

Collection des Publications EcoSanRes



Rapport 2004-1

**Recommandations pour un usage sans risques de
l'urine et des matières fécales
dans les systèmes d'assainissement écologique**

Caroline Schönning et Thor Axel Stenström



**Recommandations pour un usage sans risques
de l'urine et des matières fécales dans les
systèmes d'assainissement écologique**

Caroline Schönning et Thor Axel Stenström
Institut Suédois pour le contrôle des maladies infectieuses (SMI)

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

Programme EcoSanRes

Stockholm Environment Institute
Lilla Nygatan 1
Box 2142
SE-103 14 Stockholm, Sweden
Tel : +46 8 412 1400
Fax : +46 8 723 0348
Postmaster@sei.se
www.sei.se

Cette publication peut être téléchargée sur
www.ecosanres.org

SEI Communications
Directeur de la communication : Arno Rosemarin
Responsable des publications : Erik Willis
Mise en page : Lisetta Tripodi
Accès au web : 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 93 4

Sommaire

Introduction – Utilisation des excréta	1
Micro-organismes pathogènes dans les excréta	2
Pathogènes dans l'urine.....	3
Risque de transmission de maladies par l'urine.....	5
Pathogènes dans les matières fécales.....	5
Voies de transmission environnementales	8
Barrières pour diminuer/minimiser l'exposition.....	10
Règles et recommandations par rapport aux risques	12
Traitements pour assainir les excréta	13
Facteurs influençant la survie des pathogènes.....	13
Traitement de l'urine.....	15
Stockage.....	15
Autres traitements possibles.....	19
Traitement des fèces.....	19
Stockage.....	19
Traitements thermiques.....	24
Compostage.....	25
Traitements alcalins.....	27
Addition de cendre ou de chaux aux fèces.....	30
Addition d'urée.....	30
Incinération.....	31
Conclusion.....	31
Possibilité d'utiliser un indicateur d'efficacité du traitement.....	32
Recommandations pratiques pour l'utilisation en agriculture	34
Urine.....	34
Fèces.....	34
Autres usages possibles de l'urine	35
Autres usages possibles des matières fécales	36
Aquaculture	36
Nécessité de recherches plus poussées – Lacunes dans la connaissance	37
Nécessité d'adaptation des recommandations aux conditions locales	37
Recommandations finales	39
Toilettes en assainissement écologique - généralités.....	39
Urine – traitement et utilisation.....	39
Fèces – traitement et utilisation.....	40
Aspects pratiques.....	41

Bibliographie

Introduction - Utilisation des excréta

Dans de nombreuses régions du monde on utilise aujourd'hui des eaux usées. Plusieurs facteurs y concourent. La raréfaction de l'eau et l'accroissement continu de la population, dans les zones urbaines en particulier, ont conduit à une surconsommation en eau et en fertilisants. Une augmentation de l'utilisation des excréta sera le résultat de la prise de conscience de leur richesse en nutriments pour les végétaux. Les déjections humaines peuvent aussi contenir des microorganismes pathogènes qui constituent directement ou par leur présence dans les eaux usées une menace pour la santé humaine. Les maladies diarrhéiques et parasitaires tiennent une grande place dans la pathologie planétaire (Global Burden of Disease, GBD), une grande responsabilité incombant à la transmission par l'environnement à partir d'eau contaminée, à partir de récoltes ou à partir d'un contact direct avec des objets contaminés par des matières fécales.

L'utilisation directe des déjections, matières fécales et l'urine, permet d'apporter des éléments nutritifs très utiles aux terres agricoles. En général ces substances ne contiennent pas de produits chimiques industriels propres à empêcher la réutilisation des eaux usées municipales mais elles doivent être traitées afin que les éléments pathogènes d'origine humaine ne dépassent pas un seuil de sécurité. On peut y trouver des éléments provenant du métabolisme humain tel des hormones mais la réutilisation sur les terres agricoles réduit leur impact négatif sur l'eau. Du point de vue de l'hygiène, l'utilisation des eaux usées et des déjections peut réduire les risques d'exposition aux éléments pathogènes si on a recours aux traitements hygiénisants et au respect de barrières contre l'exposition. Par contre les risques peuvent être accrus suite à des pratiques impropres au long de la chaîne de manipulation des déjections et suite à un traitement et à un usage défectueux des eaux usées, ainsi qu'à une exposition diffuse.

Une étude sur le contrôle et la gestion de l'exposition microbienne liée à l'utilisation des eaux usées et des déjections a été publiée par l'OMS dans les années 80 (précisément en 1989). Ces directives sont révisées périodiquement et on en prévoit de nouvelles pour l'année 2005 qui distingueront entre l'utilisation des eaux usées et des excréta. Le présent rapport EcoSanRes met l'accent sur le traitement et la manipulation des matières fécales et de l'urine, compte tenu de l'information disponible sur les risques et en appliquant une stratégie de séparation à la source.

En beaucoup d'endroit du monde, la tradition est de séparer urine et matières fécales. L'ancienne pratique japonaise de collecte des excréments dans les zones urbaines avait recours à cette séparation, l'urine étant considérée comme un fertilisant précieux (Matsui, 1997). En suède, historiquement l'urine était collectée à part. Pour des raisons essentiellement pratiques, on la déversait à l'égout pour prévenir les odeurs et éviter que les latrines ne se remplissent trop vite (Sondén, 1889). Il y a des avantages encore valables à pratiquer cette séparation et on peut y avoir recours dans les systèmes d'assainissement écologique modernes. Parmi ces avantages :

⇒ **moins de volume** - le système de collecte sera moins vite saturé si l'urine est extraite et le volume des matières fécales s'en trouvera réduit. Il est d'ailleurs possible de réduire encore le volume et le poids par la déshydratation et la décomposition.

- ⇒ **moins d'odeur** - il y aura moins d'odeurs si l'on sépare urine et matières fécales de sorte que l'utilisation des toilettes et la manipulation des excréments sera à la fois plus commode et moins rebutante.
- ⇒ **moins de risque de dispersion d'éléments pathogènes** - une substance plus sèche causera moins de risque de fuite et de diffusion d'organismes pathogènes dans les nappes phréatiques et dans l'environnement.
- ⇒ **utilisation plus sûre et plus facile** - les matières fécales seront plus sèches ce qui peut contribuer à la réduction des pathogènes. De plus, le séchage rendra plus faciles divers autres traitements destinés à la réduction de la charge pathogène et il facilitera aussi la manipulation et l'utilisation des fractions ainsi séparées.

Au vu de ces avantages quant à la pratique et à l'hygiène, on en est venu à considérer qu'il faut avoir recours à la séparation des urines dans toutes les installations sanitaires à sec. Il peut être utile aussi d'équiper les installations sanitaires qui utilisent l'eau d'un système de séparation des urines afin d'utiliser l'urine comme fertilisant et de réduire les effets sur l'environnement des nutriments présents dans les effluents des toilettes, ce qu'on appelle l'eutrophisation. Les systèmes de séparation ont ainsi été considérés comme relevant du développement durable et des recherches importantes sont en cours dans différents pays, la Suède ayant été un des premiers.

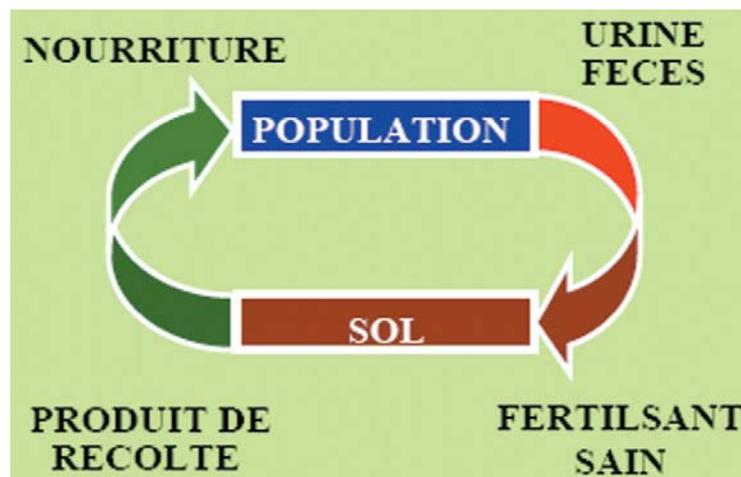


Figure 1. Le concept d'assainissement écologique – par l'obtention de fertilisants sains à partir de l'urine et des excréments, il est possible de boucler le cycle des nutri-

Un aspect essentiel est d'éviter que l'utilisation des excréments ne se traduise par la transmission de maladies et un nombre accru d'infections dans les populations humaines. Les présentes recommandations EcoSanRes pour la manipulation et l'utilisation de l'urine et des fèces ont pour but de minimiser le risque de transmission de maladies infectieuses pouvant se produire par l'urine et/ou les fèces.

Les microorganismes pathogènes des excréments

La présence d'organismes pathogènes dans les excréments humains est le résultat d'infections chez des individus. De telles infections ne se manifestent pas nécessairement par des symptômes cliniques mais elles amènent l'excrétion des organismes en question. Dans le cas des organismes qui affectent l'appareil gastro-intestinal, c'est principalement par les matières fécales qu'ils sont expulsés.

La prévalence des infections reflète le niveau d'hygiène dans une société. Les infections sont toujours l'exception et non la règle chez un individu. Les infections chez un individu peuvent dans de rares cas être chroniques pour les maladies bactériennes et virales. Les individus sont alors dit "porteurs". Des vers parasites, les helminthes, peuvent s'établir de manière durable dans le corps humain et le taux en est important dans les sociétés où les conditions sanitaires sont précaires.

Un individu excrète normalement un grand nombre de microorganismes dans ses matières fécales. Ce nombre varie entre 10^{11} et 10^{13} au gramme. Normalement ces organismes saprophytes ne représentent aucun problème pour la santé. L'urine est normalement stérile dans la vessie mais elle "ramasse" des organismes qui se trouvent dans les parties inférieures du conduit urinaire. Ainsi, un taux de 103 organismes/ml d'urine ne témoigne pas d'une infection. Ces organismes saprophytes sont d'ailleurs généralement inoffensifs.

Si un organisme pathogène infecte un individu, les manifestations cliniques sont déterminées par des facteurs liés à l'organisme en question et par des facteurs liés à l'individu infecté. La plupart des organismes pathogènes significatifs sont expulsés en nombre variable dans les matières fécales et quelques uns le sont dans l'urine. Le risque de transmission d'infections nouvelles à d'autres individus dépend du contact et de l'exposition. Ces derniers dépendent à leur tour de facteurs tels que les quantités excrétées et la dose infectieuse (nombre d'organismes qui doivent être absorbés par voie orale pour qu'il y ait infection), qui varie selon les organismes et même selon les souches. Quelques variétés d'organismes peuvent aussi infecter un individu à travers la peau. Le risque de contact et d'exposition dépend aussi de la capacité de différentes espèces et souches à résister à un univers défavorable à l'extérieur du corps humain et à se maintenir à un stade propre à infecter un nouvel individu en cas d'exposition.

Ces facteurs sont exposés dans le présent texte, qui commence par une évocation sommaire des organismes pathogènes qu'on peut trouver dans les urines et les matières fécales. Etant donné que la fréquence varie en fonction des conditions sanitaires rencontrées dans les différentes régions du monde, la présentation est faite en termes généraux. Cela se justifie aussi par le fait que la fréquence et les risques qui en résultent peuvent varier dans une large mesure depuis la situation normale en passant par l'état endémique pour un organisme jusqu'à la situation à haut risque pendant les épidémies.

PATHOGENES DANS L'URINE

Plusieurs types de bactéries peuvent provoquer des infections de l'appareil urinaire. La transmission par l'environnement n'a ici en principe que peu d'impact. *E. coli* représente la cause la plus fréquente d'infections de l'appareil urinaire et certaines souches peuvent aussi avoir un rapport avec les infections gastro-intestinales.

Les organismes pathogènes connus pour être évacués par l'urine sont *Leptospira interrogans*, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* et *Schistosoma haematobium* (Feachem *et al.*, 1983).

Une série d'autres organismes pathogènes ont été détectés dans l'urine mais on peut considérer que leur présence n'implique pas de risque de transmission de maladies dans l'environnement (Cf. tableau1).

La leptospirose est une infection bactérienne qui provoque des symptômes proches de ceux de la grippe avec un taux de mortalité entre 5 et 10%. Elle est généralement transmise par l'urine provenant d'animaux infectés (Feachem *et al.*, 1983 ; CDC, 2003a) et elle est considérée comme un risque professionnel pour les travailleurs de l'agriculture et de l'élevage dans les pays tropicaux en développement. L'urine humaine n'est pas considérée comme une source importante de transmission car la fréquence est faible (Feachem *et al.* 1983; CDC, 2003a).

S. typhi et *S. paratyphi* ne sont évacuées dans l'urine que pendant les phases des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes lorsque les bactéries sont disséminées dans la circulation sanguine. Ces organismes sont rares de nos jours dans les pays développés. Bien que l'infection soit endémique dans plusieurs pays en développement où on estime le nombre de cas à 12.5 millions par an, la transmission orale par l'urine paraît peut fréquente comparée à la transmission orale par les matières fécales (Feachem *et al.*, 1983 ; CDC, 2003b). Pour ce qui concerne l'urine séparée, le risque de transmission de la *Salmonella* est faible même en cas de stockage bref car les bactéries fécales Gram-négatif sont rapidement inactivées (Cf. tableau 5 ; Höglund, 2001). Les taux d'élimination des *Salmonella spp* sont les mêmes que pour *E. coli* dans l'urine stockée.

La schistosomiase, ou bilharziose, est une des principales infections parasitaires humaines et se produit surtout en Afrique. Une variété de schistosome est principalement expulsée par l'urine alors que les autres variétés sont expulsées par les matières fécales. En cas de schistosomiase urinaire provoquée par *Schistosoma haematobium*, les œufs sont expulsés dans l'urine parfois durant toute la vie de l'hôte. Les œufs éclosent dans l'environnement aquatique et les larves infectent des escargots aquatiques particuliers qui vivent en eau douce. Si les œufs n'atteignent pas l'escargot hôte en quelques jours le cycle infectieux est brisé. Après une série de stades de développement, les larves quittent l'escargot, prêtes à infecter les humains par pénétration cutanée. Si l'urine est stockée pendant plusieurs jours et utilisée sur des terres arables, l'utilisation fait diminuer le risque de transmission de la schistosomiase. Si on utilise de l'urine fraîche, il faut éviter de le faire près des eaux de surface dans les zones endémiques. *S. haematobium* se trouve dans 53 pays du Moyen Orient et de l'Afrique y compris Madagascar et l'île Maurice. Il y a aussi un foyer mal défini de *S. haematobium* en Inde (OMS, 2003).

Tableau 1 : Pathogènes pouvant être transportés par l'urine et importance de l'urine comme voie de transmission

Organismes pathogènes	L'urine comme voie de transmission	Importance
<i>Leptospira interrogans</i>	Généralement par l'urine animal	Probablement faible
<i>Salmonella typhi</i> et <i>Salmonella paratyphi</i>	Probablement inhabituel, expulsé par l'urine dans le cas d'infection systémique	Importance faible comparée à d'autres voies de transmission
<i>Schistosoma haematobium</i> (excrétion des œufs)	Pas directement mais indirectement, les larves infectent les humains par l'eau douce	A prendre en considération dans les zones endémiques où l'eau douce est disponible
Mycobactérie	Inhabituel, habituellement transporté par l'air	faible
Virus : CMV, JCV, BKV, adeno, hépatites et autres	Pas reconnu normalement à part des cas isolés d'hépatite A et des soupçons concernant l'hépatite B. Des informations supplémentaires sont nécessaires	Probablement faible
Microsporidia	Soupçonné mais non démontré	faible
Causant des maladies vénériennes	Non, ne survivent pas hors de l'organisme pendant un temps significatif	–
Infection de l'appareil urinaire	Non, pas de transmission environnementale directe	faible

Les principaux risques liés à l'utilisation des déjections relèvent de la partie fécale et non de l'urine. C'est la raison pour laquelle il est d'une importance capitale d'éviter ou de diminuer la contamination fécale de l'urine. Même si quelques pathogènes peuvent être expulsés par l'urine, des matières fécales mal placées dans le système de toilette à séparation des urines (Schönning *et al.*, 2002), sont la cause des risques les plus significatifs pour la santé (Höglund *et al.*, 2002).

Risques de transmission de maladies par l'urine

Les principaux risques de transmission de maladies par la manipulation et l'utilisation d'urine humaine relèvent de la contamination croisée de l'urine par les matières fécales et non de l'urine elle-même.

PATHOGENES DANS LES MATIERES FECALES

Des infections entériques peuvent être transmises par des espèces pathogènes de bactéries, virus, protozoaires, parasites et helminthes. Pour ce qui est des risques, l'exposition aux matières fécales non traitées est toujours considérée comme dangereuse de par la présence potentielle de pathogènes. Différents types d'organismes responsables d'infections entériques, parasitaires ou autres peuvent se présenter et leur fréquence dans une société donnée est souvent inconnue.

Les services de surveillance considèrent traditionnellement les bactéries comme le groupe principal d'organismes responsables de maladies gastro-intestinales. C'est le cas en partie, dans les pays en développement où le choléra, la typhoïde et la shigellose préoccupent beaucoup et semblent devenir plus fréquentes dans les zones urbaines et péri-urbaines (S. Brian, OMS, *pers. comm.*, 2003). Les virus entériques ont aussi une grande importance et on les considère maintenant comme responsables de la plupart des infections gastro-intestinales dans les régions industrialisées (Svensson, 2000).



Figure 2. La contamination fécale croisée de l'urine constitue le principal risque sanitaire lors des manipulations ultérieures de cette fraction. La toilette doit être adaptée à l'utilisateur et au contexte. Un siège de toilette peut présenter plus de risque si la population est habituée à la position accroupie. Le siège lui-même doit être adapté à l'utilisateur. Dans des écoles, une zone trop large de collecte de l'urine peut être la cause de problèmes de mauvais placement des matières fécales.

Les matières fécales peuvent expulser plus de 120 types différents de virus, les plus communs étant les entérovirus, les rotavirus, les adénovirus entériques et des calicivirus humains (norovirus) (Tauxe & Cohen, 1995). On considère aussi l'hépatite A comme un virus pathogène d'une grande importance dans les cas d'épandages de déchets sur les terres agricoles, le danger étant véhiculé par l'eau et la nourriture, en particulier lorsque les conditions sanitaires sont insuffisantes. L'hépatite E commence à apparaître comme importante.

Parmi les bactéries, apparaissent comme importantes au moins les *Salmonella*, *Campylobacter* et *E. coli* enterohémorragique (EHEC), aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement, lorsqu'on évalue les risques microbiens attachés à divers produits fertilisants tel les matières fécales, les boues d'épuration et le fumier animal. Elles sont importantes aussi comme agents zoonotiques (transmission entre humains et animaux, aussi bien que par les déjections humaines et animales). Dans les zones aux conditions sanitaires insuffisantes, la fièvre typhoïde (*Salmonella typhi*) et le choléra (*Vibrio cholera*) représentent des risques majeurs liés à une hygiène précaire et à la contamination de l'eau. *Shigella* cause aussi communément des diarrhées dans les pays en développement, en particulier quand les conditions hygiéniques et l'assainissement sont insatisfaisants.

Pendant la dernière décennie, on a beaucoup étudié les protozoaires parasites *Cryptosporidium parvum* et *Giardia lamblia/intestinalis* en partie du fait de leur résistance élevée dans l'environnement et de leur faible dose infectieuse, ainsi que pour *Cryptosporidium* du fait de son implication dans plusieurs grandes infections causées par l'eau et pour *Giardia* sa grande prévalence comme pathogène entérique. *Entamoeba histolytica* est également considéré comme cause importante d'infection dans les pays en développement. On discute actuellement de l'importance de certains autres protozoaires tels *Cyclospora* et *Isospora*.

Dans les pays en développement, les infections par les helminthes préoccupent d'avantage. Les œufs en particulier de *l'Ascaris* et du *Taenia* sont très persistants dans l'environnement et ont les considère de ce fait comme des indicateurs du niveau d'hygiène (OMS, 1989). L'ankylostome est très répandu dans les pays tropicaux et sud-tropicaux et affecte près d'un milliard de personnes dans le monde. Dans les pays en développement, ces infections accentuent les effets de la malnutrition et provoquent indirectement la mort de nombreux enfants en augmentant leur vulnérabilité à d'autres infections qui seraient normalement tolérées. Les œufs non infectieux de *l'Ascaris* et de l'ankylostome expulsés dans les selles ont besoin d'une période de latence et de conditions favorables dans le sol ou dans les matières fécales stockées pour éclore et donner des larves infectieuses (CDC, 2003).

Schistosoma haematobium a déjà été mentionné en relation avec l'urine. D'autres types de *Schistsomes* par exemple *S. japonicum* et *S. mansoni* sont évacués par les matières fécales. Le *S.japonicum* se trouve surtout en Extrême Orient et le *S. mansoni* en Afrique et dans certaines parties de l'Amérique du sud et de l'Amérique centrale, surtout le Brésil (OMS, 2003). Plus de 200 millions de personnes sont actuellement atteintes de schistosomiase. Comme pour l'urine, l'utilisation des matières fécales est sans conséquence à condition qu'elles ne soient pas utilisées fraîches et sans traitement à proximité d'une eau dans laquelle l'escargot est présent.

Les pathogènes importants transmissibles par l'environnement et d'origine fécale provoquent surtout des troubles gastro-intestinaux tel que diarrhées, vomissements et crampes d'estomac. Plusieurs peuvent aussi causer des symptômes sur d'autres organes et des séquelles sévères. Le tableau 2 présente une liste des pathogènes importants et les symptômes provoqués.

Tableau 2 : Exemple de pathogènes qui peuvent être expulsés par les matières fécales (pouvant être transmis par l'eau et l'insuffisance d'hygiène) avec les maladies entraînées et des exemples de symptômes possibles. (adapté de CDC , 2003c ; Ottosson, 2003 ; SMI, 2003)

Groupe	Organismes pathogènes	Maladies et symptômes
Bactéries		
	<i>Aeromonas</i> SPP.	Entérite
	<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Campylobacteriose - diarrhée, crampes, douleurs abdominales; fièvres; nausée; arthrite; syndrome de Guillain-Barré
	<i>Escherichia coli</i> (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC)	Entérite
	<i>Pleisiomonas shigelloïdes</i>	Entérite
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Variés ; bactériémie, infection de la peau, infection des oreilles, méningite, pneumonie
	<i>Salmonella typhi/paratyphi</i>	Fièvre typhoïde/paratyphoïde, maux de tête, fièvre, malaise, anorexie, bradycardie, splénomégalie, toux
	<i>Salmonella</i> SPP.	Salmonellose - diarrhée, fièvre, crampes abdominales
	<i>Shigella</i> SPP.	Shigellose - dysenterie (diarrhée sanglante), vomissements, crampes, fièvres, syndrome de Reiter
	<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra - Diarrhée liquide, léthal si grave et non traité
	<i>Yersinia</i> SPP.	Yersiniose – fièvre, douleurs abdominales, diarrhée, douleurs articulaires, éruption

Virus		
	Adénovirus	Variés ; troubles respiratoires, symptômes qui s'ajoutent ici à ceux de type entérique (voir plus bas)
	Entérique adénovirus 40 et 41	Entérite
	Astrovirus	Entérite
	Calicivirus (incl. Norovirus)	Entérite
	Coxsackievirus	Variés ; maladies respiratoires ; entérite ; méningite virale
	Echovirus	Méningite aseptique; encéphalite ; souvent asymptomatique
	Entérovirus types 68-71	Méningite ; encéphalite ; paralysie
	Hépatite A	Hépatites – fièvre, malaise, anorexie, nausée, inconfort abdominal, jaunisse
	Hépatite E	Hépatite
	Poliovirus	Poliomyélite - souvent asymptomatique ; fièvre, nausée, vomissements, maux de tête, paralysie
	Rotavirus	Entérites
Protozoaires Parasites		
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiose - diarrhée liquide, crampes et douleurs abdominales
	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Souvent asymptomatique ; diarrhée, douleurs abdominales
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibiase - souvent asymptomatique, dysenterie, inconfort abdominal, fièvre, refroidissement
	<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiose - diarrhée, crampes abdominales, malaise, perte de poids
Helminthes		
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Généralement pas ou peu de symptômes ; éternement ; toux ; fièvre ; entérite ; éosinophilie pulmonaire
	<i>Taenia solium/saginata</i>	
	<i>Trichuris trichiura</i>	Trouble diffus de l'appareil digestif, émaciation avec peau desséchée et diarrhée
	Ankylostome	Démangeaison ; éruption ; toux ; anémie ; déficience en protéines
	<i>Shistosomiasis spp.</i>	

Voies de transmission environnementale

Les pathogènes importants dans les systèmes d'assainissement sont généralement transmis par la voie oro-fécale, c'est-à-dire qu'ils sont excrétés dans les fèces et infectent une autre personne par ingestion. Les pathogènes peuvent être transmis par les mains, la nourriture, l'eau ou d'autres fluides (figure 3).

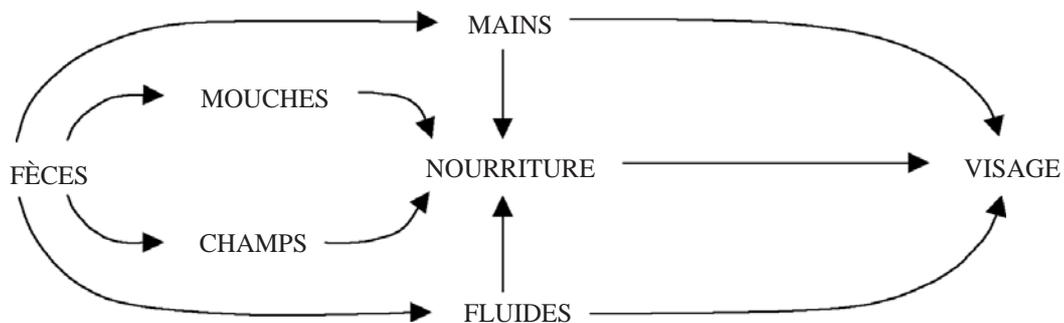


Figure 3. Les voies de transmission des pathogènes entériques résumées dans le "diagramme en F", adapté de Esrey et al. (1998). Plusieurs helminthes, ainsi que la bactérie *Leptospira* peuvent aussi infecter à travers la peau.

Pour les systèmes d'assainissement utilisant l'eau, l'égout est une importante voie potentielle de transmission quand les eaux usées plus ou moins traitées sont rejetées dans un lac ou en rivière, ou utilisées en agriculture. Les toilettes sèches sont moins susceptibles d'affecter les eaux de surface ou souterraines. Cela peut tout de même arriver si elles sont mal construites ou mal localisées.

Pour des latrines creusées, comme les latrines à fosse, des problèmes de transport de pathogènes depuis les excréta vers les eaux souterraines ont été reconnus dans des zones de nappe phréatique superficielle, ou de sols filtrants favorisant le transport microbien. Surélever les toilettes et collecter les excréta au dessus du sol, comme recommandé dans la plupart des systèmes d'assainissement écologique, suffit généralement à éviter ce risque. Des fosses peu profondes sont une solution intermédiaire et limitent la contamination des eaux souterraines. La construction doit prendre en compte le ruissellement en période de pluies intenses, qui peut provoquer un débordement vers les eaux de surfaces proches. Les latrines ne doivent jamais être vidangées dans les fossés de drainage de surface. D'un point de vue hygiénique, une chambre de collecte étanche et au dessus du sol est préférable.



Figure 4. Le matériau issu des latrines à fosse ordinaires ou des latrines sèches ne doit jamais être vidangé et évacué dans les fossés de drainage. L'exposition humaine à la contamination fécale par les fossés destinés aux eaux d'orage est un facteur majeur de transmission de maladies entériques et parasitaires.

Au tableau 3 les voies possibles d'exposition et de transmission à partir de toilettes sèches sont détaillées, avec quelques contre-mesures pour éviter l'exposition. L'exposition par les eaux superficielles ou souterraines contaminées n'y est pas prise en compte. Par contre, les mesures indiquées tendent à supprimer ou minimiser la contamination fécale des cours d'eau et de l'environnement. Il est important d'éliminer les pathogènes aussitôt que possible dans la chaîne de manipulation, les risques étant ainsi minimisés dans les étapes ultérieures.

Contact direct signifie contact intentionnel ou fortuit avec les excréta, c'est-à-dire toucher le matériau et en ingérer accidentellement par les doigts ou ustensiles contaminés. Cela peut se produire avant le traitement, pendant le traitement, à l'occasion de manipu-

lations, ou quand le matériau est utilisé/appliqué au sol. La contamination d'aliments peut survenir directement, par l'application du matériau, mais aussi par des pratiques non hygiéniques en cuisine. Même si l'aliment fertilisé est cuit avant consommation, les surfaces peuvent être contaminées et les pathogènes transmis à d'autres aliments ou fluides.

Tableau 3. Voies potentielles de transmission à partir de toilettes sèches et de l'utilisation des excréta, avec des mesures techniques et comportementales simples pour limiter l'exposition et minimiser les risques.

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

BARRIERES POUR DIMINUER/MINIMISER L'EXPOSITION

Les mesures du tableau 3 sont toutes des barrières techniques ou comportementales contre la transmission de maladies. Un examen systématique d'un système concret permet d'identifier les facteurs potentiels de risque et suggère les contre-mesures à prendre pour éviter l'exposition aux pathogènes. Il s'agit soit de réduire le contact avec le matériau, soit de faire décroître le nombre (concentration) des pathogènes dans le matériau à

manipuler. La réduction du contact s'obtient par des systèmes fermés, le port de protections personnelles, l'usage d'outils appropriés pour les manipulations et en bout de chaîne par l'enfouissement des excréta dans le sol. Les précautions générales à prendre lors des manipulations sont souvent considérées comme des mesures additionnelles et non comme des barrières proprement dites.

Les différentes étapes de traitement des excréta sont les barrières évidentes pour réduire le nombre de pathogènes, en rendant le "produit" plus sain à manipuler et à utiliser comme fertilisant. Dans les recommandations actuelles de l'OMS, le traitement n'est cependant pas considéré comme nécessaire quand une série d'autres barrières sont en place, comprenant par exemple la protection adéquate des travailleurs de l'assainissement et de l'agriculture, le fait de couvrir le déchet de 25 cm de sol et de ne pas l'utiliser sur des cultures de racines (OMS, 1989). Ces premières recommandations sont aujourd'hui en cours de révision et un ensemble de trois nouveaux volumes, traitant de l'usage des eaux usées et des excréta en aquaculture, de l'usage des eaux usées en agriculture et de l'usage des excréta et des eaux grises, doit être publié en 2006.



Figure 5. La défécation à l'air libre est une voie majeure de contamination par les maladies entériques et parasitaires. Les autres individus et l'environnement du logement peuvent être affectés par contact direct et aussi en marchant pieds nus. De plus, les eaux de surface peuvent être lourdement polluées.

Le traitement peut être primaire, c'est-à-dire directement dans la toilette, en relation avec l'acte de défécation, par exemple l'addition de cendres (décrite plus en détail ci-dessous), ou secondaire, au lieu où le matériau est collecté depuis la toilette (ou laissé dans la toilette sans nouvelle addition de fèces) et traité de manière contrôlée pour réduire les pathogènes jusqu'à des limites acceptables. Esrey *et al.* (1998) ont établi que la combinaison d'un stockage sûr et d'une destruction rapide des pathogènes dans les excréta sont nécessaires pour prévenir la contamination de l'environnement. Des exemples de barrières sont indiqués sur la nouvelle version du "diagramme en F" (figure 6).

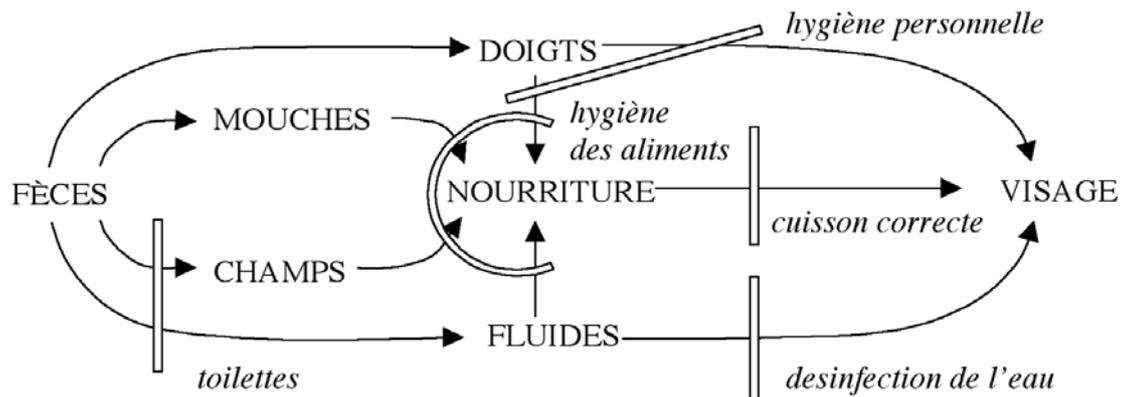


Figure 6. Barrières nécessaires pour prévenir la transmission de maladies/la dissémination des pathogènes, adapté d'Esrey et al. (1998).

L'inactivation des pathogènes se produira aussi sur les terres agricoles après application des excréta comme fertilisants et sur les récoltes qui pourraient avoir été contaminées par une fertilisation pendant la croissance ou par des projections depuis le sol sous des pluies violentes. Cette inactivation avec le temps, due aux conditions environnementales, peut constituer une barrière contre l'exposition par la manipulation et la consommation des récoltes, ainsi que par la circulation d'animaux ou d'humains dans le champ fertilisé. L'inactivation dépend de la température ambiante, de l'humidité et de l'ensoleillement (qui accroît la température, diminue l'humidité et affecte les pathogènes par la lumière ultraviolette) (voir tableau 4). Dans le sol, les microorganismes naturellement présents entrent aussi en compétition avec les pathogènes introduits et contribuent à leur élimination. Cette réduction supplémentaire dans le temps, qui constitue une "fonction barrière agricole" a une importance accrue, spécialement pour les récoltes destinées à être consommées crues. Pour une manipulation sûre des autres récoltes et pour réduire les contaminations croisées pendant la préparation des aliments, ce délai entre la fertilisation et la récolte est important.

Dans la littérature, les maladies liées aux excréta ont été divisées en groupes en fonction de leurs caractéristiques par rapport à la transmission, la résistance, etc. (OMS, 1989 ; Feachem *et al.* 1983). En plus de cette information, les principales mesures de contrôle sont données. Il est à noter que ces mesures générales comprennent souvent une combinaison d'amélioration de l'habitat, d'éducation à la santé, d'approvisionnement en eau, de mise à disposition de toilettes et de traitement des excréta avant utilisation ou décharge. Indépendamment du type de toilette mis à disposition, des interventions portant sur l'ensemble du système d'eau et d'assainissement sont recommandées pour améliorer la situation sanitaire.

Règles et recommandations par rapport aux risques

Les fèces humaines peuvent contenir des pathogènes et, dans les pays en développement, la prévalence des maladies entériques et parasitaires est souvent élevée à cause d'une susceptibilité plus importante et d'une plus forte concentration de pathogènes dans

le matériau fécal. Plusieurs des pathogènes peuvent survivre longtemps dans les excréta et peuvent donc parvenir aux champs et aux récoltes si l'usage du matériau fécal est pratiqué sans traitement approprié. Même s'il faut une série d'événements consécutifs pour provoquer l'infection d'un nouvel hôte, le risque de transmission dans l'environnement et d'augmentation de la prévalence des maladies est évident en cas d'usage de fèces non assainies. Différentes étapes consécutives de traitement des excréta humains sont considérées comme les précautions les plus importantes contre la transmission.

Les règlements et recommandations sont de plus en plus souvent basés sur la notion de risque. Avec l'application de l'estimation quantitative du risque microbien, en partie basée sur des hypothèses, les systèmes d'assainissement peuvent être évalués et comparés pour établir les limites acceptables aux risques. L'évaluation du risque doit donc être largement spécifique au site et dépend d'information concernant, par exemple, l'état sanitaire local de la population et les modèles de comportement. L'augmentation de la prévalence des infections permet de poser des limites aux risques localement acceptables, applicables aux systèmes d'assainissement dans lesquels l'utilisation des excréta est pratiquée. Dans les pays en développement avec des niveaux sanitaires plutôt bas, le but sera de réduire le nombre d'infections avec la mise en place de l'assainissement en soi, en introduisant de nouvelles méthodes, combinées à des interventions sur l'approvisionnement en eau de qualité, le traitement et le stockage sûrs, et l'éducation à l'hygiène et à la santé.

Dans les présentes normes et recommandations pour l'assainissement écologique, l'accent est mis sur le traitement, mais il est aussi question d'autres aspects, techniques, pratiques et comportementaux propres à minimiser le risque de transmission de maladies. Des règles élémentaires considérées comme permettant d'obtenir un niveau de risque acceptable sont aussi données, cependant elles ne définissent pas de limites numériques.

Le traitement comme barrière

Une combinaison de barrières pour diminuer l'exposition des humains aux excréta doit être appliquée pour réduire le risque de transmission de maladies dans les systèmes d'assainissement écologique. Le traitement des excréta est considéré comme une étape nécessaire pour une utilisation ultérieure comme fertilisant sur les sols (agricoles).

Traitements pour assainir les excréta

FACTEURS INFLUENÇANT LA SURVIE DES PATHOGENES

Après l'excrétion, la concentration des organismes pathogènes entériques diminue habituellement avec le temps suite à la mort ou à la perte de pouvoir infectieux d'une partie d'entre eux. Les protozoaires et les virus ne peuvent croître dans l'environnement en dehors d'un hôte et donc leur nombre décroît toujours alors que les bactéries peuvent se multiplier si les conditions environnementales leur sont favorables. Les helminthes peu-

vent avoir besoin d'une période de latence après l'excrétion avant de devenir infectieux. La capacité d'un microorganisme à survivre dans l'environnement se définit comme sa persistance à survivre dans des conditions données. Souvent dans les travaux de recherche, on l'exprime comme l'inactivation totale avec le temps du microorganisme en question dans des conditions environnementales spécifiées. Cependant, pour ce qui concerne les prédictions de risque pour la santé humaine, on utilise des courbes d'inactivation ou les coefficients T_{90} (c'est à dire le temps nécessaire pour l'inactivation des organismes à 90%).

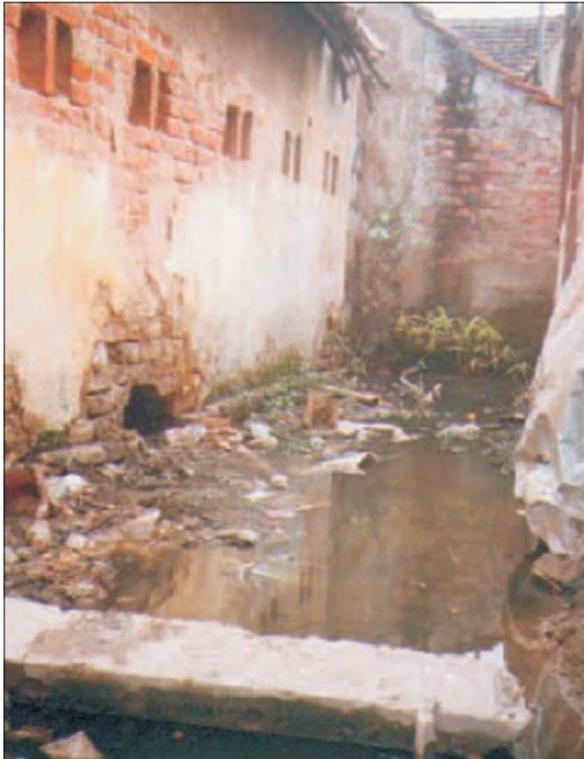


Figure 7. L'environnement dans les établissements humains peut être lourdement affecté par des eaux de surface contaminées qui constituent un risque important pour la transmission de maladies et pour la multiplication des insectes vecteurs. L'introduction de la collecte à sec du matériau fécal et de la collecte séparée de l'urine peut substantiellement réduire les risques. En outre, la prise en charge des eaux grises doit être encouragée.

Le temps et les conditions du milieu sont les facteurs généraux qui agissent sur la survie des microorganismes dans l'environnement. Plusieurs facteurs physico-chimiques et biologiques ont un impact mais cet impact varie selon les microorganismes. Pour l'estimation d'ensemble des risques, le choix des organismes les plus résistants est une approche prudente qui couvre automatiquement les autres espèces plus sensibles. Il y a interaction entre tous les facteurs relevant de l'environnement - et de l'organisme lui-même - de sorte que le potentiel de survie est différent d'un endroit à l'autre. Les facteurs particulièrement importants dans la réduction des microorganismes entériques sont recensés dans le tableau 4. Ces facteurs peuvent être utilisés séparément ou en combinaison avec le facteur temps pour mettre en place des méthodes de traitement qui donneront des fertilisants sains à partir des excréments.

Tableau 4 : Facteurs physico-chimiques et biologiques qui influent sur la survie des microorganismes dans l'environnement

température	La plupart des microorganismes survivent bien à basse température (<5°C) et meurent rapidement à haute température (>40-50°C). C'est le cas dans l'eau, le sol, les boues et composts et sur les cultures. Pour assurer l'inactivation avec des procédés de compostage par exemple des températures de 55-65 °C sont nécessaires si on veut que tous les types de microorganismes pathogènes soient tués (à l'exception des spores bactériennes) en quelques heures (Haug, 1993).
pH	Beaucoup de microorganismes sont adaptés à un pH neutre (autour de 7). Des conditions très acides ou très alcalines auront un effet inactivant. L'addition de chaux aux excréments dans les latrines sèches et les boues d'épuration peut augmenter le pH et rendre les microorganismes inactifs. La vitesse d'inactivation dépend du pH, elle sera beaucoup plus rapide à pH 12 qu'à pH 9.
L'ammoniaque	Dans les environnements naturels, l'ammoniaque (NH ₃) hydrolysé chimiquement ou produit par des bactéries peut être nuisible aux autres organismes. L'addition de produits générateurs d'ammoniaque facilitera aussi l'inactivation des pathogènes dans par exemple les excréments ou les boues (Ghigletti <i>et al.</i> , 1997; Vinneras <i>et al.</i> , 2003).
L'humidité	L'humidité influe sur la survie des organismes dans le sol et dans les matières fécales. L'humidité du sol favorise la survie des microorganismes et le séchage fera décroître le nombre de pathogènes, par exemple dans les latrines.
Radiation solaire et U.V.	L'irradiation par les U.V. réduit le nombre de pathogènes. On l'utilise à la fois pour le traitement de l'eau potable et des eaux usées. Dans les champs, le temps de survie diminue en surface là où la lumière solaire peut affecter les organismes.
Présence d'autres microorganismes	Les microorganismes survivent généralement mieux dans un milieu qui a été stérilisé que dans un environnement qui contient d'autres organismes. Les organismes peuvent interagir par prédation, libération de substances antagonistes ou compétition (voir nutriments ci-dessous).
nutriments	Si les nutriments sont disponibles et les autres conditions favorables, les bactéries peuvent se développer dans l'environnement. Les bactéries entériques adaptées à l'appareil gastro-intestinal ne sont pas toujours en mesure de disputer les nutriments disponibles aux organismes indigènes, ce qui limite leur capacité de reproduction et de survie dans l'environnement.
Autres facteurs	L'activité microbienne dépend de l'oxygène disponible. Dans le sol, la taille des particules et la perméabilité a une influence sur la survie des microbes. Dans le sol de même que dans les égouts ou dans l'eau, différents composés chimiques organiques et inorganiques peuvent affecter la survie des microorganismes.

TRAITEMENT DE L'URINE

Stockage

Le sort réservé aux organismes pathogènes entériques dans le récipient collecteur d'urine est important à cause des risques liés à la manipulation et à l'utilisation de l'urine. La survie dans le temps de différents microorganismes présents dans l'urine dépend des conditions de stockage.

Des études ont été effectuées sur différents microorganismes ajoutés à l'urine et le processus d'inactivation a été suivi dans le temps (Höglund, 2001). Dans l'urine, ce sont surtout la température et un pH élevé (~9) combiné à l'ammoniaque qui ont été reconnus

comme influençant l'inactivation des microorganismes. Des bactéries comme *Salmonella* et *E. coli* (représentatives d'autres bactéries de type Gram-négatif) ont été rapidement inactivées. Des bactéries Gram-positif ont montré les mêmes taux d'inactivation que *Cryptosporidium parvum* et sont éliminées plus lentement que les bactéries Gram-négatif (tableau 5).

Les virus n'ont guère été réduits à basse température (4-5 °C) (tableau 5). Cela s'accorde avec des études menées par Franzén et Scott (1999) qui révèlent une réduction insignifiante du bactériophage 28B *Salmonella typhimurium* (utilisé comme modèle pour la conservation des virus) en 6 semaines d'études au Mexique à des températures comprises entre 14°C et 22°C et un pH autour de 9,5. On n'a jamais trouvé de coliphages dans les échantillons d'urine étudiés, ce qui indique un taux d'inactivation plus élevé que pour le phage *Salmonella*. Sa haute résistance apparaît aussi par comparaison avec le rotavirus (tableau 5), ce qui confirme son potentiel de conservation et sa valeur de modèle pour l'étude de l'inactivation.

Selon Hamdy *et al.*, (1970 ; in Feachem *et al.*, 1983) l'urine a un pouvoir ovicide et les œufs d'*Ascaris* sont tués en quelques heures. Olsson (1995) a toutefois trouvé que la réduction de *l'Ascaris suum* était faible dans l'urine ; à 4°C et 20°C la réduction était de 15-20% sur une période de 21 jours. Des études anciennes ont indiqué l'inactivation de *Schistosoma haematobium* dans l'urine. (Porter, 1938 ; in Feachem *et al.*, 1983)

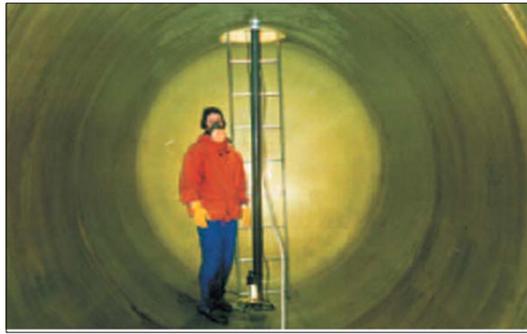
Tableau 5 : Inactivation des microorganismes dans l'urine, exprimée par le coefficient T_{90} (temps nécessaire pour une réduction de 90%), en nombres de jours (Höglund, 2001)

	Bactéries Gram-négatif	Bactéries Gram-positif	C. parvum	Rotavirus	S. typhimurium phage 28B
4°C	1	30	29	172*	1466*
20°C	1	5	5	35	71

*expériences de survie pratiquées à 5°C.

A partir de ces études sur l'inactivation des pathogènes dans l'urine, on a pu proposer des consignes concernant le temps de stockage et la température (tableau 6 ; Jönsson *et al.*, 2000 ; Höglund, 2001). Le choix des températures concerne surtout les conditions des climats tempérés. Ces consignes ont été validées par l'Agence Suédoise pour la Protection de l'Environnement (EPA) mais ne sont pas encore passées dans la réglementation nationale. Il en sera tenu compte dans l'édition révisée des recommandations de l'OMS sur l'utilisation des excréments.

Pour un logement individuel, l'urine peut être utilisée sans stockage pour tout type de culture à condition que les cultures soient destinées à l'autoconsommation et qu'un mois s'écoule entre la fertilisation et la récolte, c'est à dire entre le dernier épandage d'urine et la consommation. Une des raisons de ces consignes moins strictes pour les ménages est que la transmission d'individu à individu dans une famille excède le risque de transmission environnementale par l'urine.



Figures 8 et 9. La collecte et le stockage de l'urine peuvent se faire à différentes échelles. Quand la collecte met en œuvre des récipients de grand volume, ou des citernes de stockage au champ, comme sur ces images, un plus haut niveau de sécurité et des directives plus strictes sont requis, du fait que le matériau provient d'un grand nombre de personnes.

L'utilisation directe ou le stockage sur de courtes périodes conviennent également pour les petites installations domestiques dans les pays en développement. De plus les températures élevées dans beaucoup de pays en développement accroissent le taux d'inactivation et la sécurité. Dans les cas où la fréquence d'infection entérique est élevée et où les moyens techniques ne permettent pas d'éviter la contamination croisée, on recommande un temps de stockage plus important.

Les recommandations générales sur le stockage visent surtout à réduire les risques inhérents à la consommation des récoltes fertilisées par l'urine. Elles réduiront aussi les risques pour les personnes qui manipulent et répandent l'urine.

Vu la complexité du système, les consignes données dans le tableau 6 sont à appliquer dans les systèmes à plus grande échelle (urbains) dans les régions et les pays en développement. Toutefois, le délai d'un mois entre épandage et récolte est encore valable. Les facteurs environnementaux emmèneront l'inactivation des pathogènes dans le sol et sur les récoltes après l'épandage. Pour ce qui est de la protection des personnes qui manipulent voir plus bas les Recommandations Pratiques pour l'utilisation en agriculture. Le stockage améliorera toujours la protection des personnes exposées par la suite sur le terrain.



Figure 10. Dans les systèmes familiaux à petite échelle, l'urine peut être utilisée directement ou après une brève période de stockage, si les cultures sont destinées à la consommation familiale. A l'intérieur d'une famille, le risque de transmission de personne à personne est plus important qu'à travers des récoltes fertilisées par l'urine.

Les recommandations spécifiques pour les systèmes importants peuvent être sujettes à quelques adaptations selon les conditions locales compte tenu de facteurs comportementaux et de la technique choisie. Si le système est à l'évidence mal géré, si des matières fécales sont visibles au sein du réceptacle de l'urine ou si on soupçonne d'autres voies de contamination croisée, il faut prendre des précautions particulières. La contamination fécale dont il a été tenu compte dans les recommandations (tableau 6) correspondait à quelques milligrammes seulement par litres, suite à des mesures effectuées dans un tiers des toilettes à diversion suédoises qui ont été soumises à l'analyse (car pour les deux tiers d'entre elles il n'est apparu aucun signe de contamination) (Schönning *et al.*, 2002). Des consignes moins exigeantes dans les pays en développement comparées à celles de la Suède se justifient aussi par le niveau sanitaire généralement plus élevé dans les pays développés où on interprète prudemment le principe de précaution et où des exigences plus hautes de sécurité sont requises. Si on se base sur les calculs d'évaluation des risques concernant l'urine, on peut conclure de plus qu'un délai de stockage de quelques semaines correspond bien au délai de 1 mois à 20°C (Höglund *et al.*, 2002). La seule différence avec la non exigence de stockage serait donc l'exposition à des concentrations potentiellement plus fortes de pathogènes lorsqu'on épand l'urine et lorsqu'on entre dans le champ ou qu'on y travaille.

Tableau 6 : Recommandations suédoises concernant le temps de stockage de la substance urinaire* basée sur des estimations de contenu pathogène et culture recommandée pour les systèmes importants***. (Adapté de Jönsson *et al.*, 2000 et Höglund, 2001)**

Température de stockage	Temps de stockage	Pathogènes éventuellement présents après le stockage	Cultures recommandées
4°C	Ž 1mois	Virus, protozoaire	Nourriture et fourrage devant subir une transformation
4°C	Ž 6mois	Virus	Nourriture devant subir une transformation et fourrage [°]
20°C	Ž 1mois	Virus	Nourriture devant subir une transformation et fourrage [°]
20°C	Ž 6mois	Probablement aucun pathogène	Toutes cultures ^{°°}

*Substance urinaire : urine ou urine et eau. Lorsqu'elle est diluée on considère que le mélange doit avoir un pH d'au moins 8.8 et une concentration en nitrates de moins de 1 g/litre.

** contenu pathogène : les bactéries Gram-positif et les bactéries à spores ne sont pas incluses ici mais on considère qu'elles ne causent normalement aucune des infections qui nous préoccupent.

***systèmes importants : il faut entendre des systèmes dans lesquels l'urine est utilisée pour fertiliser des récoltes qui seront consommées par des personnes autres que le ménage au sein duquel l'urine a été collectée.

[°] fourrage : ne concerne pas les terres en herbe destinées à la production de fourrage.

^{°°}toutes cultures : pour les récoltes consommées crues, on recommande d'épandre l'urine au moins 1 mois avant la récolte et de l'incorporer dans le sol si les parties comestibles sont au-dessus de la surface.

L'urine doit être stockée dans un récipient fermé hermétiquement. Cela évite que les humains ou les animaux se trouvent en contact avec l'urine et cela évite l'évaporation de l'ammoniaque, diminue le risque d'odeurs et la perte d'azote utilisable par les plantes. Mieux vaut ne pas diluer l'urine. L'urine concentrée représente un environnement plus hostile aux microorganismes, accroît le taux d'élimination des pathogènes et empêche la venue des moustiques. Ainsi moins l'urine sera diluée mieux ce sera.

Autres traitements possibles

Jusqu'à maintenant, le stockage à température ambiante était la seule méthode utilisée pour assainir l'urine. Des méthodes ont été testées afin de concentrer les nutriments dans l'urine mais ne sont pas encore assez efficaces, commercialement disponibles, ou évaluées du point de vue de l'hygiène. Par exemple, l'évaporation de l'azote (ammoniaque) par la chaleur, réduit substantiellement le nombre de microorganismes.

Le séchage de l'urine dans des tranchées découvertes a été testé en Suède et au Mali mais il en résulte des pertes substantielles d'azote, tandis que le phosphore et le potassium sont retenus. L'urine réduite en poudre ne semble pas causer de risques microbiens.

L'augmentation de la température ou du pH de l'urine collectée doit accélérer l'inactivation des pathogènes potentiels. L'élévation des taux d'inactivation à des températures supérieures à 20°C n'a pas été testée et demande à être quantifiée.

Stockage de l'urine

Le stockage à température ambiante représente une option correcte. Le temps de stockage recommandé entre 4 et 20°C va de 1 à 6 mois pour les systèmes importants. Cela dépendant du type de cultures à fertiliser.

Pour un ménage, on peut utiliser l'urine pour toutes cultures sans stockage à condition qu'un mois s'écoule entre la fertilisation et la récolte et que la contamination croisée soit évitée. Il faut éviter de diluer l'urine.

TRAITEMENT DES FECES

Stockage

Sans traitement plus poussé, la mortalité naturelle réduira avec le temps le nombre de pathogènes dans les matières fécales. Le type de microorganismes et les conditions de stockage conditionnent le temps nécessaire à la réduction ou à l'élimination. La température ambiante, le pH, l'humidité... influenceront sur l'inactivation au même titre que la compétition biologique. Etant donné que les conditions varient pendant le stockage, il en est de même des taux d'élimination, ce qui complique la détermination d'un temps de stockage approprié.

En 1983, Feachem *et al.* ont compilé des données publiées dans la littérature concernant la réduction des pathogènes dans différents milieux dont la poudrette et les matières fécales. Les données sont présentées en terme de "moins de" comme le montre le tableau 7, ne tiennent pas comptes des concentrations initiales mais s'en tiennent à l'inactivation totale. En se basant sur d'autres études, Arnbjerg-Nielsen *et al.* (2004, dans la presse), ont évalué les temps décimaux de réduction pour différents pathogènes (c'est à dire les valeurs T_{90} données pour 20°C dans le tableau 7). Cependant, peu sont les études d'inactivation des pathogènes dans les matières fécales humaines et on a pris aussi en compte d'autres matériaux tels que le fumier animal et les boues d'épuration pour déterminer les taux d'inactivation. Basés sur ces valeurs T_{90} , les temps nécessaires à l'inactivation décimale sont les mêmes que ceux présentés par Feachem *et al.* (1983) pour l'inactivation totale. Si les concentrations initiales sont plus élevées et si on applique une dynamique de mortalité de 1^{er} ordre, le temps pour une élimination totale est sensiblement plus long. Cependant la dynamique de 1^{er} ordre n'est pas nécessairement applicable en cas de stockage prolongé. En outre il faut souligner que ces derniers calculs prennent en compte seulement le stockage et non le traitement additionnel.

L'inactivation des pathogènes dans le sol s'ajoute à la prévention concernant les risques liés à l'utilisation des déjections même si le traitement du matériau a pour but de réduire d'une manière significative les pathogènes avant l'utilisation. Les valeurs comparées d'inactivation décimales apparaissent dans le tableau 7, avec de nouveau, des temps de survie plus long publiés dans les études récentes par rapport à ceux estimés par Feachem *et al.* (1983). Toutefois, sur les cultures, l'inactivation est souvent considérée comme plus rapide avec des valeurs T_{90} de l'ordre de quelques jours (Asano *et al.*, 1992 ; Pettersson *et al.*, 1990).



Figure 11. Le matériau fécal séché ou composté est utilisé comme fertilisant en agriculture. Photo H.P.Mang, GTZ

Tableau 7 : Estimation des temps de survie et des taux décimaux de réduction des pathogènes pendant le stockage des matières fécales et dans le sol, donnés en nombre de jours sauf indication contraire (Feachem et al., 1983^a ; Arnbjerg - Nielsen et al., sous presse^b ; Kowal, 1985, ^c dans EPA, 1999). Aucun traitement additionnel n'est utilisé. (norm. = normalement)

Microorganismes	Matières fécales et boues ^a 20-30°C	Matières fécales T ₉₀ ^b ~20°C	Sol ^c 20-30°C	Sol T ₉₀ ^b 20-30°C	Sol ^c max* absolu/ max normal
Bactéries					1 année/ 2 mois
Coliformes fécaux	< 90 norm. <50	15-35 (<i>E.coli</i>)	< 70 norm. < 20	15-70 (<i>E. coli</i>)	
Salmonelles	<60 norm. <30	10-50	< 70 norm. < 20	15-35	
Virus	<100 norm. <20	Rotavirus : 20-100 Hépatite A : 20-50	< 100 norm. < 20	Rotavirus : 5-30 Hépatite A : 10-50	1 année/ 3mois
Protozoaires (Entamoeba)	<30 norm. <15**	<i>Giarda</i> 5-50 <i>Cryptosporidium</i> : 20-120	< 20 norm. < 10**	<i>Giarda</i> 5-20 <i>Cryptosporidium</i> : 30-400	?/ 2 mois
Helminthes (œufs)	Plusieurs mois	50-200 (<i>Ascaris</i>)	Plusieurs mois	15-100 (<i>Ascaris</i>)	7 ans/ 2 ans

*Le maximum absolu pour la survie est possible dans des circonstances inhabituelles telles que température constamment basse ou bonnes conditions de protection.

**Les données manquent pour *Giarda* et *Cryptosporidium*, leurs kystes et oocytes pouvant survivre plus longtemps que le temps donné ici pour les protozoaires.

Si on applique la "zone de sécurité" de la figure 13, il faut au moins une année de stockage à température ambiante, sans traitement additionnel, c'est la consigne donnée pour les helminthes par l'OMS (1989). Strauss et Blumenthal (1990) considèrent qu'une année suffit dans des conditions tropicales (28-30°C), alors qu'à température plus basse (17-20°C) 18 mois sont nécessaires.

Selon une étude sud-africaine, on a trouvé des *Salmonelles* dans des matières fécales après une année (Austin, 2001). On a répandu des cendres de bois sur les matières, amenant le pH à 8.6-9.4, de sorte qu'on a là une combinaison de stockage et de traitement alcalin (tableau 8). Il est possible que des *Salmonelles* se soient développées dans le milieu même. En retournant chaque semaine le tas de matière au lieu de le laisser dans un récipient en plastique, on a réduit considérablement les pathogènes et les indicateurs fécaux, et abaissé le taux d'humidité (Austin, 2001). Il se peut que l'aération accélère l'inactivation et un compostage partiel a pu se produire (température non spécifiée). Toutefois ce retournement manuel expose la personne qui manipule à des matières fécales non assainies.

Une étude danoise a calculé les risques subséquents après usage de matières fécales stockées entre 0 et 12 mois sans traitement additionnel (Arnbjerg-Nielsen *et al.*, sous presse ; Schöning *et al.*, manuscrit). *L'Ascaris* représentait le risque le plus élevé avec 100% de risques d'être infecté pour les personnes vulnérables après ingestion accidentelle de matériau, si une personne dans le ménage avait été infectée pendant la période de col-

lecte. Pour les protozoaires *Giarda* et *Cryptosporidium*, et le rotavirus, qui sont prépondérants dans la population danoise, les risques étaient de 10 à 90% après ingestion accidentelle à l'occasion de la manipulation ou de l'utilisation au jardin de matières fécales fraîches. Des extrapolations indiquaient qu'après 6 mois de stockage le risque tombait à 10%, alors qu'après 12 mois il se situait autour du 1/1000. Le risque pour l'hépatite A ou les infections bactériennes étaient généralement plus bas. On considérait que le stockage s'effectuait à des températures voisines de 20°C et pour calculer la réduction des pathogènes on utilisait des données correspondant à ces températures (tableau 7).



Figure 12. Les boues des grandes stations d'épuration, traitées par compostage mésophile (à température ambiante), sont souvent utilisées comme fertilisant sur des terres agricoles. Le matériau fécal séparé à la source et traité contient souvent moins de pathogènes et n'a pas les mêmes inconvénients liés aux contaminants chimiques.

Dans une étude effectuée au Mexique (Franzén et Skott, 1999), les matières fécales présentaient un niveau d'humidité de 10%, un pH aux environs de 8 et une température de 20-24°C. A ce faible taux d'humidité la réduction de l'indicateur viral de conservation, le bactériophage (*Salmonella typhimurium 28B*) était de 1,5 log10 après six semaines de stockage. Ces analyses ont été faites dans des latrines auxquelles on avait rajouté les phages sans addition subséquente de matières fécales.

Un faible taux d'humidité a été considéré comme ayant un effet bénéfique lors d'une étude réalisée au Vietnam, montrant que l'inactivation la plus rapide des bactériophages avait lieu dans les latrines qui contenaient le moins d'humidité (Carlander et Westrell, 1999). Ces latrines avaient également un pH autour de 9 et des températures plus élevées que dans le cas de l'étude ci-dessus (voir aussi *traitements alcalins*). En six mois on a obtenu l'inactivation totale des *Ascaris*. On n'a établi de relations statistiques avec aucun facteur pris isolément, mais il est apparu que la réduction était principalement due à la conjonction de hautes températures et d'un pH élevé (tableau 8).

Au Salvador il a été effectuée une étude poussée du matériel fécal collecté dans des toilettes à séparation d'urine. Les utilisateurs ajoutent au matériau fécal des produits qui élèvent le pH mais le fait qu'on ait trouvé dans quelques cas des pH proches de 6 indique que dans certaines toilettes le stockage est le seul traitement (Moe et Izurieta, 2003). Des analyses sur la survie ont semblé indiquer que les coliformes fécaux survivaient plus de 1000 jours et *l'Ascaris* environ 600 jours dans des latrines à pH inférieur à 9.



Figure 13. Il est préférable de collecter le matériau fécal dans des chambres jumelles. Une fois pleine, la chambre est scellée et le temps de stockage compte à partir de cette date, tandis qu'on se sert de l'autre chambre. Au Vietnam, où le climat est chaud, la destruction complète des œufs d'*Ascaris* et des virus indicateurs est obtenue en moins de six mois dans ces conditions. Si on n'utilise pas ces chambres jumelles, un stockage secondaire ou d'autres types de traitement doivent être prévus.

Le stockage est particulièrement bénéfique dans les climats secs et chauds où le matériau se dessèche et où le faible taux d'humidité aide à l'inactivation des pathogènes. Si tout le matériau fécal est sec dans la masse, l'élimination des pathogènes est facilitée. Esrey *et al.*, (1998) ont avancé qu'il y avait une destruction rapide des pathogènes à un taux d'humidité inférieur à 25%, et que ce niveau pouvait servir d'objectif dans les systèmes d'assainissement écologiques basés sur la déshydratation (c'est-à-dire le stockage). Un taux d'humidité bas a aussi pour avantage de réduire les odeurs et d'être défavorable aux mouches (Esrey *et al.*, 1998 ; Carlander et Westrell, 1999). Toutefois, les bactéries pathogènes peuvent à nouveau se développer après adjonction d'humidité (eau) ou si les matières sont mélangées à un sol humide comme indiqué par des résultats rapportés par Austin (2001). La dessiccation n'est pas un procédé de compostage et quand on ajoute de l'humidité, les composés organiques facilement métabolisables facilitent la croissance des bactéries, y compris par exemple *E. coli* et *Salmonella*, si un petit nombre s'y trouvent ou y sont introduits.

Les kystes de protozoaires sont sensibles à la dessiccation, et cela affecte aussi leur survie à la surface des plantes (Snowdon *et al.*, 1989 ; Yates et Gerba, 1998). Des niveaux d'humidité normaux n'inactivent pas les œufs d'*Ascaris*, car des niveaux de moins de 5% sont nécessaires (Feachem *et al.*, 1983). Des indications manquent pour l'instant concernant les temps nécessaires correspondants.

Stockage des matières fécales

Le stockage est la forme la plus simple de traitement des fèces. L'inactivation des pathogènes est généralement lente et pour obtenir un fertilisant inoffensif, il faut des durées de stockage allant de plusieurs mois pour éliminer les bactéries jusqu'à plusieurs années pour certains helminthes.

Le simple stockage à température, pH et humidité ambiants n'est donc pas considéré comme une pratique sûre sauf si le stockage dure plusieurs années (en se basant sur l'élimination des helminthes du sol). De plus, il est déconseillé d'apporter simplement de la terre ou de la sciure après la défécation comme matériau de couverture et de conditionnement.

Cependant on peut avoir recours au stockage si celui-ci est associé à d'autres "barrières de sécurité".

Traitements thermiques

La chaleur est un des moyens les plus efficaces pour tuer les pathogènes et c'est le paramètre utilisé pour réaliser l'inactivation dans quelques uns des procédés les plus fréquents, par exemple le traitement des boues d'épuration. La figure 14 (de Feachem *et al.*, 1983) représente l'inactivation des pathogènes en fonction de la température et du temps. On obtient ainsi, en respectant une certaine marge, une "zone de sécurité". Si la correspondance correcte entre température et temps est respectée pour le matériau exposé dans sa totalité, on peut le considérer comme microbiologiquement inoffensif pour la manipulation et l'utilisation. Par exemple avec une température maintenue à plus de 55°C entre un et quelques jours, l'inactivation est efficace. Ces rapports entre le temps et la température pour plusieurs pathogènes ont été largement acceptés même si de "nouveaux" pathogènes ont été identifiés et si certaines publications ont donné des résultats légèrement différents.

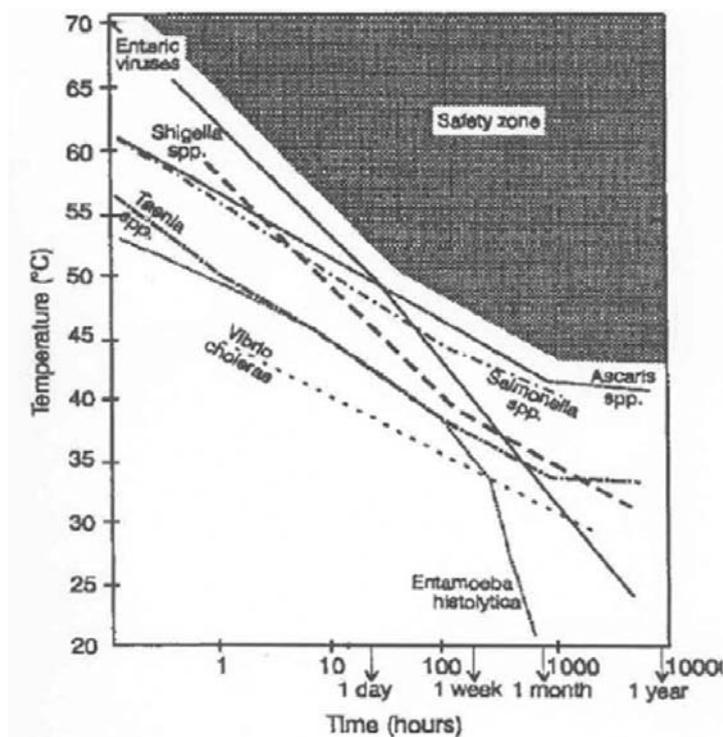


Figure 14 : Le diagramme de la "zone de sécurité", (Feachem *et al.*,

Pour traiter les excréments, la digestion thermophile (50° pendant 14 jours) ou le compostage en tas aérés pendant 1 mois à 55-60°C (+2-4 mois pour une maturation plus poussée) sont les mesures recommandées et généralement acceptées (OMS, 1989). Les recommandations pour le traitement par exemple des boues d'épuration et des déchets organiques des ménages (restes de nourriture), se basent aussi sur de telles températures (Swedish EPA, 2002 ; EC, 2000 ; Danish EPA, 1996). D'après Haug (1993), composter à 55-60°C pendant un jour ou deux doit suffire pour tuer pratiquement tous les pathogènes. Les règles indiquées plus haut indiquent des périodes plus longues afin de s'aménager une marge. Il est courant que des zones froides se constituent dans le matériau digéré ou composté et on a ainsi localement des parties où l'inactivation est moindre et où une nouvelle croissance des bactéries pathogènes est possible. La digestion et le compostage ont aussi pour but de dégrader et de stabiliser les matières organiques. Pour les matières fécales, c'est l'inactivation des pathogènes qui importe le plus. Un traitement par compostage amènera aussi la décomposition du papier hygiénique, ce qui rendra la matière plus convenable et plus esthétique pour un usage agricole.



Figure 15. Le compostage des fèces en mélange avec des déchets ménagers en andains. Photo : J

Les fèces peuvent aussi être chauffées au soleil, par exemple dans un conteneur de collecte ou une chambre de stockage exposée au soleil. Des versions simples de cette idée ont été essayées dans les systèmes d'assainissement écologique, par exemple au Salvador et au Vietnam. Au Salvador, ont été enregistrées des températures maximales plus élevées dans ces toilettes que dans des toilettes ordinaires à double chambre et diversion d'urine (DCDU) (Moe et Izurieta, 2003). La température mesurée au milieu du jour n'était cependant pas suffisante. Une moyenne de 37°C (maximum 44°C) a été atteinte dans les toilettes chauffées au soleil, comparé à la moyenne de 31°C dans les DCDU, ce qui correspond à environ un degré au dessus de la température ambiante. Dans les maisons d'été de Suède, par exemple, des toilettes sèches chauffées à l'électricité sont communes.

Compostage

Pour des matières fécales collectées séparément, le compostage est un processus naturel qui est considéré comme une option valable de traitement. Le compostage à chaud avec dégradation efficace des matières organiques et obtention de températures thermophiles est cependant difficile à réaliser sur une petite échelle. Le taux d'humidité, l'aération et

le rapport C/N doivent être appropriés pour que le processus s'accomplisse, tandis qu'une isolation suffisante et/ou un volume minimum sont nécessaires pour permettre une montée en température. Dans les recommandations de l'OMS, le compostage en andains de 10 à 50 m de long, de 1,5 à 2 m de haut et de 2 à 4 m de large est décrit (OMS, 1989). Pour composter des fèces, l'addition d'un matériau grossier comme des copeaux de bois ou d'écorces est nécessaire pour permettre l'aération. Si de la cendre ou de la chaux ont été ajoutées à la collecte, l'addition conjointe de matériaux riches en énergie, comme des déchets de cuisine et d'un matériau acide est nécessaire pour un bon compost. Sécher ou alcaliniser n'est donc pas considéré comme du compostage. Il est connu que le pH optimal pour la croissance des bactéries et autres organismes décomposeurs est compris entre 6,0 et 8,0. Avec des produits alcalinisants permettant d'atteindre des pH de 9 et plus, le processus de compostage est entravé, même si le but de destruction des pathogènes est atteint. La dégradation plus complète de la matière organique aura lieu après l'épandage sur le sol.

Le compostage à petite échelle d'un mélange de matières fécales et de déchets de nourriture (avec de la paille comme amendement) peut fonctionner efficacement. Dans de petits composteurs bien isolés la température a dépassé 65°C lors d'expériences avec des marges de sécurité suffisantes pour la destruction des pathogènes (Vinneras *et al.*, 2003b). On a également obtenu des températures élevées (50-55°C pendant deux jours) en compostant seulement des matières fécales et paille en laboratoire (Vinneras, 2002).

En pratique, au niveau domestique, la validité du simple compostage de matières fécales provenant de toilettes à séparation d'urine peut être mise en doute. Dans les essais, on n'a relevé qu'une faible élévation de la température, probablement à cause d'une isolation insuffisante et de l'addition de cendres qui freine la dégradation biologique et provoque des pertes de chaleurs (Karlsson et Larsson, 2000 ; Björklund, 2002).

Pendant le compostage, les changements de pH et la haute activité biologique ont une influence sur l'inactivation des pathogènes qui est encore plus importante dans des conditions mésophiles. Dans une étude menée par Holmqvist et Stenström (2001) on a composté des déchets ménagers mélangés à de la paille et on a obtenu une température de 29-30°C et un pH allant de 4.5 à 8.6. Les indicateurs fécaux *E. coli* et *Enterococcus faecalis* ont été rapidement réduits respectivement de 6 et 5 log₁₀ pendant les 3 premiers jours. Le virus indicateur a été réduit de 3 log₁₀ alors que la viabilité des œufs d'*Ascaris* n'a été réduite que de 91% à 70% au bout d'un mois (Holmqvist et Stenström, 2001).

Néanmoins, les processus mésophiles inactivent les pathogènes à des degrés variables en quelques semaines ou quelques mois. Par conséquent, il n'est pas recommandé de s'en tenir à ce niveau de température dans le traitement des matières fécales à moins que le processus mésophile ne soit combiné à d'autres traitements ou d'autres barrières.

Beaucoup de toilettes portent le nom de toilette à compostage alors que leur fonctionnement n'est pas réellement satisfaisant; ce qui a lieu est plutôt du stockage, de la putréfaction anaérobie, dessiccation ou alcalinisation. Si un bon entretien n'est pas assuré, ce qui ne se trouve guère que dans les grandes installations de compostage bien isolées

recevant les matières fécales et les déchets de nourritures d'un grand nombre de personnes, il est aléatoire de compter sur des installations de "compostage" familiales pour réduire les pathogènes. Par conséquent, il ne faut pas considérer le compostage comme le choix adéquat pour un traitement primaire mais plutôt comme une option relevant du traitement secondaire des matières fécales au niveau d'une municipalité.

Compostage des matières fécales

Le compostage thermophile est un processus biologique qui exige de la compétence pour fonctionner correctement. Des apports suffisants et bien composés s'imposent afin d'atteindre des températures suffisamment hautes pour une inactivation effective des pathogènes. Il est préférable de pratiquer le compostage comme traitement secondaire à grande échelle et l'installation doit être isolée et gérée de manière à garantir que le matériau dans sa totalité est soumis à des températures thermophiles (> 50°C). La question du compostage à petite échelle à températures mésophiles demande à être étudiée d'une manière plus approfondie.

Traitements alcalins

Addition de cendre et de chaux

Un pH neutre, c'est à dire autour de 7, est favorable à la plupart des pathogènes. Un pH supérieur ou égal à 9 réduit de nombreux pathogènes avec le temps, mais pour une inactivation rapide un pH de 11-12 est recherché dans les traitements où l'on ajoute de la chaux (par exemple pour le traitement des boues d'épuration) (Boost et Poon, 1998). L'addition de cendres et de chaux à l'excrément, pratiquée depuis longtemps, présente

- ② plusieurs avantages :
- ② elle diminue les odeurs ;
elle recouvre les matières ce qui réduit le risque d'invasion par les mouches et améliore l'esthétique ;
- ② elle diminue le degré d'humidité ;
elle favorise la destruction des pathogènes par élévation du pH.

Une étude sur des latrines à séparation d'urine au Vietnam, a indiqué qu'il est possible d'arriver à l'élimination totale des œufs d'*Ascaris* et des virus indicateurs (réduction de 8 log10) en 6 mois si l'on ajoute une à deux tasses de cendres après chaque visite (à chaque défécation). La température était comprise entre 31 et 37°C (le maximum atteint a été de 40°C), le pH du matériel fécal était de 8.5-10.3 et le degré d'humidité de 24-55%. On a analysé l'inactivation comme résultant de facteurs combinés, mais on a démontré que le pH était statistiquement important en tant que facteur isolé pour l'inactivation du bactériophage (Carlander & Westrell, 1999 ; Chien *et al.* 2001).

Dans une étude chinoise menée par Wang *et al.* (1999), on a mélangé de la cendre de plantes aux matières fécales dans une proportion de 1/3 et on a obtenu un pH de 9 à 10.

Après 6 mois, on a constaté une réduction des phages et des coliformes fécaux de plus de 7 log₁₀ et une réduction de 99% des œufs d'*Ascaris* malgré des températures basses (entre -10 et 10°C), qui ont entraîné un gel partiel du matériau. L'amendement par de la cendre de charbon et de la terre ont amené une réduction respectivement moindre et insuffisante. La cendre de charbon a donné un pH initial de 8.

Selon Lan *et al.* (2001) un pH supérieur à 8 a amené l'inactivation des *Ascaris* en 120 jours (pas de détails donnés concernant les additifs).

Un grand nombre de toilettes (des toilettes à séparation de l'urine et double chambre et des toilettes à simple chambre et chauffage solaire) dans 7 communautés rurales au Salvador ont été évaluées sur les propriétés physiques et microbiologiques des matières fécales collectées (Moe & Izurieta, 2003). Les ménages ajoutaient de la chaux (pH 10.5), de la cendre (pH 9.4) et une terre spéciale mêlée de chaux (pH 8.8), ce qui aboutissait à des pH différents. Par des analyses de régression multiple, on a démontré que le pH était le facteur isolé le plus important pour l'inactivation des indicateurs bactériens et des coliphages, tandis que la température était le principal facteur d'élimination des *Ascaris*. Un pH de 9 à 11 a donné une inactivation plus rapide des coliformes fécaux et des *Ascaris* qu'un pH inférieur à 9. Un résultat surprenant fut que même à ces niveaux élevés de pH, on retrouva des coliformes fécaux après 500 jours, une partie d'entre eux survivant plus de 1000 jours dans des latrines aux pH supérieurs à 11. Pour les *Ascaris*, la durée de survie était d'environ 450 jours et 700 jours respectivement pour des pH supérieurs à 11 et des pH compris entre 9 et 11 (tableau 8). On a mesuré aussi la présence de *Trichuris*, d'ankylostome, de *clostridium* et de coliphages et à l'exception de l'ankylostome, on les a retrouvés dans certaines latrines après un temps de stockage moyen proche d'une année (306 jours).

Les conclusions des études ci-dessus sont donc quelques peu contradictoires. L'effet de la combinaison d'un niveau minimum de pH et du temps peut être affecté par des facteurs locaux et par les caractéristiques de l'installation. Dans l'étude de Moe et Izurieta (2003), la plupart des toilettes (n=118) était des toilettes à séparation de l'urine sans chauffage solaire et 38 d'entre elles étaient chauffées au soleil. L'étude révèle la viabilité des *Ascaris* dans 40% des toilettes sans chauffage solaire tandis que les œufs d'*Ascaris* n'ont survécu dans aucune des 38 toilettes à chauffage solaire (0%). Il est cependant généralement admis que la mortalité des pathogènes est accrue à des pH de plus de 8. La quantité et la qualité de la cendre ajoutée peuvent varier et d'autres études sur les quantités appropriées sont sans doute nécessaires mais en règle générale il faut ajouter au moins une à 2 tasses (approximativement 200-500 ml) après chaque défécation (suffisamment de cendre/chaux pour couvrir les matières). L'alcalinité et le pH final de différents type de cendres sont variables, ce qui perturbe la prédiction d'inactivation des pathogènes basée seulement sur les quantités. En Chine, on a mis en place des distributeurs automatiques de cendres qui s'utilisent de la même manière qu'une chasse d'eau. Si d'abondantes diarrhées liquides sont choses courantes, ces quantités ne suffiront pas à obtenir une siccité suffisante dans la toilette, d'autres additifs tel que la tourbe, la terre, ou d'autres matériaux absorbants peuvent alors s'avérer nécessaires en plus de la cendre ou de la chaux.

Tableau 8 : Condensé des résultats des études sur le traitement des matières fécales par des additifs alcalinisants

Lieu des études	Type de toilette	Additif	pH, température, humidité	Découvertes les plus importantes – inactivation des pathogènes et des indicateurs	références
Vietnam (pendant la saison chaude et sèche)	12 latrines, 2 de chaque type. Toutes avec séparation de l'urine, la plupart à double chambre ou double conteneur	Cendre de bois et de feuilles, 200-700 ml à chaque visite	pH : 8.5-10.3 Temp. : 31.1-37.2°C Humidité : 24-55% (valeur moyenne pour chaque latrine)	Essais d'élimination contrôlée par des tests d'efficacité : T ₉₀ pour le phage 28B <i>Salmonella typhimurium</i> entre 2.4 et 21 jours. pH facteur d'inactivation le plus important. Viabilité des <i>Ascaris</i> : 0-5% après 9 semaines (excepté dans 2 latrines). Le pH combiné à la température affecte l'inactivation	Carlander & Westrell, 1999
Afrique du Sud (de climat chaud à climat froid)	Différentes toilettes à séparation de l'urine	Copeaux de bois	pH de 8.6-9.4 Humidité : 4-40%	Organismes présents dans les matières : Après 10 mois : tous les indicateurs présents en grand nombre (10^2 - 10^6 /g). <i>Salmonella</i> présente. Après 12 mois supplémentaires streptocoques fécaux $\sim 10^4$ /g, Clostridium et coliphages présents, <i>Salmonella</i> absente	Austin, 2001
Afrique du Sud	2 toilettes à séparation	Copeaux de bois et débris	pH de 8.4 à 8.6 Humidité : 4-9%	Organismes présents dans les matières : Après 2 mois : indicateurs présents à part les coliphages ($\sim 10^2$ /g) <i>Salmonella</i> absente	Austin, 2001
Salvador	118 latrines à séparation à double chambre 38 latrines à simple chambre et à chauffage solaire	Chaux, cendre, mélange de terre et de chaux	pH : 6.2-13.0	Organismes présents dans les matières : coliformes fécaux inactivés après 500 jours. pH facteur le plus important <i>Ascaris</i> inactivé après 450 jours (pH>11), après 700 jours (pH 9-11). Température facteur le plus important	Moe et Izurieta, 2003
Chine	21 latrines	Cendre de plantes mélangée à des matières fécales en proportion de 1/3	pH : 9-10 Temp. : -10 à 10°C	Test d'efficacité et organismes présents dans les matières Après 3 mois : réduction du phage 28B <i>Salmonella typhimurium</i> et coliformes fécaux > 7 log ₁₀ . viabilité des <i>Ascaris</i> : 1%	Wang <i>et al.</i> , 1999
Chine		Aucune information détaillée	pH > 8	Test d'efficacité Inactivation des <i>Ascaris</i> en 120 jours	Lan <i>et al.</i> , 2001

*D'autres additifs, cendres de charbon, sciures et loess ont été également testés avec pour résultat un pH plus faible et une inactivation moins importante.

L'addition de produits élévateurs de pH présente plusieurs avantages et a le pouvoir d'inactiver les pathogènes. Les conditions permettant d'éliminer entièrement les pathogènes peuvent varier selon les conditions locales. A grande échelle, le traitement secondaire des matières collectées peut fonctionner comme une barrière supplémentaire, avec comme résultat un niveau de sécurité plus élevé, quand les matières sont utilisées comme fertilisants. Les additifs et le mélange avec des matériaux riches en énergie peuvent influencer sur le compostage secondaire et l'intérêt d'un matériau acide demande à être vérifié. D'après la pratique chinoise, il n'est pas recommandé d'ajouter de la cendre de bois comme absorbant si les matières fécales doivent être compostées, car cela amènerait des pertes plus importantes en azote. L'incinération après un traitement alcalin peut être aussi difficile vu le faible contenu énergétique des additifs (voir plus bas). Ces aspects demandent des études plus poussées.

Après traitement alcalin, le fertilisant obtenu aura un pH élevé (>8). Cela n'est pas gênant du point de vue de l'hygiène et peut être bénéfique à beaucoup de sols mais peut affecter les productions dans les sols alcalins.

Addition de cendre ou de chaux aux fèces

L'addition de cendres ou de chaux dans le traitement primaire des matières fécales est recommandée car cela facilite l'inactivation des pathogènes et diminue le risque de transmission de maladies pendant la manipulation et la réutilisation des matières. Cela réduit aussi le risque d'odeur et la présence de mouches dans les toilettes. Les additifs peuvent avoir une influence sur le choix des options de traitement secondaire. Des études restent à mener pour déterminer les quantités et qualités des additifs nécessaires pour une réduction des pathogènes suffisante et pour déterminer leur influence sur le traitement secondaire.

Addition d'urée

L'urée est un additif élévateur de pH auquel on a recours pour le traitement à grande échelle des matières fécales au niveau municipal. L'urée élève aussi la valeur du fertilisant et inactive les pathogènes en combinant élévation du pH et haut niveau de concentration en ammoniacque.

En ajoutant 3% d'azote-urée aux matières fécales, on obtient un pH de 9,3 qui à 20°C correspond à 8000 mg/l d'ammoniacque libre. Dans ces conditions, on n'a plus détecté après 5 jours ni *E. coli*, ni *Salmonella*, les entérocoques ont été réduits de 2 log₁₀ et la viabilité des œufs d'*Ascaris* était de 90% (Vinneras *et al.*, 2003). Après 50 jours, plus aucun pathogène viable ni indicateur n'a été détecté à part des formes sporulées de *clostridium*. Etant donné que l'ammoniacque se maintient dans les matières si celles-ci sont correctement stockées, le risque de voir les bactéries pathogènes réapparaître est bien amoindri.

L'ammoniacque généré à des pH élevés peut agir comme inactivant des virus (Pesaro *et al.*, 1995), et s'est aussi révélé comme affectant les oocytes de *Cryptosporidium* (Jenkins *et al.*, 1998). La viabilité des œufs d'*Ascaris* a été réduite dans des boues d'épuration traitées à l'ammoniacque (Ghigletti *et al.*, 1997).

Traitement chimique des matières fécales

Des produits chimiques peuvent être ajoutés aux matières fécales pour éliminer les pathogènes. Ce type de traitement représente surtout une option pour les systèmes secondaires à grande échelle et il est préférable que les produits chimiques soient manipulés par du personnel formé.

Incinération

L'incinération des matières fécales minimise le risque de transmission de maladies liées à l'utilisation finale des cendres puisqu'il n'y aura plus de pathogènes. Aucun système utilisant l'incinération n'a été pour l'instant mis en place d'une manière planifiée. La manipulation primaire impliquera encore des risques sur le plan de l'hygiène, mais des systèmes à incinération en communication directe avec les toilettes peuvent se mettre en place dans l'avenir. Comme autre possibilité, de hauts niveaux de températures auront le même effet bénéfique du point de vue microbien. La cendre est un bon fertilisant contenant du phosphore et de la potasse, mais l'azote sera perdu.

Incinération des matières fécales

L'incinération des matières fécales produira un fertilisant exempt de pathogènes et peut représenter un atout dans le traitement secondaire à petite comme à grande échelle. Les systèmes utilisant l'incinération n'ont pas encore vraiment été développés et évalués.

Conclusion

Toute une gamme de moyens de traitement est disponible pour les matières fécales. L'incinération est la méthode la plus sûre qui élimine tous les pathogènes mais elle n'est pas utilisée en pratique. L'azote sera perdu mais le phosphore et le potassium seront retenus dans les cendres. D'autres méthodes de réduction des pathogènes font appel à l'élévation du pH et de la température et à la dessiccation ou simplement au temps (conditions ambiantes). Les études concrètes sur l'évaluation et sur les méthodes de suivi de ces procédés isolés ou combinés sont actuellement en nombre limité.

Toutes les méthodes de traitement actuellement recommandées à l'exception du stockage sont basées soit sur la température soit sur le pH (et pour l'urée, en combinaison avec l'ammoniaque). D'autres facteurs influencent aussi la survie microbienne mais il est moins facile de les contrôler ou de les mesurer. La compétition biologique avec les bactéries naturellement présentes dans le sol sera effective après l'épandage. Cependant, cela n'est pas recommandé comme traitement primaire à cause des difficultés de reproductibilité. Nos sens ne préjugent pas du niveau de sécurité. Le fait qu'un matériau ressemble à de l'humus et répande une bonne odeur n'est pas un gage de son innocuité comme produit fertilisant. Les recommandations doivent par conséquent s'appuyer sur des conditions et des paramètres mesurables, dont on sait en théorie et en pratique quels résultats on peut en attendre.



Les options pratiques dépendent de l'échelle, par exemple celle du foyer ou celle de la municipalité. Pour celle-ci, des options plus techniques sont disponibles. Selon l'OMS (1989), le recours aux traitements à un niveau individuel a entraîné des difficultés liées à des habitudes et pratiques parfois en vigueur depuis longtemps. L'échelle influence aussi la manière dont sont combinées traitement primaire, secondaire et barrières. Les systèmes de manipulation demandent à être développés et adaptés aux différents traitements.

Figure 16. Toilette à séparation en intérieur, avec un plateau à la turque, en Chine

LA POSSIBILITÉ D'UN INDICATEUR D'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT

Une mesure analytique standard, c'est-à-dire un organisme indicateur, pour contrôler la "production" d'un fertilisant sain serait une solution idéale, mais on estime que ce n'est pas une option réaliste à cause de différentes contraintes. On ne peut donc faire l'économie de recommandations détaillées sur la manière de gérer en toute sécurité un système d'assainissement incluant l'utilisation de l'urine et des matières fécales. Des candidats valables existent pourtant, ils représentent les organismes les plus résistants dans les groupes des bactéries, virus, protozoaires parasites et helminthes. Ils peuvent servir comme indicateurs de conservation des organismes, pour la validation des options de traitement lors de tests d'efficacité. Les entérocoques, des bactériophages choisis, les oocytes de *Cryptosporidium* et les œufs d'*Ascaris* peuvent remplir cette fonction d'organisme indicateur.

Pour les fèces (ou les excréta, c'est-à-dire urine et fèces mélangées), les normes Engelberg (établies par l'OMS, 1989) pour les œufs de nématodes et les coliformes fécaux ont retenu l'attention dans un premier temps, en dépit du fait qu'elles n'ont pas été proposées comme standard pour la surveillance de la qualité mais plutôt comme des objectifs de conception pour les systèmes de traitement. Les problèmes avec le contrôle de la qualité sont le coût, le manque de laboratoires locaux compétents et le manque de méthodes de routine pour les indicateurs ou pathogènes spécifiques pouvant représenter des groupes variés de pathogènes. Les coliformes (fécaux) thermo tolérants sont toujours largement utilisés bien que leur aptitude à représenter les pathogènes importants ait été mise en doute.

Dans l'urine, l'indicateur fécal communément utilisé *E. coli* est inapproprié, en raison de son inactivation rapide, qui ne reflète pas l'élimination des différents pathogènes. Les entérocoques (Streptocoques fécaux) d'autre part ont été signalés comme pouvant croître dans les tuyaux de collecte de l'urine et donc donner des faux positifs dans les mesures de contamination fécale. Par contre, du fait de leur élimination lente, ils peuvent servir à la mesure de l'efficacité du stockage. Aucun de ces deux indicateurs n'est cependant convenable pour la détermination du degré de contamination fécale et des risques associés. La recherche de pathogènes spécifiques dans l'urine exige du temps et de l'argent. C'est pourquoi on est amené à poser par hypothèse une certaine contamination fécale pour la prescription des temps de stockage et des délais subséquents entre application et récolte.

Des résultats d'expériences de compostage mésophile (Holmqvist et Stenström, 2001) ont montré que les indicateurs *E. coli* et entérocoques n'étaient pas utilisables dans ce type de traitement, leur inactivation étant beaucoup plus rapide que celle des virus et des œufs d'*Ascaris*. Même si de nombreuses réglementations sur les boues d'épuration et les déchets de nourriture sont basées sur *E. coli* et *Salmonella* comme indicateurs de qualité, un pilotage par les paramètres du procès (c'est-à-dire la température) est plus pertinent, et il est considéré comme le principal moyen de contrôle. Si on inclut ces deux indicateurs dans la procédure de pilotage, on doit tenir compte de leur capacité de recroître pendant les manipulations ultérieures des matériaux.



Figure 17. Une toilette à séparation d'urine et surélevée au Vietnam

Recommandations pratiques pour l'utilisation en agriculture

URINE

Les principales recommandations pour l'urine sont les suivantes :

- 1) l'utilisation immédiate après collecte ou un court temps de stockage n'est acceptable qu'au niveau du ménage
- 2) pour les systèmes plus importants, il faut stocker (suivre les consignes du tableau 6, pour la durée et les conditions de stockage)
- 3) respecter un délai d'au moins 1 mois entre fertilisation et récolte
- 4) des recommandations supplémentaires plus strictes peuvent s'appliquer au niveau local si l'on soupçonne de fréquentes contaminations fécales croisées. Les recommandations concernant le temps de stockage sont directement liées à la question de l'utilisation agricole et du choix des cultures (tableau 6). Parmi les pratiques additionnelles destinées à minimiser les risques on peut citer les suivantes :
 - ② en répandant l'urine, prendre les précautions liées aux managements de matières potentiellement infectieuses. Parmi ces précautions, il peut y avoir le port de gant et un lavage sérieux des mains.
 - ② l'urine doit être utilisée avec des techniques de fertilisation permettant son application à ras du sol afin d'éviter la formation d'aérosol.
 - ② l'urine doit être incorporée au sol. En pratique cela peut être fait mécaniquement ou en arrosant ensuite avec de l'eau.

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

FECES

Les pratiques d'utilisation agricole (et les recommandations) dépendent du traitement qui a précédé. Même si un traitement destiné à éliminer le risque de transmission pathogène est mis en œuvre, dont l'efficacité a été prouvée en laboratoire et/ou par des expériences sur le terrain, il peut y avoir des dysfonctionnements dont le résultat sera un produit fertilisant non complètement assaini. C'est pourquoi, il faut mettre en œuvre des mesures additionnelles afin de réduire plus encore le risque de maladies par transmission. Parmi ces mesures :

- le matériel utilisé pour par exemple le transport de matières fécales non assainies ne doit pas être utilisé pour le produit traité (le produit assaini donc).
- en répandant les matières fécales sur le sol, prendre les précautions liées au maniement de matières potentiellement infectieuses ; ces précautions doivent inclure la protection et l'hygiène personnelle, bien entendu le lavage des mains.
- les matières doivent être enfouies dès que possible dans le sol et non laissées en surface.
- ne pas utiliser de matières fécales mal assainies sur les légumes, fruits et racines consommées crues, à l'exception des arbres fruitiers.

Les matières incinérées seront hygiéniquement saines ; l'utilisation des cendres qui en résulteront n'entre pas dans le cadre de ce résumé.

Enfouir les excréments dans le sol limitera une exposition ultérieure des humains ou des animaux sauf pour quelques helminthes du sol, et cela limitera aussi le risque de lessivage vers les eaux environnantes. Un délai entre fertilisation et récolte comme indiqué ci-dessus pour l'urine (tableau 6) est recommandé également pour les matières fécales. Cela permettra de réduire encore les pathogènes grâce aux facteurs ambiants tel que l'activité microbienne, les U.V. et la dessiccation, dressant ainsi une autre barrière contre la transmission de maladies. Ce délai doit être d'au moins 1 mois.



Figure 18. Plateaux à la turque à séparation d'urine

Autres usages possibles de l'urine

La séparation de l'urine est en général recommandée pour des raisons pratiques, même si l'urine et/ou les matières fécales ne sont pas utilisées. Utiliser l'urine, concentrée ou diluée dans l'eau, est le meilleur moyen de valoriser les nutriments utiles aux plantes. Si on n'est pas favorable à cela pour des raisons pratiques ou du fait de conceptions culturelles, il existe d'autres options; l'addition d'urine à un compost qui consiste en déchets de nourriture et/ou matières fécales a généralement un effet bénéfique sur le processus de compostage. Une étude faite en Thaïlande a démontré que l'urine facilitait le processus (avec seulement des déchets de nourriture) (Pinsem et Vinneras, 2003). La plus grande partie de l'azote sera perdu mais le phosphore et le potassium demeureront. La qualité hygiénique du compost ne sera pas dégradée par l'addition d'urine si le compost contient des matières fécales. L'élévation de la température due au changement du rapport C/N facilitera la destruction des pathogènes.

Cultiver les plantes en lien direct avec les toilettes est une meilleure formule que celle qui consiste à arroser le sol avec l'urine. On a construit ce genre de toilettes par exemple en Inde, avec infiltration à faible profondeur de l'urine combinée à l'eau utilisée pour le nettoyage anal (Calvert, 1999). Dans les systèmes à infiltration superficielle et plantés, l'urine peut aussi être combinée avec les eaux grises.

Autres usages possibles des matières fécales

L'utilisation des matières fécales permet de valoriser les nutriments supplémentaires qui ne sont pas présents dans l'urine. Elles représentent également un amendement de sol. L'incinération des matières fécales produit une cendre qu'on peut utiliser comme fertilisant, ce qui dans certains cas peut rendre la chose plus acceptable.

La digestion anaérobie est une autre option si l'usage direct n'est pas possible. La digestion anaérobie demande un matériau humide et peut parfois être adéquate quand on utilise la chasse d'eau, système qu'on n'a pas évoqué dans les considérations ci-dessus. Les matières provenant de toilettes sèches peuvent aussi être mélangées à du fumier animal dans des digesteurs à biogaz, le biogaz étant utilisé comme source d'énergie et le mélange résiduel matière fécale/fumier animal étant répandu sur les terres agricoles. Ce procédé est très utilisé en Inde et en Chine. Les températures obtenues se situent probablement plutôt dans la fourchette mésophile et les évaluations d'inactivation des pathogènes font largement défaut.

Planter un arbre dans une fosse peu profonde contenant des matières fécales permet d'utiliser une partie des nutriments. C'est ce qui a été pratiqué par exemple aux Zimbabwe (Arbor loo) (Morgan, 1998). On peut aussi transporter des matières dans un trou creusé spécialement dans ce but, ce qui, il est vrai, augmente les risques liés à la manipulation. Quand il n'y a pas de risques d'infiltration dans les nappes phréatiques ou de débordements et si les matières sont correctement maniées et couvertes d'autres matériaux, il n'y a pas besoin de stocker avant ce type d'usage.

Si l'utilisation n'est pas possible, il est nécessaire de se débarrasser des matières en toute sécurité. Ne jamais les laisser à découvert sur le sol car humains et animaux seraient directement exposés. Il est important que soit mis en place des systèmes sûrs avec une exposition minimale de résidents et autres personnes, aussi bien au niveau domestique qu'au niveau municipal. Au niveau municipal, cela peut inclure le transport vers une station d'épuration s'il y en a une dans la localité.

Aquaculture

Les recommandations actuelles d'EcoSanRes n'ont pas considéré spécifiquement l'utilisation des excréta en aquaculture. Le concept d'assainissement écologique est basé essentiellement sur le recyclage des nutriments dans l'environnement terrestre. En aquaculture, les options de traitement doivent être adaptées, sauf peut-être pour le stockage. D'après l'OMS, quelques semaines de stockage suffisent à inactiver les parasites concernés, et pour parvenir à la norme de qualité exprimée par les coliformes fécaux, la digestion ou le compostage sont recommandés (OMS, 1989). Cela dit, l'exposition est considérée comme difficile à contrôler, particulièrement si les poissons et coquillages cultivés dans les bassins doivent être consommés crus (OMS, 1989) et si les bassins sont utilisés pour la baignade. Dans les zones où l'on manque de ressources en eau de qualité, il peut arriver que les bassins servent à d'autres activités. Les travailleurs des bassins d'aquaculture sont un autre groupe à considérer, les équipements de protection néces-

saires peuvent être chers et indisponibles. L'utilisation ou l'élimination contrôlée des matières fécales dans les milieux aquatiques est pour l'instant non recommandée. Les nouvelles recommandations de l'OMS sur l'utilisation sûre des eaux usées et des excréta en aquaculture devraient sortir en 2005.

Nécessité de recherches plus poussées – Lacunes dans la connaissance

Selon les connaissances actuelles, des températures thermophiles sont recommandées pour le traitement de différents déchets organiques. On peut les obtenir par exemple par l'incinération ou le compostage, pourvu que les bonnes conditions soient réunies. Dans beaucoup de systèmes existants, on atteint seulement des températures mésophiles, et ces procédés demandent une évaluation plus poussée.

L'utilisation de cendre ou de chaux présente plusieurs avantages pour l'utilisateur de la toilette et pour minimiser les risques liés à la manipulation du produit. Cependant, cette addition change les propriétés du matériau et demande une évaluation plus complète au niveau du traitement secondaire, comme le compostage ou l'incinération.

Pour les systèmes à grande échelle, des études supplémentaires sur les dispositifs appropriés de manipulation et d'utilisation sont essentielles, y compris une évaluation systématique du risque microbien et un suivi épidémiologique. Quand un traitement secondaire est appliqué, les différentes méthodes doivent être considérées, y compris l'élévation du pH par la chaux et autres produits alcalins, l'urée entre autres. Pour la chaux, une expérience du traitement à grande échelle des boues d'épuration existe, et des études de laboratoire avec les fèces sont en cours.

Pour les études futures, il serait intéressant de chercher une harmonisation des méthodes de traitement sous différentes conditions locales et d'utiliser le même type de méthodes d'analyse, pour pouvoir facilement comparer les résultats. Toutes les méthodes doivent être évaluées par une analyse systématique de leurs effets sur l'environnement.

Nécessité d'adaptation des recommandations aux conditions locales

Les présentes recommandations doivent être développées et adaptées à des populations et à des conditions locales très différentes à travers le monde. Elles doivent être développées concrètement et techniquement pour la mise en œuvre locale de systèmes d'assainissement pleinement écologiques, dont seront responsables les résidents, le personnel des services d'assainissement et les agriculteurs. La nécessité de normes régionales spécifiques et d'études de cas doit être prise en compte là où des aspects comme le climat, la culture, la technique ou les pratiques agricoles interviennent fortement. Pour le programme EcoSanRes, ceci doit être étroitement lié aux zones de projets pilotes. Le choix d'un dispositif doit reposer sur les conditions locales, autrement dit l'adéquation du système d'assainissement doit être évaluée avant une pleine mise en œuvre. Cela peut supposer la modification du système de collecte, du traitement primaire, des méthodes de manipulation et de transport, du traitement secondaire et aussi de la réutilisation. Dans une approche d'évaluation systématique des risques, les risques et bénéfices doivent être évalués d'un point de vue hygiénique.

Les conditions climatiques comme la température, l'humidité (y compris la pluie) et la lumière ultraviolette (du soleil) vont affecter l'efficacité du traitement à la fois de l'urine et des fèces. Une température plus élevée, une humidité moindre et plus d'U.V. sont, comme dit plus haut, favorables à l'élimination des pathogènes, et des périodes de traitement plus courtes que celles données ici pourront être acceptées.

Les croyances culturelles et religieuses peuvent avoir un impact sur le système dans son ensemble, notamment les attitudes par rapport à l'usage des excréments et de leurs produits. Une distinction entre sociétés fécoprophiles et fécophobes a été proposée (Esrey *et al.*, 1998). Les premières peuvent avoir une longue tradition de réutilisation des fèces, tandis que dans les sociétés fécophobes, des tabous pèsent sur les excréments, à la fois sur leur manipulation et sur le fait d'en parler. Dans quelques endroits où les matières fécales sont jusqu'à maintenant utilisées sans traitement approprié, la situation hygiénique sera améliorée si les recommandations présentées ici sont suivies. Là où cela n'est pas pratiqué, il est très important de bien préciser les risques et bénéfices, de façon à ne pas provoquer une dégradation de la situation sanitaire. L'acceptation par les utilisateurs est naturellement nécessaire pour parvenir à un bon fonctionnement du système. L'information et l'implication de la communauté peuvent être cruciales, sur les aspects de comportement et de gestion des toilettes autant que sur les pratiques de collecte et de réutilisation.

Le matériau utilisé pour le nettoyage anal varie selon les endroits. L'utilisation de papier ou de feuilles végétales aura un effet sur la structure du matériau, facilitant l'aération et améliorant la structure et les possibilités de dégradation par compostage, si c'est la voie de traitement secondaire choisie. Si le matériau est incinéré, ni le papier ni un autre matériau organique sec ne posent de problème, ils faciliteront au contraire le processus. Avec les traitements alcalins, il est préférable de jeter le papier hygiénique dans un récipient séparé, et de le traiter comme un déchet solide ou de l'incinérer. Dans les endroits où des cailloux sont utilisés pour le nettoyage anal (Esrey *et al.*, 1998), il faut les collecter à part, et non les jeter dans la toilette sèche.

Le nettoyage anal à l'eau est pratiqué dans la plupart des sociétés musulmanes. Il en résulte une fraction supplémentaire à manipuler. Les eaux de nettoyage contiennent des matières fécales et ne doivent pas être mélangées à l'urine. L'infiltration locale de ces petites quantités d'eau est acceptable. Si le climat est sec, de petits volumes d'eau de nettoyage peuvent probablement être rajoutés aux fèces dans le processus de compostage. Une autre option est de mélanger cette eau avec les eaux grises de bain, cuisine et lessive si ces eaux sont traitées à faible profondeur dans un système de résorption par les plantes. En Inde, une toilette à double chambre a été développée où les eaux de nettoyage et l'urine s'écoulent dans un bassin adjacent d'évapotranspiration où on cultive des plantes (Esrey *et al.*, 1998).

Il faut s'occuper aussi des couches des bébés. Les pratiques diffèrent selon les cultures. Les jeunes enfants étant sujets aux infections entériques, leurs fèces doivent être manipulées avec précaution. La défécation à l'air libre des enfants doit être découragée.

Pendant la menstruation les femmes utilisent des tampons, des serviettes hygiéniques jetables, ou des tissus lavables. Si elles sont dégradables, les serviettes peuvent être jetées dans le récipient fécal. Autrement elles doivent être collectées comme déchet solide. Le sang menstruel n'entraîne aucun risque de transmission de maladie à travers les toilettes en assainissement écologique ou par l'utilisation des excréta. Cependant, il peut y avoir des tabous dans certains pays par rapport à ces matériaux. Dans ce cas, les excréta des femmes peuvent être collectés séparément et par exemple incinérés. Ceci permettrait alors l'usage des fèces dans ces cultures.

Recommandations finales

TOILETTES EN ASSAINISSEMENT ECOLOGIQUE - GENERALITES

- La diversion de l'urine est recommandée pour plusieurs raisons. La première est que cela diminue le risque de transmission de maladies.
- Le recueil des fèces doit normalement se faire au dessus du sol.
- Le recueil des fèces doit se faire dans un compartiment clos, sans risque d'infiltration vers les eaux souterraines, ni vers l'environnement immédiat. Des chambres jumelles sont préférables.
- L'urine doit être collectée avec le moins de risque possible de contamination fécale. Les urinoirs sont de bons compléments à des toilettes à diversion d'urine.
- Le chauffage solaire des récipients de collecte des fèces et de l'urine peut être bénéfique pour l'inactivation des pathogènes.
- Les systèmes de manipulation et de transport doivent impliquer le moins de contact possible avec les matières fécales.

URINE – TRAITEMENT ET UTILISATION

- L'urine présente un faible risque de transmission de maladies.
- Il vaut mieux éviter de diluer l'urine.
- La contamination fécale de l'urine est possible, en conséquence l'urine peut contenir des pathogènes entériques. Les dispositifs de collecte doivent être réalisés de façon à minimiser la contamination croisée par les fèces.
- Au niveau familial, l'urine peut être réutilisée directement.
- Dans les systèmes collectifs à grande échelle, l'urine devrait être stockée un mois à 20°C avant l'utilisation. De plus un délai minimum de un mois entre la fertilisation et la récolte peut être appliqué (tableau 9).

Tableau 9. Autres recommandations proposées pour l'utilisation de l'urine collectée dans les systèmes à grande échelle (niveau municipal)

Traitement	Critère	Commentaire
Stockage	Température > 20°C pendant un mois	Ce temps doit être rallongé par températures plus basses, le pH doit être > 8,5
Période de quarantaine*	Durée > un mois	

* La période de quarantaine est le temps qui s'écoule entre la fertilisation et la récolte

- Pour les récoltes de légumes, fruits poussant au sol et racines, ce délai de un mois doit toujours être respecté.
- Dans les zones où *Schistosoma haematobium* est endémique, l'urine ne doit pas être épandue à proximité des eaux douces.
- L'urine doit être appliquée près du sol et de préférence diluée à l'eau ou arrosée après application.

FECES – TRAITEMENT ET UTILISATION

- Les fèces doivent être traitées avant d'être utilisées comme fertilisant.
- Les différentes méthodes de traitements demandent à être encore évaluées (les recommandations suivantes doivent être considérées comme préliminaires).
- Le traitement primaire (dans la toilette) comprend le stockage et un traitement alcalin par addition de cendres ou de chaux.
- Une à deux tasses (200 à 500 ml ; assez pour couvrir les fèces fraîches) de matériau alcalin doit être ajouté après chaque défécation.
- Dans les systèmes à petite échelle (au niveau familial), les fèces peuvent être utilisées après le traitement primaire si les critères du tableau 10 sont remplis.
- Les traitements indiqués au tableau 10, ainsi que l'incinération, peuvent être utilisés comme traitement secondaire (matériau enlevé de la toilette et traité ailleurs) au niveau familial.

Tableau 10. Recommandations suggérées pour le traitement primaire (et secondaire) des fèces sèches avant utilisation au niveau familial. Addition de matériau frais exclus.

Traitement	Critère	Commentaire
Stockage (comme unique traitement) - Température entre 2 et 20°C.	1,5 à 2 ans	Élimine la plupart des bactéries. Recroissance de <i>E. coli</i> et <i>Salmonella</i> non prise en considération si réhumidifié ; réduit substantiellement les virus, protozoaires et parasites. Quelques œufs peuvent résister.
Stockage (comme unique traitement) - Température entre 20 et 35°C.	Durée supérieure à un an	Élimine la plupart des bactéries. Recroissance de <i>E. coli</i> et <i>Salmonella</i> non prise en considération si réhumidifié ; réduit substantiellement les virus, protozoaires et parasites. Quelques œufs peuvent résister.
Traitement alcalin	pH > 9, durée > 6 mois	Valable si température > 35°C ou humidité < 25%, un pH plus bas ou un matériau plus humide rallonge le temps nécessaire à une élimination complète

- Les traitements secondaires pour les grands systèmes (à échelle municipale) sont les traitements alcalins, le compostage et l'incinération (tableau 11).
- Le traitement alcalin peut consister en l'addition de cendres, chaux ou urée.
- Le pH après traitement alcalin devrait être au moins de 9 et le matériau devrait être stocké à ce pH pendant au moins 6 mois à un an. (L'élimination ne sera pas totale, mais une réduction substantielle sera atteinte).
- Le compostage est surtout conseillé comme un traitement secondaire à grande échelle, étant donné que c'est un procédé difficile à conduire. Des températures d'au moins 50° devraient être atteintes pendant au moins une semaine dans toute la masse du matériau.

Le stockage à température ambiante est moins sûr, mais acceptable si les conditions ci-dessus sont respectées. Des durées plus courtes de stockage peuvent être admises pour tous les systèmes dans les climats très secs où un taux d'humidité de moins de 20% est atteint. Le séchage solaire ou l'exposition à des températures de plus de 45°C permettent de réduire substantiellement la durée de traitement. La réhumidification peut se traduire par une croissance de *Salmonella* et *E. coli*.

Tableau 11. Traitements secondaires suggérés pour les fèces dans les systèmes à grande échelle (niveau municipal). Ajout de matériau frais exclu

Traitement	Critère	Commentaire
Traitement alcalin	pH > 9 durée > 6 mois	Hypothèse : si la température est > 35°C ou si l'humidité est inférieure à 25%. pH plus bas et/ou matériau plus humide requièrent un temps plus long pour élimination complète.
Compostage	Température >50°C pendant plus d'une semaine	Exigence minimum. Un temps plus long est nécessaire si on n'est pas assuré que la température est atteinte
Incinération	Incinération complète (moins de 10% de charbon dans les cendres)	
Stockage	Idem (tableau 10)	La durée dépend des conditions locales Les systèmes à grande échelle nécessitent un degré plus élevé de précautions que les systèmes à l'échelle familiale. Un temps de stockage supplémentaire accroît la sûreté

- L'équipement personnel de protection doit être porté lors de la manipulation et de l'épandage des fèces.
- Les fèces doivent de plus être incorporées au sol de façon à être bien couvertes.
- Une période de précaution supplémentaire de un mois doit être appliquée entre l'épandage et la récolte.
- Les fèces ne doivent pas être utilisées pour la fertilisation des légumes, des fruits et des racines destinées à être consommées crus, sauf pour les fruits d'arbres fruitiers.

ASPECTS PRATIQUES

- Le papier hygiénique peut être jeté dans le réceptacle des fèces si le matériau est destiné à être composté ou incinéré. Dans les autres cas il devrait être récupéré à part.
- L'eau du lavage anal ne devrait pas être mélangée avec l'urine.
- Les matériaux végétaux utilisés pour le nettoyage anal peuvent être jetés dans le réceptacle fécal. Les cailloux doivent être collectés à part.
- Le contenu des couches de bébés (c'est-à-dire leurs fèces) doit être jeté dans le réceptacle fécal.
- Le contenu fécal des pots de chambres et pots de bébés doit être jeté dans le réceptacle des fèces.
- Tout autre matériau comme les serviettes hygiéniques ne doivent être jetées dans la toilette que si elles sont dégradables- autrement elles doivent être traitées comme un déchet solide.
- L'addition supplémentaire de matériau absorbant peut être nécessaire quand la diarrhée prévaut.

Bibliographie

Arnbjerg-Nielsen, K., Hansen, N.J., Hansen, L., Kjølholt, J., Stuer-Lauridsen, F., Hasling, A.B., Stenström, T.A., Schönning, C., Westrell, T., Carlsen, A. and Halling-Sørensen, B. In press. Risk assessment of partly composted faeces for use in private gardens. (Risikovurdering af anvendelse af helt eller delvist opsamlet komposteret human fæces i private havebrug. (In Danish, English summary.)) Danish EPA report, Copenhagen, Denmark.

Asano, T., Leong, L.Y.C., Rigby, M.G. and Sakaji, R.H. 1992. 'Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data.' *Water Science and Technology* **26** (7-8): 1513-1524.

Austin, A. 2001. 'Health aspects of ecological sanitation.' Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation. 5th-8th November, Nanning, China: 104-111.

Björklund, A. 2002. 'The potential of using thermal composting for disinfection of separately collected faeces in Cuarnevaca, Mexico.' Minor Field Studies no. 200. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

Boost, M.V. and Poon, C.S. 1998. 'The effect of a modified method of lime-stabilization sewage treatment on enteric pathogens.' *Environment International* **24** (7): 783-788.

Calvert, P. 1999. 'Dry sanitation in Kerala, South India.' In: Abstracts from the 9th Stockholm Water Symposium. 9th-12th August, 1999, Stockholm, Sweden: 390-392.

Carlander, A. and Westrell, T. 1999. A microbiological and sociological evaluation of urine-diverting, double-vault latrines in Cam Duc, Vietnam. Report no. 91, International Of.ce, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

CDC. 2003a. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/leptospirosis_t.htm Last reviewed March 7, 2003.

CDC. 2003b. http://www.cdc.gov/ncidod/dbmd/diseaseinfo/typhoidfever_g.htm Last reviewed June 20, 2003.

CDC. 2003c. <http://www.cdc.gov>.

Chien, B.T., Phi, D.T., Chung, B.C., Stenström, T.A., Carlander, A., Westrell, T. and Winblad, U. 2001. 'Biological study on retention time of microorganisms in faecal material in urine-diverting eco-san latrines in Vietnam.' Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation. 5th-8th November, Nanning, China: 120-124.

Danish EPA. 1996. Statutory order from the ministry of environment and energy no. 823 of September 16, 1996, on application of waste products for agricultural purposes. Denmark.

EC. 2000. Working document on sludge. 3rd draft. European Communities, Brussels.

Esrey, S.A., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., Vargas, J. and Winblad, U. 1998. *Ecological Sanitation*. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden.

- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. *Sanitation and Disease - Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Franzén, H. and Skott, F. 1999. *A study of the use and functioning of urine-diverting dry toilets in Cuernavaca, Mexico – Virus survival, user attitudes and behaviours*. Report no. 85, International Of.ce, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Ghiglietti, R., Genchi, C., Di Matteo, L., Calcaterra, E. and Colombi, A. 1997. 'Survival of *Ascaris suum* eggs in ammonia-treated wastewater sludges.' *Bioresource Technology* **59** : 195-198.
- Haug, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Jenkins, M.B., Bowman, D.D. and Ghiorse, W.C. 1998. 'Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts by ammonia.' *Applied and Environmental Microbiology* **64** (2): 784-788.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. and Kirchmann, H. 2000. *Recycling source separated human urine*. (Källsorterad humanurin i kretslopp (In Swedish, English summary)). VA-Forsk Report 2000-1, VAV AB, Stockholm, Sweden.
- Hamdy, E.I. 1970. 'Urine as an *Ascaris lumbricoides* ovicide.' *Journal of the Egyptian Medical Association* **53** : 261-264. In: Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. *Sanitation and Disease – Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Holmqvist, A. and Stenström, T.A. 2001. 'Survival of *Ascaris suum* ova, indicator bacteria and *Salmonella typhimurium* phage 28B in mesophilic composting of household waste.' *Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation*. 5th-8th November, Nanning, China: 99-103.
- Höglund, C. 2001. *Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source separated human urine*. PhD thesis, Department of Biotechnology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. ISBN91-7283-039-5.
- Available at: <http://www.lib.kth.se/Sammanfattningar/hoglund010223.pdf>
- Höglund, C., Stenström, T. A. and Ashbolt, N. 2002. 'Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture.' *Waste Management Research* **20** (3): 150-161.
- Karlsson, J. and Larsson, M. 2000. *Composting of latrine products in Addis Ababa, Ethiopia*. Minor Field Studies No. 32, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Kowal, N.E. 1985. 'Health effects of land application of municipal sludge.' Pub. No.: EPA/600/1-85/015. Research Triangle Park, NC: US EPA Health Effects Research Laboratory. In: EPA. 1999. *Environmental regulations and technology – Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge*. EPA/625/R-92-013, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA.

- Lan, Y., Xueming, L., Qinhua, W., Hongbo, X., Caiyun, N. and Lianghong, N. 2001. 'Observation of the inactivation effect on eggs of *Ascaris ssum* in urine diverting toilets.' *Abstract Volume, First International Conference on Ecological Sanitation*. 5th-8th November, Nanning, China:125.
- Matsui, S. 1997. 'Nightsoil collection and treatment in Japan.' In: Drangert, J.-O., Bew, J. and Winblad, U. (eds) *Ecological Alternatives in Sanitation, Proceedings from Sida Sanitation Workshop, 6th-9th August, Balingsholm, Sweden*. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden: 65-72.
- Moe, C. and Izurieta, R. 2003. 'Longitudinal study of double vault urine diverting toilets and solar toilets in El Salvador.' *Proceedings from the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*. Lübeck, Germany, 7th- 11th April 2003.
- Morgan, P. 1999. *Ecological sanitation in Zimbabwe - A compilation of manuals and experiences*. Conlon Printers, Harare, Zimbabwe.
- Olsson, A. 1995. *Source separated human urine – occurrence and survival of faecal microorganisms and chemical composition*. (Källsorterad humanurin - förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning (In Swedish, English summary)). Report 208, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Ottosson, J. 2003. *Hygiene aspects of greywater and greywater reuse*. Licentiate thesis, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Pesaro, F., Sorg, I. and Metzler, A. 1995. 'In situ inactivation of animal viruses and a coliphage in nonaerated liquid and semiliquid animal wastes.' *Applied and Environmental Microbiology* **61** (1): 92-97.
- Petterson, S.R., Ashbolt, N.J. and Sharma, A. 1999. 'Microbial risks from wastewater irrigation of salad crops: Are risks dictated by rare virus events?' *Proceedings from the 4th International Conference, Managing the Wastewater Resource – Ecological Engineering for Wastewater Treatment*. June 7th-11th, 1999, Ås, Norway.
- Pinsem, W. and Vinnerås, B. 2003. 'Composting with human urine: Plant fertilizer approach.' *Proceedings from the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation*. Lübeck, Germany, 7th - 11th April 2003.
- Porter, A. 1938. 'The larval Trematoda found in certain South African Mollusca with special reference to schistosomiasis (bilharziasis).' *Publications of the South African Institute for Medical Research* **8** : 1-492. In: Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. *Sanitation and Disease – Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Schönning, C., Leeming, R. and Stenström, T.A. 2002. 'Faecal contamination of source-separated human urine based on the content of faecal sterols.' *Water Research* **36** (8): 1965-1972.

Schönning, C., Westrell, T., Stenström, T.A., Arnbjerg-Nielsen, K., Hasling, A.B., Hansen, L. and Carlsen, A. *Microbial risk assessment of local handling and reuse of human faeces*. Manuscript.

SMI. 2003. <http://www.smittskyddsinstitutet.se>

Snowdon, J.A., Cliver, D.O. and Converse, J.C. 1989. 'Land disposal of mixed human and animal wastes: A review.' *Waste Management and Research* **7** : 121-134.

Sondén, K. 1889. *The wastewater of Stockholm and its influence on the water courses around the city. Appendix to the annual report of the health authorities of Stockholm city 1888*. (Stockholms a.oppsvatten och dess in.ytande på vattendragen kring staden. Bihang till Stockholms stads helsovårdsnämnds årsberättelse 1888 (In Swedish). K. L. Beckman, Stockholm, Sweden.

Strauss, M. and Blumenthal, U.J. 1990. *Human waste in agriculture and aquaculture: utilization practises and health perspectives*. IRCWD, Dübendorf, Switzerland.

Svensson, L. 2000. Diagnosis of foodborne viral infections in patients. *International Journal of Food Microbiology* **59** (1-2): 117-126.

Swedish EPA. 2002. *Action plan for recycling of phosphorous and sludge*. (Aktionsplan för bra slam och fosfor i kretslopp (In Swedish, English summary)). NV report 5214, Stockholm, Sweden.

Tauxe, R.V. and Cohen, M.L. 1995. 'Epidemiology of diarrheal diseases in developed countries.' In: Blaser, M.J., Smith, P.D., Ravdin, J.I. and Greenberg, H.B. (eds) *Infections of the gastrointestinal tract*. Raven Press, Ltd., New York, NY, USA: 37-51.

Vinnerås, B. 2002. *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. PhD-thesis, Agraria 353, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

Vinnerås B., Holmqvist A., Bagge E., Albihn A. and Jönsson H. 2003a. 'The potential for disinfection of separated faecal matter by urea and by peracetic acid for hygienic nutrient recycling.' *Bioresource Technology* **89** : 155- 161.

Vinnerås B., Björklund A. and Jönsson H. 2003b. 'Thermal composting of faecal matter as treatment and possible disinfection method – laboratory-scale and pilot-scale studies.' *Bioresource Technology* **88** : 47-54.

Wang, J.Q. 1999. 'Reduction of microorganisms in dry sanitation due to different adsorbents under low temperature conditions.' *Abstracts from the 9th Stockholm Water Symposium, 9th-12th August*. Stockholm, Sweden: 396-398.

WHO. 1989. *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO. 2003. <http://www.who.int/ctd/schisto/epidemiology.htm>. Last reviewed June 30, 2003.

Yates, M.V. and Gerba, C.P. 1998. 'Microbial considerations in wastewater reclamation and reuse.' In: Asano, T.(ed.) *Wastewater reclamation and reuse*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, PA, USA: 437-488.



EcoSanRes est un programme de recherche – développement international financé par la Sida (Agence Suédoise Internationale pour le Développement et la Coopération). Il implique un vaste réseau de partenaires qui détiennent connaissance ou expertise sur divers aspects de l’assainissement écologique, depuis la gestion et l’hygiène jusqu’aux procédés et à la réutilisation des produits. Ces partenaires sont des universités, des ONG et des consultants, ils sont engagés dans des études, des activités de promotion et de mise en œuvre de projets en Afrique, Asie et Amérique Latine.

Le cœur du réseau est l’Institut de l’Environnement de Stockholm (SEI), qui a un contrat formel avec la Sida. EcoSanRes est un réseau qui fait maintenant autorité dans le domaine de l’assainissement écologique. Il collabore avec d’autres organisations bilatérales ou multilatérales comme l’OMS, l’UNICEF, le PNUD, le PNUE, GTZ, WASTE, IWA, WSP, etc.

Le programme EcoSanRes a trois grands axes :

- information
- compétence
- mise en œuvre

Le travail sur l’information comprend la promotion, l’animation de réseaux, la diffusion à travers des séminaires, conférences, groupes de discussion électroniques et publications.

L’acquisition de compétences passe par des formations en assainissement écologique et la publication d’études et de recommandations, sur la conception des écotoilettes, le traitement des eaux grises, les aspects architecturaux, la réutilisation agricole, les normes sanitaires, les outils de planification, etc.

La mise en œuvre permet de passer de la théorie à la pratique, avec des projets pilotes en assainissement écologique dans différentes régions du monde. Le plus important facteur de succès dans la mise en œuvre d’un système d’éco-assainissement est son adaptation aux conditions locales, c’est pourquoi EcoSanRes propose un cadre méthodologique pour le développement de projets pilotes et insiste pour que les projets respectent des critères rigoureux avant d’être approuvés.

EcoSanRes a actuellement en cours de réalisation, trois grands projets en Chine, Afrique du Sud et Mexique. Des travaux préparatoires sont en cours pour développer des projets similaires en Bolivie et en Inde.

Pour plus d’informations sur les organisations partenaires et les activités du programme, consulter :

www.ecosanres.org

