en ressource en ce qui concerne l'utilisation des nutriments dans les fèces, quoique le résultat donne un très bon effet sur la production agricole. Les taux d'applications dans les exemples indiqués ci-dessus se situent dans la gamme approximative de 20-150 tonnes de produit fécal par hectare. Les taux d'applications normaux pour les engrais de basse-cour dans l'agriculture se situent dans la gamme de 20-40 tonnes par hectare.

Un travail monumental a été effectué sur le compostage avec des fèces à basse température (Morgan, 2003). Dans une série d'expériences au Zimbabwe, des légumes tels que les épinards, le covo, la laitue, le poivron, la tomate et l'oignon ont été produits dans des seaux de 10 litres avec de la terre arable locale pauvre. Leur croissance était comparée à celle des plantes cultivées dans des récipients semblables remplis d'un mélange de 50/50 de la même terre arable locale pauvre mélangée à un volume égal d'humus dérivé de fèces et d'urine humaine co-compostés. Dans chaque cas, la croissance des légumes a été suivie. La culture a été pesée après un certain nombre de jours de croissance. Le tableau 9 montre les résultats des essais (Morgan, 2003). Ces résultats montrent une augmentation impressionnante du rendement végétal résultant de l'amendement du sol pauvre avec un mélange de fèces et d'urines compostées.

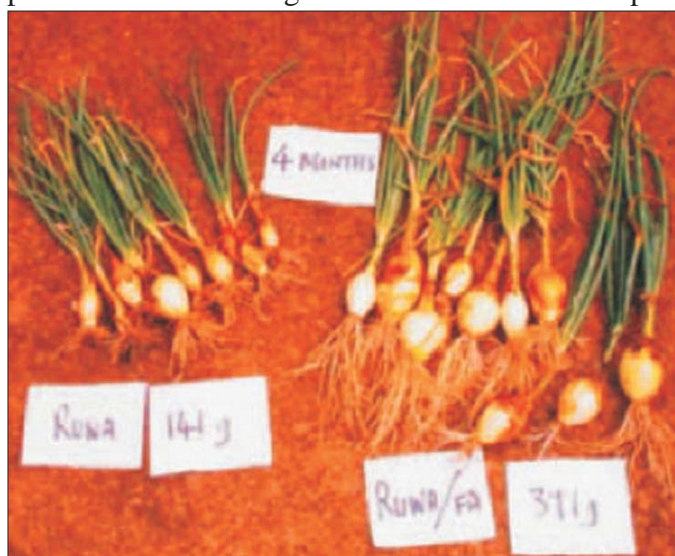


Figure 10. Les oignons vers la gauche sont non fertilisés tandis que ceux vers la droite sont produits dans un mélange de sol sableux pauvre à 50% et du compost d'Alterna Fossa à 50%. Photo : Peter Morgan, Aquamor.

Tableau 9. Rendements moyens (poids à l'état frais en grammes) dans un essai sur plantes comparant la production sur terre arable uniquement, avec une production dans un mélan-

Plante, type de sol et nombre de répétitions	Période de croissance	Pds à l'état frais Terre arable uniquement g	Pds à l'état frais Terre arable 50/50 FA*sol g	Rendement relatif fertilisé à non fertilisé
Épinards, sol d'Epworth (n = 6)	30 jours	72	546	6.7
Covo, sol d'Epworth (n = 3)	30 jours	20	161	1.8
Covo 2, sol d'Epworth (n = 6)	30 jours	81	357	4.4
Laitue, sol d'Epworth (n = 6)	30 jours	122	912	5.7
Oignon, sol de Ruwa (n = 9)	4 mois	141	391	8.2
Poivre vert, sol de Ruwa (n = 1)	4 mois	19	89	4.7
Tomate, Sol de Ruwa	3 mois	73	735	10.1

Les effets sont moins prononcés sur des sols fertiles. Une revue de la littérature sur les expériences de compost utilisées sur ces sols (Odlare, 2004) a montré qu'à des taux d'applications normaux de 30-40 tonnes de compost par hectare, les effets immédiats sont faibles sur la production végétale et la structure du sol. On a trouvé principalement des effets à long terme. L'application du compost a comme conséquence un plus grand stock de N organique dans le sol. Celui-ci se minéralise lentement. Le taux de minéralisation est fonction de la température du sol, de l'humidité et des micro-organismes. Au total, environ 20-30% du N contenu dans le compost deviendra utilisable par les plantes au cours des années (Odlare, 2004). Il y a également des amendements à long terme de la structure et de la capacité de rétention d'eau du sol. Les meilleurs résultats de culture seront atteints si le compost est appliqué avec le N minéral, par exemple sous forme d'urine.

Fèces sèches

Une des manières de réutiliser les fèces pour la production arboricole consiste à planter les arbres dans des fosses peu profondes remplies d'un mélange d'excréta, de sol et de cendre. Cette méthode traditionnelle dans beaucoup de pays africains, est utilisée même dans des fosses profondes. Alors que la croissance réelle des arbres dans ces trous n'a pas été scientifiquement mesurée par rapport aux arbres poussant sur la terre arable du voisinage, beaucoup de rapports attestent d'une croissance accrue dans ses conditions. La croissance accrue est due à la prise par les arbres des nutriments sur les excréta compostés contenus dans les fosses. Bien que les quantités de nutriment contenues dans ces fosses soient grandes et ne puissent pas être entièrement utilisées par les arbres, même pendant des décennies, ceci constitue une méthode d'assainissement écologique simple et peu coûteuses, qui peut accroître l'intérêt pour d'autres méthodes où les nutriments sont utilisés plus efficacement.

Une expérience de terrain a été récemment entamée au Burkina Faso (Klutse, communication personnelle): Ici des fèces sèches ont été utilisées comme engrais pour la production arboricole tels que la mangue et la banane, Figure 11. Une pelle remplie de fèces est mélangée à l'intérieur à du sol dans la fosse tout juste avant la plantation de chaque arbre. Aucun résultat n'est encore utilisable.



Figure 11. Production d'arbres fruitiers dans des fosses de Arbor Loo au Malawi. Vous pouvez voir les Arbor Loo à l'arrière. Photo : Peter Morgan, Aquamor.

Résidus de digestion

L'effet des résidus de digestion a été étudié en Suède (Åkerhielm & Richert Stintzing, à paraître) et en Inde (Godbole et al. , 1988). Les résultats de Suède prouvent que les résidus d'aliments digérés ont donné des rendements se situant entre 72 et 105% des rendements ayant des quantités égales de N total dans les engrais minéraux. Les résultats de l'Inde prouvent que pendant quatre ans, les résidus de digestion des petites stations de biogaz ont donné des rendements plus élevés ou tout aussi élevés que les engrais de basse-cour ou les engrais d'urée à des niveaux égaux du N total appliqué.

Recommandations de Conclusion

Ces directives se fondent sur nos connaissances actuelles de l'utilisation d'urine et de à fèces dans l'agriculture à petite et grande échelle. Au cours des prochaines années nous prévoyons générer de nouvelles données sur la réutilisation d'engrais à base d'excréta. Par conséquent, ces directives devraient être actualisées dans les trois ans à venir.

EXCRETA, RECOMMANDATIONS GENERALES

- Les excréta devraient être manipulés et traités selon les directives d'hygiène (Schönning & Stenström, 2004).
- L'urine et les fèces sont tous deux des engrais complets de haute qualité contenant de faibles niveaux de contaminants tels que les métaux lourds. On obtient le meilleur effet de fertilisation s'ils sont utilisés en combinaison l'un et l'autre, mais pas nécessairement la même année sur la même surface.

URINE

- L'urine est un engrais efficace complet riche en azote. Ses nutriments sont mieux exploités si l'urine est appliquée bien avant ensemencement, jusqu'à environ deux tiers de la période se situant entre ensemencement et la moisson.

- L'urine peut être appliquée pure ou diluée. Cependant, le taux d'application devra toujours se baser sur le taux d'application azoté désiré. L'urine pure ou diluée devrait être manipulée dans des récipients fermés et rapidement incorporés au sol, pour réduire au minimum la perte d'ammoniaque. Tout besoin potentiel en eau supplémentaire devrait être satisfait avec de l'eau plate et non d'urine diluée.
- Le taux et la période d'application recommandée pour les engrais chimiques azotés (urée ou ammonium si utilisable) constituent le meilleur point de départ pour élaborer des recommandations locales sur les taux et la période d'application des urines. Pour adapter ces recommandations à l'urine, sa concentration en azote peut être estimée à 3-7 g par litre, s'il n'existe aucune meilleure connaissance.
- Si aucune recommandation ne peut être obtenue, un principe de base consistera à appliquer l'urine recueillie pour une seule personne en une journée (24 heures) sur un mètre carré de culture. Si toute l'urine est recueillie, elle suffit à fertiliser 300-400 m² par personne. Pour la plupart des cultures, le taux d'application maximum sans risquer des effets toxiques est d'au moins quatre fois ce dosage.
- Pour la plupart des cultures et dans la plupart des circonstances, le rendement est constant pour le même taux d'application global qu'il soit appliqué en une seule grande dose ou en plusieurs petites doses. Pour les cultures ayant un faible système racinaire, il pourrait être avantageux de répartir cette application en plusieurs doses, en particulier si le besoin en nutriment de la culture est grand et que la principale prise de nutriments se fait tard dans la saison agricole.

FECES

- La matière fécale est particulièrement riche en phosphore, en potassium et en matière organique.
- La matière organique et la cendre, qui sont souvent ajoutées aux fèces, augmentent le pouvoir tampon et le pH du sol particulièrement important pour les sols ayant un faible pH.
- La matière organique améliore également la structure et la capacité de rétention d'eau du sol.
- Les fèces devraient être appliquées et mélangées dans le sol avant de commencer les cultures. L'application locale dans les trous ou dans les sillons près des plantes prévues est une manière d'économiser cette ressource précieuse.
- Pour les fèces, le taux d'application peut se fonder sur les recommandations actuelles sur l'usage des engrais phosphoreux. Ceci donne un faible taux d'application et il est difficile de distinguer l'amélioration due à la matière organique supplémentaire. Cependant, les fèces sont souvent appliquées à des taux beaucoup plus élevés auxquels la structure et la capacité de rétention d'eau du sol sont également sensiblement améliorées.

Connaissances à approfondir

Il y a beaucoup de lacunes dans les connaissances actuelles sur l'utilisation des urines et des fèces comme engrais. L'absence de recherche documentée dans ce secteur rend difficile l'élaboration de directives fixes. Cependant, ces produits ont été employés en agriculture depuis les temps anciens et il y a beaucoup de connaissances non documentées s'appuyant sur la pratique. La recherche sur l'utilisation des urines et des fèces comme engrais est nécessaire, en particulier dans les domaines suivants :

- effets de nutriment des excréta sur les cultures et le sol ;
- stratégies de fertilisation et technique d'applications dans l'utilisation des excréta ;
- efficacité du stockage des urines dans le sol ;
- techniques d'hygienisation simples des fèces ;

Adaptation de ces directives aux conditions locales

Ces directives devraient s'adapter aux conditions locales. Les systèmes agricoles changent, de même que les pratiques humaines d'un endroit à un autre. Comme point de départ, des données nationales sur la teneur en nutriment des urines et des fèces de même que les quantités excrétées au cours d'une année peuvent être élaborées sur la base de calculs suivant la méthode décrite à la section " Teneur des macronutriments dans les excréta " ci-dessus, complétés par des mesures appropriées.

Références bibliographiques

- Åkerhielm, H. & Richert Stintzing, A. In press. *Anaerobically digested source separated food waste as a fertilizer in cereal production*. présenté au RAMIRAN, Travaux de la Conférence Internationale FAO 2004.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, L., Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Hasling A.B., Stenström, T.A., Schönning, C., Westrell T., Carlsen, A. & Halling-Sørensen, B. 2003. 'Risk assessment of local handling of human faeces with focus on pathogens and pharmaceuticals'. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. p: 365.
- Andersson, Å. & Jensen, A. 2002. *Flöden och sammansättning på BDT-vatten urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers* (Flows and composition of greywater, urine, faeces and solid biodegradable waste in Gebers (in Swedish, English summary). Institutionsmeddelande 2002:05, Department of Agricultural Engineering, Swedish
- Becker, W. 1994. *Befolkningens kostvanor och näringsintag i Sverige 1989* (Dietary habits and intake of nutrition in Sweden 1989). The National Food Administration. Uppsala, Sweden.
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H. & Kirchmann, H. 2001. 'Emission of CO₂, NH₃ and N₂O from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes'. *Journal of Agricultural Engineering*
- Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2003. Composting of source-separated organic household waste at different oxygen levels: Gaining an understanding of the emission dynamics. *Compost*
- Berg, J. 2000. *Storing and handling of biogas residues from big-scale biogas plants* (In Swedish). JTI report Kretslopp & Avfall 22, Swedish Institute for Agricultural and Environmental Research. Sweden.
- Berger, E.Y. 1960. 'Intestinal absorption and excretion'. In: Comar, C.L. & Bronner F. (eds) *Mineral Metabolism*.
- Båth, B. 2003. *Field trials using human urine as fertilizer to leeks* (In Swedish). Manuscript, Department of Ecology and Plant Production Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Clark, G.A. 2003. *A test of the production of organically fertilized amaranth in Tehuixtla, Morelos, Mexico*.
- Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2000. 'Composting and storing of organic household waste with different litter amendments. IIFI Nitrogen turnover and losses'. *Bioresource Technology* **74**(2): 125-133.
- FAO (2003). *FAOSTAT Nutrition data – Food Supply – Crops Primary Equivalent*. <http://apps.fao.org/page/collect>
- Fraústo da Silva, J.J.R. & Williams, R.J.P. 1997. *The Biological Chemistry of the Elements - The Inorganic/Gao, X. Zh., Shen, T., Zheng, Y., Sun, X., Huang, S., Ren, Q., Zhang, X., Tian, Y. & Luan, G. 2002. Practical manure handbook*. (In Chinese). Chinese Agriculture Publishing House. Beijing, China.

- Garrow, J.S. 1993. 'Composition of the body'. In: Garrow, J.S. & James, W.P.T. (eds) *Human nutrition and dietetics*, 9th ed. Churchill Livingstone, Edinburgh, UK.
- Godbole, S. H., Kulkarni, Y. S., Yeole, T. Y., & Wange, S. S. 1988. 'Evaluation of manurial value of the effluent slurry of gobargas plant on the yield of wheat' (Var. MACS-9). In: Mathur, A. N. & Verma, L. N. (eds) *Management and utilization of biogas plant slurry*. Himashu Publications, Udaipur, Rajasthan, India.
- Guadarrama, R. O., Pichardo, N. A., Morales-Oliver, E. 2001. 'Urine and Compost Efficiency Applied to Lettuce under Greenhouse Conditions in Temixco, Morales, Mexico'. In: *Abstract Volume*, First International Conference on Ecological Sanitation 5-8 November 2001, Nanning, China.
- Guyton, A.C. 1992. *Human Physiology and Mechanisms of Disease*. W.B. Saunders Company, Philadelphia, USA.
- Haug, R. T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, USA. 34
- Herberer, T., Schmidt-Bäumler, K. & Stan, H-J. 1998. 'Occurrence and distribution of organic contaminants in aquatic system in Berlin. Part I: Drug residues and other polar contaminants in Berlin surface and groundwater.' *Acta hydrochim. hydrobiol.* **26**. 272-278.
- Jacks, G., Sefe, F., Carling, M., Hammar, M. & Letsamao, P. 1999. 'Tentative nitrogen budget for pit latrines – eastern Botswana'. *Environmental Geology* **38**(3): 199-203.
- Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., Richert Stintzing, A. & Rodhe, L. 2001. Urine separation – closing *the nutrient cycle*. Stockholm Water Company. Stockholm, Sweden. Available at: http://www.stockholmvatten.se/pdf_arkiv/english/Urinssep_eng.pdf.
- Jönsson, H., Stenström, T.A., Svensson, J. & Sundin, A. 1997. 'Source separated urine Nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination'. *Water Science and Technology* **35**(9):145-152.
- Jönsson, H. & 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 specialist group conference on sustainable sanitation, 7th - 11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 623-626.
- Jönsson, H., Eklind, Y., Albiñ, A., Jarvis, Å., Kylin, H., Nilsson, M.-L., Nordberg, Å., Pell, M., Schnürer, A., Schönning, C., Sundh, IFI & Sundqvist, J.-O. 2003. Samhällets organiska avfall – en resurs i kretsloppet (The organic waste in society – a resource in the circulation; in Swedish). Fakta Jordbruk – No 1-2, SLU, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C. & Stenström, T.-A. 1999. Source separation of urine (Teilstromerfassung von Urin). *Wasser & Boden* **51**(11):21-25.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. & Kirchmann, H. 2000. *Källsorterad humanurin i kretslopp* (Recycling source separated human urine) (In Swedish, English summary). VA-FORSK Report 2000o1. VA - FORSK/VAV. Stockholm, Sweden.
- Kirchmann, H. & Pettersson, S. 1995. Human urine – chemical composition and fertilizer efficiency. *Fertilizer Research* **40**:149-154.

Kvarmo, P. 1998. Humanurin som kvävegödselmedel till stråsäd (Human urine as nitrogen fertilizer to cereals) (In Swedish). MSc thesis 1998, no 107, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.

Lentner, C., Lentner, C. & Wink, A. 1981. *Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition Geigy Scientific tables*. Ciba-Geigy, Basel, Switzerland.

Lundström, C. & Lindén, B. 2001. *Kväveeffekter av humanurin, Biofer och Binadan som gödselmedel till höstvetete vårvetete och vårkorn i ekologisk odling*. (Nitrogen effects of human urine and fertilizers containing meat bone meal (Biofer) or chicken manure (Binadan) as fertilizers applied to winter wheat, spring wheat and spring barley in organic farming) (In Swedish). Skara Series B Crops and Soils Report 8, Department of Agricultural Research, Swedish University of Agricultural Sciences. Skara, Sweden.

Marschner, H. 1997. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd edition. Academic Press.

Moe, C. & Izurieta, R. 2004. Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. Pp 295-302.

Morgan, P. 2003. *Experiments using urine and humus derived from ecological toilets as a source of nutrients for growing crops*. Paper presented at 3rd World Water Forum 16-23 March 2003. Available at: <http://aquamor.tripod.com/KYOTO.htm>.

Odlare, M., Pell, M. & Persson, P.-E. 2000. *Kompostanvändning i jordbruket - en internationell utblick* (Compost use in agriculture - an international survey; in Swedish). RVF Utveckling Rapport 00:6, Svenska Renhållningsverksföreningen Service AB. Malmö, Sweden.

Palmquist, H. & Jönsson, H. 2004. Urine, fèces, greywater, greywater and biodegradable solid waste as potential fertilizers. In: *Ecosan – closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Incorporating the 1st IWA Specialist Group Conference on Sustainable Sanitation, 7th-11th April, Lübeck, Germany, pp. 587-594.

Pieper, W. 1987. *Das Scheiss-Buch - Entstehung, Nutzung, Entsorgung menschlicher Fäkalien* (The shit book – production, use, Entsorgung human fèces; in German). Der Grüne Zweig 123, Werner Pieper and the Grüne Kraft. Germany.

Richert Stintzing, A., Rodhe, L. & Åkerhielm, H. 2001. *Human urine as fertilizer – plant nutrients, application technique and environmental effects* (In Swedish, English summary). JTI-Rapport Lantbruk & Industri 278, Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Sweden.

Rodhe L., Richert Stintzing A. & Steineck S., 2004. 'Ammonia emissions after application of human urine to clay soil for barley growth'. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **68**:191-198.

Schönning, C. and Stenström, T-A. 2004. *Guidelines for the Safe Use of Urine and Fèces in Ecological Sanitation Systems*. Report 2004-1. EcoSanRes Programme. Stockholm Environment Institute.

Guidelines on the Use of Urine and Fèces in Crop Production SEPA. 1999. *Stallgödseleins innehåll av växtnäring och spårelement* (Content of plant nutrients and trace elements in farmyard manure; in Swedish) Report 4974, Swedish Environmental Protection Agency. Solna, Sweden.

Simons, J. & Clemens, J. 2004. 'The use of separated human urine as mineral fertilizer'. In: *Ecosan – Closing the loop*. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7th-11th April 2003, Lübeck, Germany. pp 595-600.

Swedish Food Authority. 2004. *Livsmedelsdatabasen* (The food database; in Swedish). Available at: http://www.slv.se/default.asp?FrameLocation=/templates/SLV/SLV_Page____7369.asp.

Sonesson, U. 1996. *The ORWARE Simulation Model – Compost and Transport Submodels*. (Licentiate thesis) Report 215, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.

Sundin, A. 1999. *Humane urine improves the growth of Swiss chard and soil fertility in Ethiopian urban agriculture*. Thesis and Seminar projects No. 112, Department of Soil Science, Swedish University of Agricultural Sciences.

Thorup-Kristensen, K. 2001. 'Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot'. *Acta Horticulturae*. **563**: 201-206.

Trémolières, J., Bonflis, S., Carré, L. & Sautier, C. 1961. Une méthode d'étude de la digestibilité chez l'homme, le fécalogramme. *Nutritio et Dieta; European Review of Nutrition and Dietetics* 3: pp. 281-289.

Udert, K.M., Larsen, T. & Gujer, W. 2003. Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* **37**: 2667-2677.

USDA. 2004. *USDA National nutrient database*. Available at: http://www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/nut_search.pl.

Vinnerås, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. Agraria 353, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.

Vinnerås, B., Björklund, A., & Jönsson, H. 2003a. Disinfection of faecal matter by thermal composting – laboratory scale and pilot scale studies. *Bioresource Technology* **88**(1): 47-54.

Vinnerås, B., Höglund, C., Jönsson, H. & Stenström, T.A. 1999. 'Characterisation of sludge in urine separating sewerage systems'. In: Klöve B., Etniner C., Jenssen P. & Maehlum T. (eds) *Proceedings of the 4th International Conference – Managing the Wastewater Resource Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. Norway. June 7-11. 1999.

Vinnerås, B., Holmqvist, A., Bagge, E., Albiñ, A. & Jönsson, H. 2003b. Potential of disinfection of separated faecal matter by urea and PAA for hygienic nutrient recycling. *Bioresource Technology* **89**(2): 155-161.

Personal Communications

Klutse, Amah. Research Coordinator, CREPA, Burkina Faso. 2003-11-14. amahklutse@yahoo.fr.
Dembele, Sidiki Gabriel. Member of Comité Technique Regional, CREPA. 2003-11-06. sidikigabriel@hotmail.com.



EcoSanRes est un programme international de recherche et de développement parrainé par l'Asdi, (Agence Suédoise de coopération de Développement International). Il implique un grand réseau de partenaires ayant des connaissances et de l'expertise sur divers aspects de l'assainissement écologique allant des questions de gestion et d'hygiène aux questions techniques et de réutilisation. Les partenaires sont des universités, des ONG et des consultants. Ils sont tous impliqués dans des études, des activités de promotion et la mise en œuvre de projets en Asie, en Afrique, et en Amérique Latine.

Le noyau du réseau est l'Institut de l'Environnement de Stockholm (SEI) qui détient un contrat formel avec l'ASDI. EcoSanRes est devenu un organe de travail en réseau bien établi dans le domaine de l'assainissement écologique et collabore également avec d'autres organisations bilatérales et multilatérales telles que l'OMS, l'UNICEF, le PNUD, la GTZ, WASTE, IWA, WSP, etc.

Le programme EcoSanRes comprend trois principales composantes :

- Travail d'Information
- Renforcement des capacités
- Mise en oeuvre

Le travail d'information comprend la promotion, la gestion du réseau et la diffusion à travers des séminaires, des conférences, des groupes de discussion électroniques et des publications.

Le renforcement des capacités se fait à travers des cours de formation en assainissement écologique et de la production d'études et de directives ayant un contenu s'étendant de la conception d'eco-toilette, au traitement des eaux grises, en passant par les aspects architecturaux, la réutilisation des produits issus des latrines en agriculture, les directives sanitaires, et les outils de planification, etc.

La mise en oeuvre met la théorie en pratique à travers des projets pilotes d'assainissement écologique dans les différentes régions du monde. Puisque le facteur le plus important à une mise en œuvre réussie du système ecosan est l'adaptation locale, EcoSanRes offre un cadre logique pour d'éventuels projets pilotes et exige que les projets satisfassent à des critères rigoureux avant l'approbation.

EcoSanRes gère actuellement trois grands projets pilotes en milieu urbain de Chine, d'Afrique du Sud et du Mexique. En outre des préparations se font pour développer des projets semblables en Bolivie et en Inde.

Pour de plus amples informations sur nos organisations partenaires et nos activités de programme veuillez vous rendre au

www.ecosanres.org

