



Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaire et des excreta en agriculture et aquaculture - Mesures pour la protection de la santé publique - Résumé d'orientation

**Rédigé sous la direction de
Duncan Mara & Sandy Cairncross**



**Publié par l'Organisation mondiale de la Santé
en collaboration avec
le Programme des Nations Unies pour l'Environnement**

Le présent guide est destiné à encourager, généraliser et rationaliser le recyclage des eaux résiduaire et des excreta en agriculture et en aquaculture dans des conditions propres à sauvegarder la santé du personnel concerné et du grand public. Il intéresse donc principalement tous ceux qui occupent des postes de responsabilités dans les divers secteurs en cause.

L'histoire du recyclage et de la mise en valeur des déchets - pratique qui compte plusieurs siècles dans certaines parties du monde - permet de retrouver de nombreux exemples de techniques appliquées de nos jours. Sont examinées ici, compte tenu des récents progrès réalisés en épidémiologie, et plus particulièrement dans la prévention de la contamination microbiologique, les diverses catégories de maladies liées aux excreta, leurs voies de transmission et les risques d'infection. On s'est également penché sur les aspects socioculturels du recyclage des déchets, notamment des produits dérivés des excreta, et sur les avantages de cette pratique pour l'environnement.

Les mesures utilisables en pratique pour assurer la protection de la santé publique font l'objet d'une mise au point approfondie, tandis que les aspects institutionnels juridiques et financiers de la planification et de la mise en oeuvre des projets sont examinés en détail.

Prix: Fr.s. 35.- ISBN 92 254248 2

Introduction

L'objectif général du présent Guide est d'encourager l'utilisation des eaux résiduaires et des excreta en agriculture et aquaculture dans des conditions propres à sauvegarder la santé du personnel et du public en général. Dans ce contexte, on entend par «eaux résiduaires» les eaux usées domestiques et les effluents municipaux lorsqu'ils ne contiennent pas d'effluents industriels en quantités appréciables; par «excreta», on entend non seulement les gadoues mais aussi les produits dérivés des excreta, par exemple les boues, notamment celles des fosses septiques. En règle générale, la protection de la santé exige que ces déchets subissent un minimum de traitement pour en éliminer les agents pathogènes. D'autres mesures visant à protéger la santé sont envisagées ici, à savoir les limitations mises à l'emploi des eaux résiduaires et des excreta en agriculture, les techniques d'épandage des déchets et les mesures destinées à limiter l'exposition humaine.

Le présent guide s'adresse principalement aux personnes qui occupent un poste de responsabilité dans les divers secteurs concernés par la réutilisation des déchets et elles ont pour objectif d'empêcher la propagation des maladies transmissibles tout en permettant l'économie des ressources et le recyclage des déchets dans des conditions optimales. L'accent est donc mis sur les mesures visant à limiter la contamination microbienne plutôt qu'à éviter tout risque pour la santé du fait de la pollution chimique, phénomène qui n'a qu'une importance mineure lors de la réutilisation des déchets domestiques et qui est traité de manière appropriée dans d'autres publications. Les aspects purement agricoles ne sont envisagés ici que pour autant qu'ils intéressent la protection de la santé.

Les normes appliquées autrefois à la réutilisation des déchets dans un souci d'hygiène étaient inutilement rigoureuses car elles reposaient seulement sur la possibilité de survie des agents pathogènes. Lors d'une réunion, organisée à Engelberg (Suisse) en 1985 à l'initiative de l'Organisation mondiale de la Santé, de la Banque mondiale et du Centre international de référence pour l'évacuation des déchets, les participants - ingénieurs sanitaires, épidémiologistes et sociologues - ont proposé une approche plus réaliste de l'utilisation des eaux résiduaires et des excreta traités, sur la base des observations épidémiologiques les plus récentes et les plus probantes. Les

recommandations formulées dans le rapport de la Réunion d'Engelberg sont à la base des principes exposés.

Plan de l'ouvrage

Les sections 2 et 3 constituent l'historique de la réutilisation et de la mise à profit des déchets et elles donnent quelques exemples des pratiques actuelles dans diverses régions du monde. Les considérations de santé publique, notamment les implications pratiques des récents progrès épidémiologiques, font l'objet de la section 4, tandis que les facteurs socioculturels sont abordés à la section 5. La section 6 est consacrée à la protection et à l'amélioration de l'environnement grâce à la réutilisation des déchets. Les mesures utilisables en pratique pour assurer la protection de la santé publique font l'objet d'un examen approfondi à la section 7 tandis que la section 8 traite des aspects institutionnels, juridiques et financiers de la planification et de la mise en œuvre des projets.

Exploitation des déchets d'origine humaine

Dans de nombreuses régions du monde, les déchets d'origine humaine sont largement mis à profit. Le Guide traite principalement de trois pratiques, qui sont les plus courantes en la matière:

- l'utilisation des eaux résiduaires en agriculture pour l'irrigation;
- l'utilisation des excreta pour la fertilisation du sol et l'amélioration de sa structure;
- l'utilisation des eaux résiduaires et des excreta en aquaculture.

Utilisation des eaux résiduaires en agriculture

Depuis une vingtaine d'années, l'utilisation des eaux résiduaires pour l'irrigation s'est sensiblement développée, spécialement dans les zones arides et des régions à saison sèche, dans les pays industrialisés comme dans les pays en développement. Cette évolution est la résultante de plusieurs facteurs:

- rareté croissante des autres sources d'eau utilisable pour l'irrigation, rendue plus aiguë par le développement de la demande d'eau potable dans les agglomérations urbaines, et prise de conscience, de la part des responsables de la planification des ressources hydriques, de l'importance et de l'intérêt de la réutilisation des eaux résiduaires;
- coût élevé des engrais artificiels et découverte de la valeur des nutriments contenus dans les eaux résiduaires qui accroissent notablement les rendements agricoles;
- démonstration du caractère minime des dangers pour la santé et du risque d'endommagement des sols lorsque les précautions nécessaires sont prises;
- coût élevé des installations perfectionnées de traitement des eaux résiduaires;
- acceptation socioculturelle de cette pratique.

Les eaux résiduaires normales provenant des ménages et des municipalités sont composées d'eau à hauteur de 99 % et contiennent 0, 1 % de matières solides, en suspension, à l'état colloïdal ou en solution, qui associent des matières organiques et minérales, notamment des macro-nutriments tels qu'azote, phosphore et potassium, à côté des micro-nutriments essentiels. Les effluents industriels peuvent apporter de surcroît des composés toxiques, mais en quantités trop faibles pour être nocives, de sorte que seule la sensibilité des cultures au bore doit être prise en considération. Le taux d'épandage des eaux résiduaires est calculé de la même façon que lorsqu'on utilise pour l'irrigation de l'eau non polluée, en tenant compte de l'évapotranspiration potentielle, des besoins correspondant au lessivage et de la régulation de la teneur en sels et de la teneur en sodium.

Utilisation des excreta en agriculture

Dans de nombreux pays d'Asie orientale et du Pacifique occidental, l'épandage d'excreta humains sur le sol pour en maintenir la fertilité constitue une pratique qui remonte à plus de 4 000 ans et c'est parfois la seule solution possible dans les régions où il n'existe pas de réseau d'égout. Dans les pays en développement, la plupart des ménages ne seront toujours pas équipés du tout-à-l'égout dans un avenir prévisible; il faut donc privilégier l'installation de systèmes d'assainissement autonomes - par exemple une latrine à deux fosses fonctionnant par alternance, une latrine à chasse d'eau ou un cabinet à compostage.

En moyenne, chaque personne produit 1,8 litres d'excreta par jour; ce total comprend 350 grammes de matières solides sèches, 90 grammes de matières organiques, 20 grammes d'azote et divers autres nutriments - principalement du phosphore et du potassium. Outre qu'il détruit les micro-organismes pathogènes, le traitement des excreta fait passer ces nutriments, sous une forme plus facilement utilisable dans les zones cultivées et il stabilise les matières organiques, en donnant un meilleur conditionneur de sol. En général, les excreta et les produits qui en dérivent sont épandus sur le sol avant la plantation, à raison, chaque année, de 5-30 tonnes par hectare (t/ha) (10 t/ha 1 kg/m²).

Utilisation des excreta et des eaux résiduaires en aquaculture

L'aquaculture englobe les anciennes méthodes de pisciculture, notamment l'élevage de la carpe et du tilapia, et la culture des plantes aquatiques telles que l'ipomée, la châtaigne d'eau, la truffe d'eau et le lotus. La fertilisation des bassins d'aquaculture au moyen d'excréments et d'excreta constitue une pratique millénaire en Asie; à l'heure actuelle, au moins les deux tiers des poissons élevés dans le monde proviennent de bassins de ce genre. La production chinoise de poissons d'élevage représente 60% du total mondial, alors que la superficie des bassins de pisciculture ne représente que 27 % du total mondial; le rendement moyen annuel des bassins chinois est de 3 200 kg/ha mais une gestion intensive des bassins de polyculture permet un rendement de 7 000 kg/ha. Ces poissons d'élevage représentent la source la moins onéreuse de protéines animales.

On peut également élever avec succès des poissons dans les bassins de maturation qu'on trouve dans la succession des bassins de stabilisation des eaux résiduaires: on maintient ainsi un rendement annuel pouvant atteindre 3 000 kg/ha. La vente des poissons d'élevage peut être utilisée pour financer des améliorations dans la gestion et l'entretien des réseaux d'égout municipaux.

Exemples de réutilisation des déchets d'origine humaine

Parmi de nombreux exemples de réutilisation des déchets d'origine humaine, quelques-uns ont été choisis ici pour illustrer la diversité de cette technique, qu'il s'agisse de l'emplacement géographique, du cadre socioculturel, de l'échelle de l'opération, du procédé de traitement, des techniques d'épandage ou des plantes cultivées. Les exemples exposés en détail concernent les points suivants:

Utilisation des eaux résiduaires en agriculture: République fédérale d'Allemagne, Australie, Inde, Mexique, Tunisie.

Utilisation des excreta en agriculture: Chine, États-Unis d'Amérique, Guatemala, Inde.

Utilisation des eaux résiduaires et des excreta en aquaculture: Inde, Indonésie.

Considérations de santé publique

Risques pour la santé

Les maladies liées aux excreta sont très répandues dans les pays en développement où les excreta et les eaux résiduaires ont une concentration élevée en agents pathogènes excrétés - bactéries, virus, protozoaires et helminthes. Une trentaine de ces maladies sont assez importantes pour poser un problème de santé publique et bon nombre d'entre elles soulèvent un problème particulier dans les systèmes de réutilisation des déchets. Toutefois, l'utilisation d'excreta et d'eaux résiduaires en agriculture ou aquaculture ne peut faire peser un risque *effectif* sur la santé publique que si *toutes* les conditions ci-dessous sont réunies:

- a) pour un agent pathogène excrété, la dose infectieuse est atteinte *soit* au moment où cet agent est déversé dans un champ ou dans un bassin, *soit* à la suite de sa multiplication dans ce champ ou ce bassin;
- b) la dose infectieuse atteint un hôte humain;
- c) l'hôte est effectivement infecté;
- d) l'infection détermine une maladie ou permet la poursuite de la transmission.

Si la condition d) n'est pas remplie, les conditions a), b) et c) ne font peser qu'un risque *potentiel* sur la santé publique. En outre, si cet enchaînement est interrompu en un point quelconque, les risques potentiels ne peuvent s'additionner pour constituer un risque effectif.

On sait aujourd'hui concevoir et mettre en œuvre des systèmes de réutilisation des déchets qui ne font courir aucun danger à la santé publique, mais cela suppose la connaissance de l'épidémiologie des infections associées à la réutilisation des déchets. On peut alors définir des normes de qualité microbiologique à imposer aux excreta et aux eaux résiduaires destinés à être réutilisés.

Observations épidémiologiques

Seule une étude épidémiologique concernant la pratique en cause permet d'évaluer l'importance réelle pour la santé publique d'une méthode de réutilisation des excreta ou des eaux résiduaires: elle permet en effet d'établir si cette pratique se traduit par une augmentation mesurable de l'incidence ou de la prévalence de la maladie ou encore du degré d'infestation ou d'infection par rapport aux valeurs observées en son absence. Cela ne va pas sans poser des problèmes de méthodologie, de sorte qu'il n'existe que peu d'études épidémiologiques bien conçues qui traitent de la réutilisation des déchets d'origine humaine; on est mieux renseigné sur l'irrigation au moyen d'eaux résiduaires que sur l'utilisation des excreta en agriculture ou sur l'utilisation des unes ou des autres en aquaculture.

Irrigation au moyen d'eaux résiduaires. Un rapport récent de la Banque mondiale (Technical Paper N° 5 1) fait le point de toutes les études épidémiologiques connues sur l'utilisation d'eaux résiduaires pour l'irrigation et se termine par les conclusions suivantes.

- L'irrigation de cultures au moyen d'eaux résiduaires non traitées détermine chez les consommateurs de plantes cultivées et chez les ouvriers agricoles une augmentation significative des infestations intestinales par des nématodes. Les ouvriers agricoles, spécialement lorsqu'ils travaillent pieds nus, sont exposés à des infestations plus intenses, en particulier par les ankylostomes, que leurs collègues qui travaillent dans des champs irrigués par un autre procédé.
- L'irrigation au moyen d'eaux résiduaires convenablement traitées n'entraîne aucune augmentation des cas d'infestation intestinale par des nématodes, ni chez les ouvriers agricoles, ni chez les consommateurs de plantes cultivées.
- L'irrigation des cultures maraîchères au moyen d'eaux résiduaires non traitées comporte un risque effectif de transmission du choléra, et sans doute de la typhoïde.
- Le bétail mis à paître dans des pâturages irrigués au moyen d'eaux résiduaires brutes risque d'être infesté par le ver solitaire (ténia inerme), mais le risque de téniose n'est guère attesté chez l'homme.
- On a peu de raisons de penser que les populations vivant à proximité des rizières irriguées au moyen d'eaux résiduaires non traitées puissent être contaminées, soit directement par contact avec le sol, soit indirectement par contact avec des ouvriers agricoles. Dans les collectivités où l'hygiène corporelle est rigoureuse, les effets nocifs pour la santé se limitent en général à une surincidence de gastro-entérites bénignes, souvent d'origine virale, mais on peut également observer un excédent d'infections bactériennes.
- L'irrigation par aspersion au moyen d'eaux résiduaires traitées peut favoriser la transmission aéroportée de virus excrétés mais, en pratique, cette éventualité est rare car la plupart des personnes concernées présentent normalement une forte immunité vis-à-vis des viroses endémiques.

Il est clair que lorsqu'on se sert pour l'irrigation d'eaux résiduaires *non traitées*, il existe un risque effectif important d'infections bactériennes, et de parasitoses intestinales dues à des nématodes, alors que le risque de virose est pratiquement nul. Le traitement des eaux résiduaires constitue donc une méthode très efficace pour sauvegarder la santé publique.

Utilisation des excreta en agriculture. Dans un rapport récent (No 05/85), le Centre International de référence pour l'évacuation des déchets (IRCWD) a fait le point des observations épidémiologiques concernant l'utilisation des excreta en agriculture et il est arrivé aux conclusions suivantes:

- L'utilisation comme engrais d'excreta non traités entraîne chez les consommateurs des plantes cultivées et chez le personnel des exploitations agricoles un excédent significatif d'infections intestinales provoquées par des nématodes.
- On est fondé à penser que le traitement des excreta peut réduire la transmission des nématodes.
- L'utilisation d'excreta comme engrais pour le paddy peut provoquer chez les riziculteurs une surmorbidity bilharzienne.
- Le bétail peut être atteint de téniasse mais il est peu probable qu'il puisse contracter une salmonellose.

Utilisation en aquaculture. Le rapport de FIRCWD fait également le point des observations sur la transmission de maladies du fait de l'utilisation en aquaculture d'excreta et d'eaux résiduelles; les conclusions sont moins nettes dans ce cas que dans celui de l'agriculture par suite du volume restreint et de la qualité insuffisante des données disponibles.

Les observations épidémiologiques sont claires dans le cas de la transmission de certaines parasitoses provoquées par des trématodes, principalement *Clonorchis* (douve de Chine responsable de la distomatose hépatique d'Extrême-Orient) et *Fasciolopsis* (grande douve du foie) responsable de la fasciolose, mais elles font défaut quant à la transmission de la schistosomiase (bilharziose) qui n'en constitue pas moins le principal risque potentiel pour le personnel employé dans les bassins de pisciculture engraisés au moyen d'excreta. Aucune observation ne permet de conclure à la transmission de maladies bactériennes par les poissons et les plantes comestibles aquatiques, encore que, là encore, le risque ne puisse être exclu.

Critères de qualité microbiologique

Les experts qui ont participé à la première réunion relative au projet sur l'utilisation sans risques des déchets d'origine humaine en agriculture et aquaculture (Engelberg, Suisse, 1985) ont passé en revue les observations épidémiologiques sur cette pratique en agriculture et ils ont établi des critères dits d'Engelberg pour la qualité microbiologique des eaux résiduelles traitées destinées à l'irrigation. D'après leur recommandations, ces eaux devraient contenir.

- moins d 1 œuf viable de nématode intestinal par litre (en moyenne arithmétique) pour l'irrigation avec ou sans limitation;
- moins de 1 000 coliformes fécaux pour 100 millilitres (en moyenne géométrique) pour l'irrigation sans limitation.

L'irrigation sans limitation concerne les arbres, le fourrage et les plantes industrielles, les arbres fruitiers et les pâturages, tandis que l'irrigation avec limitation concerne les plantes comestibles, les terrains de sport et les parcs publics.

Les critères ci-dessus sont également applicables en agriculture lorsqu'on utilise les excréta, par exemple sous forme de gadoues liquides, comme engrais pendant la période de croissance végétale.

La valeur recommandée pour les œufs de nématodes intestinaux vise à protéger la santé des ouvriers agricoles comme celle des consommateurs et elle suppose que les œufs soient éliminés des eaux résiduaires dans une forte proportion (plus de 99 %). Le critère pour les coliformes fécaux est moins exigeant que dans les recommandations antérieures, mais il est conforme aux normes actuelles en vigueur pour les eaux de baignade, par exemple, et suffit largement à protéger la santé du consommateur. Des effluents conformes à ces deux critères peuvent être produits, de façon simple et fiable, par passage dans une série bien conçue de bassins de stabilisation.

Des recommandations sur la qualité microbiologique des excréta et des eaux résiduaires traités destinés à être utilisés en aquaculture ont été formulées lors de la seconde réunion organisée à Adelboden (Suisse), en juin 1987. Il a été recommandé que le nombre d'œufs viables de trématodes soit égal à zéro par litre ou par kilogramme (en moyenne arithmétique) et que le nombre de coliformes fécaux soit inférieur à 10 000 pour 100 millilitres ou 100 grammes (en moyenne géométrique). Le critère extrêmement rigoureux fixé pour les trématodes est indispensable car ces agents pathogènes prolifèrent chez leur premier hôte aquatique intermédiaire. Le critère recommandé pour les coliformes fécaux implique une réduction de 90% du nombre de ces bactéries dans les bassins, de façon que les poissons et les plantes aquatiques comestibles ne soient pas exposés à plus de 1 000 coliformes fécaux pour 100 millilitres.

Aspects socioculturels

Les comportements humains jouent un rôle décisif dans la transmission des maladies liées aux excréta. La possibilité, sur le plan social, de faire évoluer certains comportements en vue d'utiliser les excréta ou les eaux résiduaires, ou de réduire la transmission des maladies lorsque cette pratique est déjà en vigueur, ne peut être appréciée que si l'on connaît au préalable la signification culturelle de pratiques qui ont apparemment la préférence de la société alors qu'elles facilitent la transmission de maladies. Les croyances culturelles sont si variables dans les différentes régions du monde qu'il n'est pas question de tenir pour acquis que le mode d'utilisation des excréta ou des eaux résiduaires dans telle ou telle région soit directement transposable ailleurs. Une évaluation approfondie du contexte socioculturel local est toujours indispensable au stade de la planification, faute de quoi le projet est voué à l'échec.

Aspects écologiques

Bien planifiée et correctement gérée, l'utilisation des excréta et des eaux résiduaires peut avoir des répercussions favorables sur l'environnement, tout en augmentant les rendements en agriculture et en aquaculture. Les améliorations d'ordre écologique découlent de plusieurs facteurs, énumérées ci-dessous:

- Suppression de la pollution des eaux superficielles résultant du déversement, dans les cours d'eau ou les lacs, des eaux résiduaires inutilisées. L'utilisation de ces eaux permet d'éviter des problèmes importants de pollution, tels que l'appauvrissement en oxygène dissous, l'eutrophisation, la formation de mousses et la mort des poissons.
- Préservation ou utilisation plus rationnelle des ressources en eau non polluée, spécialement dans les régions arides ou semi-arides l'eau non polluée servant à l'approvisionnement des villes et les eaux résiduaires étant réservées à l'agriculture.
- Diminution des besoins d'engrais artificiels et, parallèlement, réduction de la consommation d'énergie et de la pollution industrielle dans d'autres endroits.
- Préservation du sol grâce à la constitution d'une couche d'humus qui protège le sol de l'érosion.
- Lutte contre la désertification et récupération de zones désertiques grâce à l'irrigation et à la fertilisation de zones-tampons plantées d'arbres.
- Amélioration du cadre urbain grâce à l'irrigation et à la fertilisation d'espaces verts pour le plaisir des yeux et les activités récréatives.

L'utilisation d'excreta et d'eaux résiduaires en agriculture présente *a priori* l'inconvénient d'entraîner une pollution du sol et des eaux souterraines; mais il est possible de réduire cet inconvénient au minimum par une planification scientifique et une gestion efficace des régimes d'irrigation et de fertilisation.

Solutions techniques pour la protection de la santé

Les mesures de protection peuvent être regroupées sous quatre rubriques principales:

- traitement des déchets;
- limitation de l'utilisation des excreta et des eaux résiduaires à certaines cultures;
- méthodes d'épandage des déchets;
- limitation de l'exposition humaine.

Souvent, il est bon d'associer plusieurs méthodes. Les facteurs techniques à prendre en considération dans chaque cas sont envisagés ci-dessous.

Traitement des déchets

La meilleure façon d'exprimer le taux d'élimination des agents pathogènes par un procédé de traitement des déchets consiste à utiliser les logarithmes (de base 10)*. Les critères de qualité d'Engelberg exigent, pour l'irrigation sans limitation, une réduction d'au moins $4 \log_{10}$ pour la charge bactérienne et de $3 \log_{10}$ pour les œufs d'helminthe. L'élimination des seuls œufs d'helminthes suffit à assurer la protection du personnel d'exploitation agricole. On peut sans doute se contenter d'un taux d'élimination moins élevé lorsqu'on envisage d'autres mesures de protection sanitaire ou que d'autres améliorations de la qualité interviennent après ce traitement. C'est le

cas, par exemple, s'il y a dilution dans des eaux naturelles, séjour prolongé ou transport sur une longue distance dans un cours d'eau ou un canal.

* Par exemple, une réduction de $4 \log_{10}$ correspond à une réduction dans la proportion de 1 à 10 000, puisque $4 = \log_{10} 10^4 = \log_{10} 10\,000$.

Sans désinfection supplémentaire, les procédés classiques (simple sédimentation, procédé des boues activées, biofiltration, bassin d'oxygénation et fossés d'oxydation) ne fournissent pas un effluent qui satisfasse au critère d'Engelberg recommandé pour l'irrigation sans limitation. De plus, les systèmes classiques de traitement des eaux résiduaires sont en général impuissants à éliminer les oeufs d'helminthes.

Les **bassins de stabilisation** constituent généralement la méthode de choix pour le traitement des eaux résiduaires dans les climats chauds. Une série de bassins assurant une durée de rétention totale de l'ordre de 11 jours permet, si elle est bien conçue, d'éliminer suffisamment d'helminthes; selon la température, il faut environ deux fois plus longtemps pour que la recommandation concernant la charge bactérienne soit satisfaite. La fiabilité de cette méthode en vue d'obtenir une qualité conforme aux recommandations d'Engelberg ne constitue qu'un de ses nombreux avantages; on peut également citer son faible coût et sa simplicité de fonctionnement. Le seul inconvénient des réseaux de bassins est qu'ils exigent une superficie relativement étendue.

La **désinfection** - généralement par chloration - des effluents bruts n'est jamais complète en pratique, mais cette méthode réduit le nombre de bactéries excrétées contenues dans les effluents à la sortie d'une installation classique de traitement. Mais il est fort difficile de maintenir le rendement de la désinfection à un niveau élevé, uniforme et prévisible, sans compter que la chloration est à peu près sans action sur les oeufs d'helminthe.

Un autre problème tient au coût du chlore. Un type de traitement mieux approprié consiste à ajouter à la sortie d'une installation de traitement classique, un ou plusieurs bassins en série. L'adjonction de bassins de finissage est une méthode adaptée pour améliorer l'efficacité d'une station existante de traitement des eaux résiduaires.

Le **traitement des excreta** est inutile quand l'épandage des excreta sur le sol se fait par injection dans la couche superficielle ou déversement dans des tranchées, avant le début de la période de végétation. Pour atteindre le critère de qualité recommandé pour les helminthes, il faut laisser séjourner les excreta au moins un an à la température ambiante; une autre solution consiste à effectuer directement le traitement des gadoues et des boues de fosse septique dans des bassins de stabilisation.

Traitement thermique des excreta. Deux méthodes de traitement des excreta à haute température permettent de réduire la durée de rétention nécessaire pour satisfaire au critère d'Engelberg (au moins 12 mois):

- digestion thermophile en discontinu à 50° pendant 13 jours;
- compostage avec aération forcée.

Du point de vue agricole, le compostage a plusieurs avantages.

Limitation de la méthode à certaines cultures

Agriculture. Quand le critère d'Engelberg n'est qu'imparfaitement satisfait, on peut encore utiliser la méthode pour la culture de certaines plantes, sans risques pour le consommateur. Les plantes cultivées peuvent être classées en quelques grandes catégories selon l'ampleur des mesures de protection de la santé:

Catégorie A - Protection nécessaire uniquement pour le personnel

d'exploitation agricole. Se rangent dans cette catégorie des cultures industrielles comme celles du coton, du sisal et des céréales, ainsi que l'exploitation forestière et les plantes vivrières destinées à la conserve.

Catégorie B - Mesures complémentaires éventuellement nécessaires. Cette catégorie englobe les pâturages, le fourrage vert, l'arboriculture, ainsi que les fruits et légumes qui sont pelés ou cuits avant d'être consommés.

Catégorie C - Respect strict des critères d'Engelberg pour l'irrigation sans limitation. Ce traitement rigoureux est nécessaire pour les légumes frais, les fruits irrigués par aspersion, ainsi que les parcs, les gazons et les parcours de golf.

Quand l'irrigation est limitée à certaines cultures et sous certaines conditions, comme il est prévu pour la catégorie A, on parle plus brièvement d'irrigation avec limitation.

Cette limitation assure la protection des consommateurs, mais non celle des ouvriers agricoles et de leurs familles. Elle doit être complétée par d'autres mesures, par exemple un traitement partiel des déchets, leur épandage contrôlé ou la limitation de l'exposition humaine. Dans la plupart des situations, un traitement partiel conforme au critère de qualité d'Engelberg pour les helminthes assure en principe la protection de la santé du personnel d'exploitation et il est moins onéreux qu'un traitement complet.

La limitation à certaines cultures est une méthode qui ne soulève aucune impossibilité et qui est facilitée dans diverses circonstances, notamment dans les cas suivants:

- respect spontané de la loi par la société ou répression rigoureuse des infractions;
- il existe un organisme public qui contrôle l'utilisation des déchets;
- le projet d'irrigation relève d'une direction centrale dotée de pouvoirs étendus;
- les plantes dont la culture est autorisée avec cette méthode d'irrigation bénéficient d'une demande suffisante et atteignent un cours raisonnable;
- le marché n'exerce qu'une faible pression en faveur des plantes exclues (par exemple celles de la catégorie Q).

Epandage des eaux résiduaires et des excréta

Eaux résiduaires en agriculture. Les eaux d'irrigation, y compris les eaux résiduaires traitées, peuvent être réparties sur le sol de cinq façons:

- par submersion (irrigation par calants), qui assure l'humidification de presque toute la surface du sol;
- par infiltration «à la raie». ce qui limite l'humidification à la couche superficielle;
- par aspersion, ce qui assure une humidification du sol analogue à celle qui résulte de la pluie;
- par irrigation souterraine, procédé dans lequel la surface reste peu humide tandis que le sous-sol est saturé;
- par irrigation localisée (par ruissellement, goutte-à-goutte, au moyen de tuyaux de refoulement, etc.), procédé dans lequel l'eau est versée au pied de chaque plante à un débit réglable.

La submersion est la technique qui exige le moins d'investissements mais qui fait probablement courir le plus grand risque aux travailleurs agricoles.

Quand l'eau ne répond pas aux critères de qualité bactériologique d'Engelberg mais qu'on en a besoin pour des récoltes de la catégorie B, l'irrigation par aspersion est à exclure sauf pour les pâturages ou les fourrages, l'irrigation par calants étant à éviter pour les légumes.

L'irrigation souterraine apporte le maximum de sécurité sur le plan sanitaire, outre qu'elle permet une utilisation plus efficace de l'eau et donne souvent des rendements plus élevés. Mais c'est une technique coûteuse qui nécessite un traitement extrêmement fiable de l'eau utilisée si l'on veut éviter que les petits orifices (éjecteurs) par lesquels l'eau se répand lentement dans le sol ne se colmatent. Quand à l'irrigation par tuyaux de refoulement, mise au point pour l'irrigation localisée des arbres, elle évite d'avoir besoin d'éjecteurs pour régulariser l'écoulement au niveau de chaque arbre.

Excréta en agriculture. L'utilisation d'excreta non traités ou insuffisamment traités n'est possible que par épandage sur le sol, selon deux techniques: enfouissement dans des tranchées recouvertes avant le début de la période de végétation ou injection souterraine au moyen de dispositifs spéciaux. Les gadoues dont la qualité correspond seulement à la valeur recommandée pour les helminthes peuvent faire courir aux ouvriers agricoles un risque plus élevé que l'irrigation réglementée au moyen d'eaux résiduaires; seule une limitation de l'exposition permet de réduire ce risque au minimum.

Aquaculture. En faisant séjourner les poissons dans une eau pure pendant deux ou trois semaines au moins avant leur capture, on peut faire disparaître les odeurs résiduelles qui risqueraient de rebuter le consommateur et réduire la contamination par des micro-organismes fécaux. Mais, cette dépuración ne garantit pas une élimination totale des agents pathogènes présents dans les tissus et l'appareil digestif des poissons, sauf si la contamination est très faible.

Limitation de l'exposition humaine

Agriculture. Il existe quatre catégories de personnes sur qui l'utilisation agricole des eaux résiduaires et des excreta fait peser un risque potentiel:

- ouvriers agricoles travaillant dans les champs et membres de leur famille;
- manutentionnaires et manipulateurs des produits de la récolte;
- consommateurs (de plantes cultivées, de viande et de lait);
- personnes vivant à proximité des champs.

Le risque d'ankylostomiase chez le personnel d'exploitation agricole peut être réduit par le port permanent de chaussures appropriées pendant les travaux des champs, mais cette solution est parfois très difficile à imposer.

S'il n'est pas possible de vacciner contre les helminthiases ni contre la plupart des maladies diarrhéiques, il n'est peut-être pas inutile, en revanche, de vacciner les groupes très exposés contre la typhoïde et l'hépatite A. Une protection supplémentaire est possible par la mise à disposition des moyens médicaux convenables, par une chimiothérapie contre les nématodoses massives de l'enfance et par le traitement des sujets anémiés. La chimiothérapie et la vaccination ne peuvent pas être considérées comme suffisantes en soi mais elles peuvent être valables à titre de mesure palliative provisoire.

Les risques pour le consommateur peuvent être réduits par une cuisson à cœur et par la pratique d'une hygiène rigoureuse. On peut limiter la transmission du ténia par inspection des viandes.

Les résidents doivent être pleinement informés de l'emplacement de tous les champs où l'on utilise des déchets d'origine humaine de façon qu'ils puissent se tenir à l'écart, ainsi que leurs enfants. Il ne semble pas que les personnes qui habitent à proximité de champs irrigués au moyen d'eaux résiduaires courent un risque notable du fait de l'irrigation par aspersion, à condition toutefois que les asperseurs soient installés en retrait d'au moins 50-100 m par rapport aux habitations et voies de communication.

Aquaculture. La meilleure méthode de lutte contre la schistosomiase consiste dans le traitement des malades et dans la destruction des gastéropodes. Une chimiothérapie régulière serait bénéfique dans les régions d'endémie. Les résidents doivent être informés de l'existence de bassins où l'on utilise des déchets comme engrais. Un assainissement correct et un approvisionnement en eau salubre contribue de façon importante à limiter l'exposition humaine.

Planification et mise en œuvre

Planification des ressources

L'utilisation d'eaux résiduaires et d'excreta relève de plusieurs ministères ou organismes officiels. La participation active des ministères de la santé et de l'agriculture est particulièrement nécessaire. En général, il est bon de créer un comité inter-organisations ou, éventuellement, une organisation para-étatique distincte, responsables de ce secteur et ayant pour première tâche, dans le cadre de la

planification des ressources hydriques, d'établir un plan national pour la réutilisation des déchets. En principe, ce plan doit prévoir l'amélioration des pratiques existantes en matière de réutilisation et la mise en œuvre de nouveaux projets.

Amélioration des pratiques existantes

L'utilisation de déchets d'origine humaine pour la production de plantes et de poissons constitue souvent une pratique illicite, qui n'a reçu aucun agrément officiel des autorités sanitaires. Interdire cette pratique n'a guère de chances d'en réduire la fréquence ni d'atténuer les dangers qui en découlent pour la santé publique - l'interdiction pouvant même rendre encore plus difficiles la surveillance et la réglementation. Il y a davantage à attendre d'un soutien destiné à améliorer les pratiques en usage, non seulement pour réduire au minimum les dangers pour la santé mais aussi pour augmenter la productivité.

Un minimum de réglementation officielle est généralement nécessaire, encore qu'il soit plus facile de formuler un règlement que de le faire respecter. Les mesures visant à protéger la santé publique sont particulièrement difficiles à mettre en œuvre quand il existe de nombreuses sources individuelles ou propriétaires de déchets. Souvent, les mesures nécessaires pour faire tomber l'utilisation des déchets sous le coup d'une réglementation générale impliquent la création de nouveaux systèmes.

La première chose à faire, lorsqu'on essaie d'améliorer des pratiques existantes, est de tout mettre en œuvre pour les recenser, tout en organisant avec tact des entretiens informels avec les agriculteurs, les fonctionnaires locaux et les organismes locaux concernés. Lorsqu'une pratique en usage est en contravention avec la réglementation, il importe de chercher à savoir pourquoi cette réglementation n'est pas appliquée: les raisons possibles vont de l'existence de normes inappropriées à l'absence d'un arsenal répressif.

Les solutions possibles

Les sections ci-dessous sont consacrées à l'examen des diverses solutions du point de vue de leur faisabilité, de leur planification et de leur mise en œuvre.

a) Traitement

Eaux résiduaires. Le traitement est difficile à mettre en œuvre quand ces eaux ont des origines diverses, par exemple lorsqu'il s'agit de l'effluent d'un ensemble de fosses septiques. Une méthode peut consister à prendre des mesures contre les producteurs d'eaux résiduaires, pour empêcher la pollution de l'environnement qui en résulte. Dans d'autres cas, la seule solution consiste à construire un réseau d'égout et des installations de traitement des effluents.

Excréta. Le traitement est beaucoup plus facile à mettre en œuvre lorsqu'un seul et même organisme, par exemple une municipalité, assure la collecte ou au moins le traitement des excréta. La création de parcelles locales expérimentales peut persuader les divers agriculteurs de traiter les excréta en leur apportant la preuve que les rendements sont augmentés par cette technique. Il s'agit d'une tâche qui relève de la vulgarisation agricole.

Aquaculture. Un type de traitement possible dans le cas de l'aquaculture consister à placer plusieurs bassins en série (ou à subdiviser un seul bassin en plusieurs compartiments reliés les uns aux autres en série) et à s'abstenir de récolter les produits dans le premier bassin. Cette solution nécessite parfois des accords de coopération entre les propriétaires des différents bassins.

b) Limitation à certaines cultures

Il peut être difficile, mais non impossible, d'interdire l'emploi de cette méthode d'irrigation pour certaines cultures, lorsqu'on est en présence d'un grand nombre de petits exploitants. Dans certains pays, les mécanismes de planification agricole en place permettent de réglementer de façon rigoureuse toutes les cultures pratiquées. Mais quand il n'existe pas de précédents locaux, la possibilité d'imposer des limitations doit d'abord être expérimentée dans une zone déterminée. Des dispositions doivent être prises pour commercialiser les cultures autorisées et faciliter l'accès aux organismes de crédit agricole.

c) Epandage

Il est particulièrement nécessaire de modifier la méthode d'irrigation, afin de réduire le risque pour la santé, quand la pratique actuelle consiste dans l'irrigation par submersion. Les agriculteurs peuvent avoir besoin d'une aide pour préparer le sol afin de rendre possible le recours à une autre méthode. Deux arguments peuvent être mis en avant pour les inciter à changer de méthode: l'efficacité accrue des autres techniques d'irrigation et la réduction de la nuisance constituée par les moustiques. Quand le service de vulgarisation agricole n'arrive pas à promouvoir le recours à des méthodes d'épandage hygiéniques, ce résultat peut parfois être obtenu par l'organisme qui contrôle la distribution des déchets.

d) Limitation de l'exposition humaine

Les mesures visant à réduire l'exposition aux maladies diarrhéiques en général et à faciliter le traitement des malades constituent un aspect bien connu des soins de santé primaires. Des mesures d'intérêt évident consistent à assurer un approvisionnement suffisant en eau et la mise en place d'installations d'assainissement. Des précautions s'imposent pour que les déchets ne risquent pas de contaminer les sources voisines d'eau potable.

Lorsqu'ils emploient des salariés pour le travail aux champs ou dans les étangs, les employeurs ont des responsabilités qui sont souvent stipulées dans la législation en vigueur concernant la médecine du travail. Une éducation en matière d'hygiène est également nécessaire pour les manutentionnaires et pour les consommateurs; les marchés constituent parfois l'endroit idéal pour conseiller les consommateurs sur ce point.

Dès lors que les précautions nécessaires ont été expliquées, les résidents sont les mieux placés pour veiller à ce que leur santé ne soit pas menacée. A partir d'une commission d'hygiène où siègent des résidents, on peut organiser une campagne d'éducation pour la santé ou la surveillance de l'utilisation des déchets.

Le traitement des helminthiases intestinales chez les travailleurs agricoles et leur famille est relativement facile à réaliser dans le cadre d'un organisme officiel chargé de

l'irrigation au moyen d'eaux résiduaires, encore qu'il nécessite parfois des agents de santé supplémentaires. Lorsqu'on utilise des eaux résiduaires dans des exploitations nombreuses ou petites, le recensement et le traitement des personnes exposées peuvent devenir fort onéreux, de sorte qu'une chimiothérapie de masse devient alors préférable au traitement sélectif des sujets parasités.

Nouveaux systèmes

En général, il faut donner la priorité à l'amélioration des systèmes existants - dans le sens d'une productivité accrue ou d'une réduction des dangers pour la santé - sur la mise en place de nouveaux systèmes. L'attention doit porter non seulement sur les perfectionnements techniques nécessaires mais aussi sur les progrès à réaliser en matière de gestion et sur les améliorations au niveau du fonctionnement et de l'entretien.

Un projet pilote constitue une nécessité particulière dans les pays où l'on n'a guère l'expérience de l'utilisation planifiée des excréta ou des eaux résiduaires. Le problème de la protection sanitaire n'est qu'une question parmi d'autres auxquelles il est difficile de répondre sans l'expérience locale que peut apporter un projet pilote. Ce dernier doit fonctionner pendant au moins une période de végétation et peut ensuite être transposé dans un projet de démonstration disposant de moyens pour assurer la formation des opérateurs et des agriculteurs locaux.

Planification du projet

A de nombreux égards, la planification de l'utilisation des excréta et des eaux résiduaires comporte les mêmes exigences que pour tout autre système d'irrigation et de fertilisation. Pour chaque système, le planificateur doit chercher à maximiser les bénéfices tout en assurant, comme il convient, la protection de la santé et en limitant les coûts au minimum. Pour évaluer les bénéfices, il faut prévoir non seulement les rendements agricoles mais également les coûts. Cela exige une étude de marché préliminaire.

Pour que le plan soit utile, il doit porter sur une certaine durée. Pour les projets d'irrigation, la planification se fait souvent à l'horizon de 20 ans, avec des débuts modestes suivis par une expansion progressive. Les projets concernant les eaux résiduaires sont tributaires de l'évolution qui intervient peu à peu dans la quantité et la qualité des eaux résiduaires disponibles.

La structure organisationnelle d'un système de réutilisation des déchets est déterminée en grande partie par les modalités en vigueur pour l'utilisation des sols et par les institutions en place. Les agriculteurs doivent bénéficier d'un statut qui leur garantisse un droit durable à l'exploitation de leurs terres et à l'utilisation d'eaux résiduaires, spécialement s'ils ont à faire des dépenses d'équipement ou s'ils doivent changer la nature de leurs cultures.

Dans les systèmes importants, la présence de spécialistes de la gestion employés à plein temps est indispensable, de préférence sous la tutelle d'un seul organisme. La délivrance et le renouvellement des autorisations d'utiliser les ressources nécessaires peuvent être subordonnées au respect des exigences de l'assainissement. Il est courant de traiter avec les propriétaires d'exploitations agricoles ou de bassins

piscicoles par l'intermédiaire d'associations d'usagers qui ont pour mission de faire appliquer la réglementation exigée pour le renouvellement: d'une autorisation.

Les comités ou conseils de gestion conjoints regroupant les représentants de ces associations, à côté d'usagers particulièrement importants, de représentants des organismes chargés de la collecte et de la distribution des déchets et de l'administration sanitaire locale, ont fait la preuve de leur utilité dans de nombreuses circonstances.

Divers services d'aide aux exploitants agricoles peuvent présenter un intérêt sur le plan de la protection de la santé et doivent être pris en compte au stade de la planification. Il s'agit de la fourniture de machines agricoles, de l'octroi de crédits agricoles, de la commercialisation, des soins de santé primaires et de la formation. Souvent, les programmes de formation doivent démarrer avant le début du projet. De même, il faut évaluer les besoins probables en matière de vulgarisation agricole et prendre des mesures pour que celle-ci soit assurée aux agriculteurs une fois le projet lancé.

Législation

La mise en place ou l'encouragement de nouveaux projets en vue de l'utilisation des eaux résiduaires et des excreta en agriculture ou en aquaculture exigent parfois des mesures législatives. Cinq aspects méritent une attention plus particulière:

- création de nouvelles institutions ou attribution de nouveaux pouvoirs à des organismes existants;
- rôle de l'administration locale et nationale dans le secteur en cause et relations entre ces deux niveaux administratifs;
- droits concernant l'accès aux déchets et leur propriété, notamment réglementation publique de leur utilisation;
- régime foncier;
- législation en matière d'agriculture et de santé publique: normes de qualité imposées aux déchets, limitation de la méthode à certaines cultures, méthodes d'épandage, médecine du travail, hygiène alimentaire, etc.

Considérations économiques et financières

L'évaluation économique vise à établir si un projet est valable; la planification financière s'attache au mode de financement des projets retenus. L'amélioration des pratiques existantes exige aussi une certaine planification financière.

Evaluation économique. L'évaluation économique des systèmes d'irrigation au moyen d'eaux résiduaires repose sur leur comparaison avec l'autre solution, c'est-à-dire avec ce qui serait fait en l'absence du système. Dans les coûts des eaux résiduaires, il faut faire entrer le coût du traitement complémentaire éventuellement nécessaire, le coût du transport jusqu'aux champs et le coût de l'épandage sur les

cultures. Mais il est essentiel d'en retrancher le coût du système qui devrait être mis en place pour éliminer les eaux résiduaires si le projet n'était pas mis en œuvre.

L'évaluation économique est plus rudimentaire s'agissant de l'utilisation des excréta et des eaux résiduaires en aquaculture car certains des avantages à escompter sont plus difficiles à chiffrer.

Planification financière. En principe, la distribution des déchets aux agriculteurs donne lieu à la perception d'une taxe dont le montant doit être fixé au stade de la planification. Un agriculteur ne paie les eaux résiduaires destinées à l'irrigation que si leur coût est inférieur au total du coût de la source d'eau de remplacement la moins chère et de la valeur des nutriments apportés. Dans le cas de l'aquaculture et de celui de l'utilisation des excréta, le prix est généralement établi à partir du coût marginal du traitement et du transport des déchets ou de la valeur des nutriments qu'ils contiennent, selon celui des deux qui est le plus faible.

Il n'est pas toujours possible ni souhaitable de couvrir le coût de la protection de la santé par le prélèvement d'une taxe sur l'utilisation des déchets. Les considérations financières qui interviennent à ce sujet sont exposées ci-dessous pour chacune des quatre catégories de mesures de protection.

a) **Traitement.** Le coût du traitement est généralement justifié par le souci de limiter la pollution de l'environnement. Mais le traitement des déchets jusqu'à l'obtention d'une qualité convenable pour leur utilisation en agriculture implique parfois des coûts supplémentaires dont certains, il est vrai, peuvent être couverts par la vente des déchets traités. Si l'on incite les agriculteurs à traiter des gadoues ou des eaux résiduaires, ils peuvent avoir besoin de crédits pour financer les constructions nécessaires.

b) **Limitation à certaines cultures.** Cette limitation peut entraîner une diminution des frais de traitement, mais si des dispositions financières suffisantes ne sont pas prises pour assurer le respect de la réglementation, celle-ci va rester lettre morte.

c) **Épandage.** La préparation des champs permettant aux agriculteurs d'éviter d'autres frais, le coût peut leur être imputé, comme on le fait pour les autres dépenses d'irrigation. L'irrigation localisée consomme moins d'eau et peut donner de meilleurs rendements, de sorte que, dans certaines circonstances, les agriculteurs sont disposés à se rallier à cette nouvelle méthode.

d) **Limitation de l'exposition humaine.** En principe, les vêtements protecteurs sont payés par les ouvriers qui les portent ou par leurs employeurs. Normalement, le coût de la chimiothérapie est à la charge des services de santé.

Surveillance et évaluation

Les mesures de protection sanitaire exigent, pour être durablement efficaces, une surveillance régulière. Il faut prendre des dispositions pour qu'une information en retour soit assurée à ceux qui appliquent les mesures de protection sanitaire et pour imposer l'application de ces mesures quand il y a lieu. Les divers aspects à prendre en considération pour assurer une surveillance et une évaluation régulières sont les suivants:

- **Mise en œuvre des mesures elles-mêmes.** Elle peut être contrôlée au moyen d'enquêtes simples.

- **Qualité des déchets.** Il peut être plus avantageux de surveiller le fonctionnement du système de traitement que de procéder au prélèvement fréquent d'échantillons en vue de leur analyse. Les critères d'Engelberg ne sont pas des normes destinées à la surveillance de la qualité, mais des paramètres applicables, au stade de la planification, à la conception d'un système de traitement. L'absence de moyens de laboratoire qui permettraient des contrôles réguliers de qualité n'est pas une raison suffisante pour exclure l'utilisation des déchets.

- **Qualité des cultures.** La surveillance microbiologique des cultures incombe au ministère de la santé en sa qualité d'instance chargée de faire respecter la réglementation en santé publique.

- **Surveillance des maladies.** Elle doit être axée sur le personnel d'exploitation agricole. Dans n'importe quel système, il faut au moins procéder à des examens coprologiques réguliers sur un échantillon de personnel, à la recherche de parasites intestinaux. Quand la typhoïde est endémique, on peut procéder simultanément à une enquête sérologique.