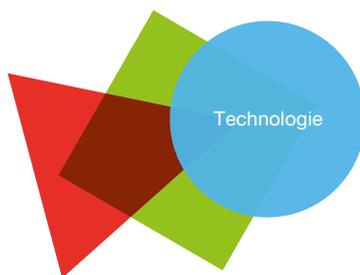


LES ORIENTATIONS POUR LE FUTUR

Linda Strande

18.1 INTRODUCTION

L'approche développée dans cet ouvrage considère la gestion des boues de vidange comme un système d'assainissement. Elle peut être considérée comme la fondation pour la conception et la gestion de systèmes GBV fonctionnels et pérennes. La gestion des boues de vidange est un domaine nouveau en plein développement, qui bénéficie constamment d'améliorations et de nouvelles connaissances. Ces avancées vont continuer à se développer les unes à partir des autres pour une optimisation des solutions et des approches. Chaque chapitre de ce livre a dressé des conclusions importantes et proposé des étapes à suivre sur les plans technologique, organisationnel et de planification, pour mettre en place une gestion des boues de vidange pérenne. On retiendra en particulier les points suivants :



- **Concevoir dans le but de réutiliser ou mettre en dépôt les produits issus du traitement.**
Cette démarche permet de sécuriser l'atteinte des niveaux de traitement adéquats et adaptés, tant pour les effluents que pour les produits issus du traitement. Elle permet d'éviter que les systèmes ne soient ni surdimensionnés (gaspillage de ressources financières) ni sous-dimensionnés (risque pour la santé publique et l'environnement).
- **Concevoir pour la quantité effective et les caractéristiques locales des boues de vidange.**
Cette approche garantit une conception efficace des technologies et le traitement des boues de vidange de l'ensemble de la ville. Néanmoins, les méthodes pour une meilleure quantification et caractérisation des boues de vidange doivent encore être développées.
- **Créer des technologies de stockage sur place, des stations de transfert et des méthodes de vidange.**
Il s'agit d'un lien essentiel pour la chaîne de services. Assurer que les boues de vidange soient dépotées dans les stations de traitement (centralisées ou décentralisées) et donc éviter les dépotages de boues non-traitées dans l'environnement requiert une collecte et un transport qui soient sans risque, efficaces et abordables.

- **Développer une meilleure compréhension des mécanismes de traitement.**

Cela constituera la base pour le développement de nouvelles technologies de traitement des boues de vidange et pour l'adaptation des technologies existantes de traitement des boues et des eaux usées.



- **Intégrer la dimension organisationnelle dès le début de la planification du projet.**

Pour un fonctionnement durable sur le long terme, il est essentiel de prendre en compte les implications en terme de gestion, pour l'exploitation courante comme pour le suivi-évaluation, dans les processus de sélection des technologies et de planification.

- **Mettre en place des cadres juridiques et réglementaires pour la gestion des boues de vidange et introduire des mécanismes incitatifs et de mise en application qui soient financés.**

C'est une nécessité pour garantir la mise en œuvre et l'application effective de la réglementation portant sur la santé publique et l'environnement.

- **Envisager différents schémas financiers.**

Cela aidera à formaliser le secteur et à le rendre financièrement durable. Intégrer la possibilité de primes peut être un moyen de transition vers d'autres modèles d'organisation dans le court terme.



- **Évaluer et comprendre la situation initiale dans un contexte donné.**

Les pratiques d'assainissement sont très hétérogènes, non seulement entre pays et entre villes, mais aussi au sein d'une même ville. La diversité des situations implique des solutions spécifiques à chacune. Une évaluation systématique permettra aux solutions d'être conçues

sur mesure pour répondre aux besoins réels et de construire sur l'existant en prenant en compte les forces et les contraintes propres à chaque contexte.

- **Intégrer les parties prenantes dans la gestion des boues de vidange et comprendre leurs intérêts et leurs influences.**

C'est un point essentiel dans la conception d'un projet GBV : l'analyse et l'implication des parties prenantes sont des activités à mener tout au long du projet. Il s'agit d'un processus continu et itératif qui contribue à construire les consensus, à identifier les besoins, à définir les exigences en termes de renforcement de capacité et à positionner certains groupes traditionnellement négligés. Par-dessus tout, cette démarche permettra aux parties prenantes de faire des choix en connaissance de cause, de bien comprendre les implications de ces choix et d'être prêts à remplir leur rôle et à tenir leurs responsabilités dans la filière GBV.

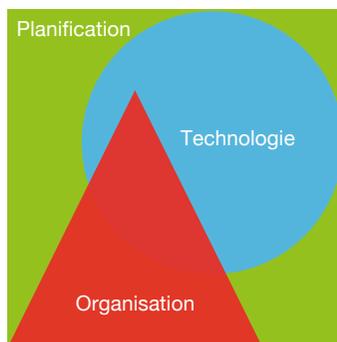
- **Intégrer le processus participatif dans le cycle de projet classique.**

Les coûts supplémentaires engendrés par le processus participatif sont rapidement couverts par les économies réalisées lors de la mise en œuvre et de l'exploitation et par l'évitement de complications identifiées à temps. Le succès du projet est accru par des schémas organisationnels plus efficaces, de meilleures dispositions institutionnelles et l'intégration du secteur privé (« Mémo pour la planification GBV de A à Z », tableau 17.1).

- **Appliquer une approche de planification intégrée à l'échelle de la ville.**

C'est un impératif pour comprendre les facteurs critiques pour la sélection des solutions adaptées au contexte. Les conditions-cadres d'un environnement propice doivent être prises en compte dans leur ensemble. Les schémas organisationnels et financiers doivent être définis et validés en amont des choix des solutions techniques.

La force de l'approche proposée dans ce livre est de réunir les domaines technologique, organisationnel et de planification pour obtenir des solutions durables de gestion des boues de vidange. Le mémo pour la planification GBV de A à Z et le diagramme de sélection de la filière de traitement illustrent cette approche et facilitent la circulation à travers le livre. Ils peuvent être considérés comme une check-list et un outil visuel pour structurer le processus de planification, y intégrer tous les éléments nécessaires et communiquer avec les parties prenantes non-expertes.



La mise en œuvre réussie de chacune des étapes ci-dessus nécessite de bien connaître les trois domaines. Avoir des infrastructures GBV implique de traiter des questions larges, compliquées

et interconnectées. Il est nécessaire de comprendre comment ces domaines s'assemblent, se connectent et s'influencent les uns les autres. Les six chantiers identifiés ci-dessous sont au croisement des domaines technologique, organisationnel et de planification. Du travail est nécessaire dans chacun d'eux pour faire progresser le secteur avec succès :

1. Reconnaître l'importance de la gestion des boues de vidange ;
2. Mettre en place les cadres structurants et les responsabilités ;
3. Améliorer la dissémination des connaissances et le développement des capacités ;
4. Créer des modèles économiques et des modes de tarification durables ;
5. Mettre en œuvre des méthodologies de planification intégrées ;
6. Développer des technologies adaptées.

18.1.1 Reconnaître l'importance de la gestion des boues de vidange

Le développement de systèmes GBV durables nécessite une première étape notable : la reconnaissance de son importance par les parties prenantes dans les trois domaines que sont la technologie, l'organisation et la planification. Cela comprend la prise de responsabilités des gouvernements dans la gestion de la filière, le financement par les bailleurs de fonds de systèmes GBV réalisables et adaptés, et la promotion de la GBV par les grandes organisations intergouvernementales, en parallèle aux mesures pour mettre fin à la défécation en plein air. Si la GBV est reconnue comme étant un besoin réel et une solution justifiée, elle bénéficiera naturellement d'une attention plus soutenue et de ressources plus grandes. Le gouvernement des Philippines en fournit un bon exemple, avec le premier plan stratégique national de GBV approuvé en Asie du Sud-Est en 2012 (Programme national pour la gestion des eaux usées et des boues de vidange - NSSMP) (Robbins *et al.*, 2012). Avec ce programme, le gouvernement a non seulement accepté et reconnu l'importance de la GBV, mais il a aussi reconnu que la GBV et la gestion combinée des eaux usées et des boues de vidange étaient des solutions viables.

Un argument fort en faveur de l'investissement dans la GBV consiste à souligner les coûts économiques liés au déficit de services d'assainissement, en plus du bénéfice pour la santé publique. L'impact du manque d'accès à l'assainissement est en effet estimé à 260 milliards USD par an (Hutton, 2013). Le Programme pour l'eau et l'assainissement (*Water & Sanitation Programme, WSP*) de la Banque mondiale a mis en évidence, au cours de l'Initiative pour les aspects économiques liés à l'assainissement (*Economics of Sanitation Initiative, ESI*, www.wsp.org/content/economic-impacts-sanitation), que l'assainissement avait aussi un impact sur d'autres secteurs économiques importants. Par exemple, le manque à gagner du secteur du tourisme à cause de la faiblesse des services d'assainissement est estimé à 266 millions USD par an (Hutton *et al.*, 2008).

Les Objectifs du millénaire pour le développement (OMD) ont très bien réussi à accroître l'attention internationale sur les besoins en assainissement. L'intégration de la gestion des boues de vidange dans l'agenda international post-2015, à travers les Objectifs du développement durable (ODD), s'appuiera sur cette dynamique pour sensibiliser sur l'importance de « l'assainissement environnemental », ainsi que sur l'importance de prendre en compte ensemble tous les systèmes relatifs à l'eau, à savoir les eaux usées, l'eau potable, l'irrigation, le drainage et la gestion des déchets solides (Eawag, 2005).



Figure 18.1 : Lits de séchage pour le traitement des boues de vidange en cours de construction sur le site de Lubigi à Kampala. Étape 1 du projet de protection du lac Victoria financé par la KFW, l'UE et le gouvernement ougandais (NWSC) (photo : Lars Schoebitz).

18.1.2 Mettre en place les cadres structurants et les responsabilités

Avoir une unique entité municipale spécifiquement responsable de l'assainissement, indépendamment de la technologie utilisée, favorise le sens des responsabilités qui pourrait être sans cela être dilué avec des modèles de gestion plus fragmentés où plusieurs entités sont en charge de parties de la chaîne de services. Cela facilite également l'efficacité dans la planification à l'échelle de la ville. La rationalisation permet d'éliminer les chevauchements de responsabilités entre les parties prenantes et d'assurer leur exhaustivité (Bassan *et al.*, 2013a). Le cas de l'Indonésie est un bon exemple pour la définition des rôles et des responsabilités, à travers le Programme de développement du secteur de l'assainissement (*Sanitation Sector Development Program, ISSDP*) en collaboration avec le Programme pour l'eau et l'assainissement de la Banque Mondiale (*WSP*). Avant la mise en œuvre de ce programme, l'Indonésie présentait un taux de couverture pour le traitement des eaux usées et des boues de vidange parmi les plus bas de l'Asie du Sud-Est. Aujourd'hui, le gouvernement est fermement engagé dans l'assainissement à travers une stratégie nationale. L'Agence nationale de développement de la planification (*National Planning Development Agency, Bappenas*) joue le rôle principal dans la prise de décision, les autorités locales étant en charge de la mise en œuvre de l'assainissement urbain dans leur juridiction (*WSP*, 2011).

Les cadres institutionnels sont nécessaires pour définir les exigences minimales et assurer leur application. Un équilibre doit être trouvé entre des exigences trop élevées - qui empêchent donc toute action en n'étant pas atteignables - et la protection adéquate et adaptée de la santé publique et de l'environnement. Une stratégie possible consiste à mettre en œuvre des améliorations par étapes, économiquement réalistes, et qui posent les bases à de plus amples développements futurs (Parkinson *et al.*, 2014). Des indicateurs de performance sont nécessaires pour évaluer l'efficacité des solutions au niveau de la filière dans sa globalité, et pas seulement au niveau des ménages. À cette fin, le Programme pour l'eau et l'assainissement (*WSP*) a développé des outils

de diagnostic et de décision pour la mise en œuvre de systèmes GBV améliorés à l'échelle des villes (<http://www.worldbank.org/en/topic/sanitation/brief/fecal-sludge-management-tools>).

La valorisation des produits issus du traitement des boues de vidange, élément d'optimisation des revenus des stations de traitement, favorise l'efficacité de l'exploitation des stations. La valorisation comporte néanmoins toujours un certain niveau de risque au niveau des produits et de l'utilisation qui en est faite. Pour pallier cela, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a élaboré un manuel intitulé : *Planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement (Sanitation Safety Plan, SSP)* pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères (OMS, 2016). L'objectif est d'appuyer les autorités en charge dans la réduction des risques pour la santé engendrés par la valorisation, en facilitant l'application des « Recommandations pour l'utilisation des eaux usées, des excreta et des eaux grises dans l'agriculture et l'aquaculture » (*Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture*) (OMS, 2006). Par ailleurs, une initiative de l'Association internationale de l'eau (*International Water Association, IWA*) développe une méthode d'évaluation rapide et participative des risques liés aux systèmes d'assainissement (*Participatory Rapid Sanitation System Risk Assessment, PRSSRA*). Il s'agit d'une évaluation rapide des risques basée sur l'implication des parties prenantes aboutissant à une priorisation des interventions visant à réduire ces risques. Enfin, certains pays sont en train d'établir des recommandations et des procédures de certification pour commencer à structurer et à formaliser le secteur de la valorisation des ressources.

18.1.3 Améliorer la dissémination des connaissances et le développement des capacités

La gestion des boues de vidange étant un domaine relativement nouveau, une grande partie des connaissances existantes restent cantonnées au niveau des praticiens sur le terrain, sans rapport écrit. Les documents de référence accessibles et à des prix abordables manquent. Il est impératif de développer des méthodes pour accroître le niveau d'expertise locale, car de nombreuses défaillances dans la filière GBV sont liées à un manque de capacité institutionnelle, de capacité de gestion, de ressources humaines et de compétences. Les éléments de la chaîne de services ont tous potentiellement besoin d'appui pour le développement des capacités des ressources humaines (Parkinson *et al.*, 2014). Pour répondre à cela, il est nécessaire de développer des outils pédagogiques adaptés pour permettre aux personnes non-techniques d'accéder à l'information (Parkinson *et al.*, 2014). Heureusement, les nouveaux outils de partage de connaissances peuvent aider à combler les lacunes dans la diffusion des nouveaux résultats de la recherche, comme par exemple SuSanA (*Sustainable Sanitation Alliance* - www.susana.org), qui depuis 2007 fournit une plateforme de travail ouverte à un réseau international sur les questions d'assainissement durable ainsi qu'un forum de discussion. Une boîte à outils GBV est aussi en cours de développement (www.fsmttoolbox.com).

Des ressources en ligne supplémentaires sont indiquées au chapitre 1. Une autre stratégie très efficace consiste à intensifier les échanges Sud-Sud entre les employés municipaux et les praticiens pour l'apprentissage et le partage des expériences. Les associations professionnelles de vidange à Kampala, Ouganda, et à Dakar, Sénégal, en sont un bon exemple. Les directeurs de ces associations sont régulièrement invités à présenter et à partager leur expérience lors de conférences et de réunions en Afrique subsaharienne. Un autre exemple de réussite est l'Institut

municipal d'apprentissage (*Municipal Institute of Learning, MILE*) de Durban, Afrique du Sud, qui a été mis en place pour transférer les connaissances et les expériences de Durban vers d'autres villes d'Afrique. Le MILE propose fréquemment des cours et des visites sur le terrain, avec l'aide financière de l'Institut des Nations unies pour la formation et la recherche (*United Nations Institute for Training and Research, UNITAR*) et de la municipalité eThekweni de Durban. Le service eau et assainissement de eThekweni (*eThekweni Water and Sanitation, EWS*) crée des partenariats avec différentes municipalités africaines pour partager des connaissances et apporter des améliorations dans la fourniture des services. La direction de EWS interagit également et partage ses expériences avec les équipes de direction d'autres organismes travaillant sur l'eau et l'assainissement dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, grâce à des financements de la Banque mondiale et de son Programme pour l'eau et l'assainissement (*WSP*).

La valeur du renforcement des capacités et de la recherche appliquée dans le domaine de la gestion des boues de vidange est aujourd'hui largement reconnue. Le nombre de projets de recherche dans le domaine est en forte augmentation (figure 18.2). Par exemple, depuis la création du programme Eau, assainissement et hygiène de la Fondation Bill et Melinda Gates, un grand nombre de projets GBV ont été financés, en particulier dans les zones urbaines pauvres. L'un d'eux, le SaniUP (Stimuler l'innovation locale en matière d'assainissement pour les pauvres en zone urbaine en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud-Est) a deux objectifs principaux : (i) stimuler par la recherche l'innovation locale en matière d'assainissement pour les citoyens pauvres, et (ii) renforcer le secteur de l'assainissement dans les pays en développement à travers l'éducation et la formation. Le projet a mené entre autres à l'élaboration d'un cours de trois semaines sur la gestion des boues de vidange (www.unesco-ihe.org) dans le cursus d'ingénierie sanitaire de l'UNESCO-IHE, l'édition et la publication du présent ouvrage (en cofinancement avec Direction suisse du développement et coopération, DDC), ainsi qu'un cours en ligne sur la GBV disponible sur le site de l'IHE (<https://www.un-ihe.org/online-course-faecal-sludge-management>).

Eawag-Sandec, en partenariat avec l'EPFL, a développé un cours en ligne gratuit MOOC, disponible sur la plateforme Coursera et sur Youtube (www.eawag.ch/mooc), avec sous-titres en français. En 2018 commence un master en assainissement non-connecté à l'égout dispensé par un consortium de leaders du secteur à Delft, aux Pays-Bas (www.un-ihe.org/one-year-master-science-programme-sanitation).



Figure 18.2 : Collègues doctorants réalisant une caractérisation des boues de vidange au laboratoire d'ingénierie sanitaire de l'UNESCO-IHE, dans le cadre d'un projet financé par la Fondation Bill et Melinda Gates (photo : UNESCO-IHE).

18.1.4 Créer des modèles économiques et des modes de tarification durables

De manière générale et en fonction des contextes locaux, le système d'assainissement GBV se montre beaucoup moins coûteux que les systèmes centralisés de type égouts-station (Dodane *et al.*, 2012). Il est néanmoins essentiel pour le bon fonctionnement du système que les flux financiers soient adaptés pour l'ensemble des services de la filière. Les modes de tarification sont souvent inéquitables, puisque les ménages les plus pauvres payent habituellement deux fois pour l'assainissement : une première fois via la redevance d'assainissement incluse dans la facture d'eau et une seconde pour le service de vidange de leur fosse. D'autres modèles économiques que celui basé sur une redevance municipale doivent être pris en compte pour réduire le poids financier des services d'assainissement au niveau des ménages.

S'il est intéressant qu'une même entité soit responsable du cadre global de la gestion des boues de vidange, il n'est pas nécessaire qu'elle soit en charge de toutes les activités de la chaîne de services GBV. L'angle de vue économique permet de concevoir les choses en termes de clients et de propositions de valeur. Les clients pour les services sont les ménages utilisateurs qui souhaitent vidanger et évacuer leurs boues sans préoccupation pour leur destination finale, mais aussi les municipalités ou les services publics en charge de la protection de la santé publique, et enfin les réutilisateurs des produits issus du traitement qui perçoivent la valeur ajoutée de la valorisation. La « coopération-compétition » est un modèle de développement commercial efficace dans le secteur informel, une combinaison de coopération et de concurrence : les petites entreprises nées des besoins existants rivalisent entre elles tout en coopérant sur certains points. Le secteur de la vidange de Bangalore constitue un exemple intéressant : la concurrence entre les entreprises profite aux ménages en maintenant les prix des services de vidange à un niveau bas. Dans le même temps, l'association des vidangeurs a fait évoluer la demande en technologie. Elle a permis d'améliorer les chaînes d'approvisionnement en pièces détachées pour les camions et de développer des ateliers locaux de construction et de réparation des camions de vidange, ce qui réduit considérablement les charges de ces entreprises. Par ailleurs, les opérateurs fournissent des boues aux agriculteurs qui apprécient leur valeur. Ils rivalisent entre eux pour obtenir de l'engrais bon marché, ce qui augmente leurs revenus (Gebauer *et al.*, 2013).

Les partenariats public-privé (PPP) constituent une autre possibilité, source de nouvelles opportunités et de défis d'urbanisme pour les municipalités à travers la gestion de conflits potentiels entre les intérêts privés et publics. Une stratégie possible consiste à fixer des tarifs qui encouragent les producteurs à vendre de l'électricité issue du traitement des déchets au réseau, garantissant un prix et un marché permettant de financer les investissements pour transformer les boues en électricité et mettre au point la technologie. Les municipalités pourraient également conclure des accords pluriannuels avec les partenaires du secteur privé pour leur « garantir un approvisionnement en matières premières », afin d'assurer la faisabilité financière d'installations de production/traitement à grande échelle. Les entités publiques pourraient aussi subventionner les entreprises de vidange afin de faciliter la rentabilité de leur prestation, tout en définissant et en imposant un prix de vidange maximum pour les ménages.

Un PPP raisonnablement efficace fonctionne à Kampala, Ouganda, entre la Compagnie nationale d'eau et d'assainissement (*National Water and Sewerage Corporation, NWSC*), l'autorité municipale (*Kampala Capital City Authority, KCCA*), l'autorité en charge de l'environnement (*National Environment Management Authority, NEMA*) et l'association des vidangeurs (*Private Emptier As-*

sociation, PEA). Cette dernière, enregistrée en 1999, est en charge de la collecte et du transport des boues de vidange à Kampala, ce qui constitue le maillon essentiel de la filière (même si un accord officiel de PPP n'a pas encore été signé).

Les Entrepreneurs du déchet (*Waste Entreprisers*, aujourd'hui *Pivot*) constituent un exemple de la recherche et du développement dans le domaine. Ils utilisent la valorisation pour réinventer l'économie du traitement et de la mise en dépôt des boues. Plutôt que de penser la réutilisation comme un complément à une station de traitement coûteuse, la société construit des « usines » qui utiliseront les boues comme matière première pour en faire un combustible solide à vendre aux industries. En rationalisant les coûts de traitement et en concevant son système pour maximiser la récupération d'énergie, *Waste Entreprisers* a créé un modèle économique rentable qui vise à transformer les boues de vidange en intrant pour la production d'énergie renouvelable. Après avoir construit leur première usine à vocation commerciale au Kenya, ils opèrent actuellement à Kigali, au Rwanda (<http://pivotworks.co/>).



Figure 18.3 : Mise en œuvre de la méthode de caractérisation et de quantification des boues de vidange FAQ (Faecal Sludge Quantification and Characterisation) à Kampala, Ouganda (photo : Lars Schoebitz).

L'Office national de l'assainissement du Sénégal (ONAS) à Dakar gère un centre d'appels auquel tous les ménages utilisateurs peuvent s'adresser pour commander un service de vidange. Le centre d'appels émet alors un avis auprès des entreprises de vidange pour les mettre en concurrence sur le prix, réduisant ainsi le coût pour le ménage utilisateur. Cet essai pilote prévoit à l'avenir d'intégrer un suivi GPS des camions et des avis par SMS. Le projet RRR (*Resource, Recovery and Reuse*) évalue la faisabilité de modèles économiques reposant sur les déchets, à grande échelle, avec valorisation de l'eau, des nutriments et de l'énergie. Des études de faisabilité sont en cours d'évaluation à Lima, Pérou, à Hanoi, Vietnam, à Bangalore, Inde, et à Kampala,

Ouganda (www.sandec.ch/fsm-tools). Un autre exemple : l'ONG Sanergy basée dans un quartier informel de Nairobi et qui gère plusieurs centaines de toilettes sèches. Son modèle économique comprend la fabrication et la vente de toilettes à la communauté locale, un système de franchise pour l'exploitation, la collecte d'une redevance auprès des utilisateurs des toilettes, la vidange et le nettoyage quotidien des toilettes, le transport de l'urine et des matières fécales vers un site de traitement et la valorisation des produits. Sanergy recherche les meilleures solutions de valorisation, dont le biogaz, le compost et les mouches soldats noires (<http://saner.gy/>).

18.1.5 Mettre en œuvre des méthodologies de planification intégrées

La mise en œuvre d'approches de planification intégrées pour les systèmes GBV à l'échelle d'une ville est une nécessité pour relever avec succès le défi de l'assainissement urbain. L'hétérogénéité des zones urbaines dans les pays à revenu faible ou intermédiaire peut cependant constituer une difficulté, avec de forts taux de croissance et des caractéristiques très variables en termes de revenus, de dispositifs d'assainissement utilisés et de statut formels ou informels, à quoi s'ajoute des conditions-cadres déficientes (Hawkins *et al.*, 201 ; Reymond *et al.*, 2016). Selon Parkinson *et al.* (2014), les méthodologies de planification doivent continuer à être optimisées afin de créer :

- Une vision partagée par les différentes parties prenantes sur la nécessité d'améliorations sanitaires ;
- Une priorisation claire et réaliste de l'amélioration dans l'ensemble de la ville ;
- Une stratégie complète de développement de l'assainissement pour toute la ville, qui corresponde aux demandes des utilisateurs et aux différentes caractéristiques physiques et socio-économiques de la ville ;
- Des conditions-cadres propices en termes de gouvernance, de finances, de renforcement des capacités, de technologies et d'intégration.

Connaître la production annuelle de boues et leurs caractéristiques à l'échelle de la ville est nécessaire pour la conception des technologies de traitement adéquates et adaptées. Il n'existe pourtant pas aujourd'hui de méthodes fiables pour y parvenir. La caractérisation et la quantification des boues sont difficiles en raison de la vaste gamme de dispositifs d'assainissement existants au niveau des ménages (notamment les latrines améliorées ventilées, les fosses non-étanches et les fosses septiques), en plus des toilettes publiques, des locaux commerciaux, des restaurants et des écoles. Il n'existe généralement pas non plus d'informations fiables sur le nombre ou les types de dispositifs en place. Les caractéristiques et la production de boues sont très variables et ne sont pas bien appréhendées. L'échantillonnage et l'analyse à l'échelle de la ville nécessitent beaucoup de temps et de ressources.

Pour remédier à cela, des méthodes pour la caractérisation et la quantification des boues telles que la méthode FAQ (*Faecal Sludge Quantification and Characterisation*) sont en cours de développement. Son objectif est de fournir une approche logique et financièrement abordable à l'échelle d'une ville. La méthode FAQ est basée sur l'hypothèse que les données démographiques peuvent être un indicateur des caractéristiques des boues de vidange (par exemple : le niveau de revenu, le statut juridique du logement, la densité de population et l'âge du bâtiment), qui sont aussi influencées par des facteurs physiques (par exemple : la nappe phréatique, le type de sol et l'altitude). Le revenu, par exemple, pourrait être un bon indicateur car il affecte à la fois

le régime alimentaire et la qualité des constructions. Ces données peuvent ensuite être analysées spatialement avec un SIG pour élaborer un plan d'échantillonnage représentatif basé sur les ressources disponibles. La méthode FAQ a été testée sur le terrain à Kampala, Ouganda, et à Hanoi, Vietnam (figure 18.3 ; www.sandec.ch/fsm_tools).

Un autre exemple de planification concerne l'assainissement d'urgence. L'eSOS® (*emergency Sanitation Operation System*) est une activité financée par la Fondation Bill et Melinda Gates menée par l'UNESCO-IHE (Brdjanovic *et al.*, 2013). L'eSOS® porte sur l'ensemble de la chaîne de l'assainissement d'urgence dans les situations où une aide extérieure est nécessaire pour répondre aux besoins en assainissement (figure 18.4).



Figure 18.4 : Exemple de configuration pour une application d'eSOS® (photo : Peter Greste, Al Jazeera, illustration de toilettes intelligentes eSOS® : FLEX/the INNOVATIONLAB).

Au centre de toute action en situation d'urgence se trouvent l'intégration, le partage, la communication et la collaboration. Les technologies de l'information et de la communication sont très intéressantes pour répondre à ces questions fondamentales et les améliorer à chaque étape de la chaîne de services. À l'avenir, eSOS® sera également transformable pour (i) la gestion de l'assainissement dans des conditions difficiles récurrentes au sein des zones urbaines pauvres comme les quartiers informels, (ii) l'accès à l'assainissement pour le public lors de grands événements en plein air tels que des concerts, des foires, etc. et (iii) la gestion des déchets solides. L'objectif principal d'eSOS® est de fournir un service d'assainissement efficace et réel pendant et après les situations d'urgence, en minimisant les risques pour la santé publique des personnes les plus vulnérables. Le second objectif a trait aux conditions de durabilité des solutions, en particulier pour les périodes post-urgence, et vise à réduire les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance des dispositifs et des services d'assainissement en situation d'urgence.

Les méthodologies d'évaluation du niveau de centralisation ou de décentralisation adapté constituent un autre outil de planification important pour la mise en œuvre du traitement des boues de vidange à un niveau décentralisé ou semi-centralisé. Les niveaux de décentralisation élevés engendrent un coût moindre pour la filière lorsque l'on prend en compte les coûts associés au transport des boues et la réduction de la distribution des matières réutilisables. Par contre, l'accroissement des coûts de gestion et des coûts d'investissement peut entraîner une augmentation du coût global de la filière. La corrélation entre le niveau de décentralisation et le coût de la filière n'est pas linéaire, et généralement un niveau de rentabilité optimal peut être trouvé (Gaulke, 2006). Tous ces facteurs dépendent du contexte et des spécificités locales de chaque ville. Une autre manière de répondre à cela consiste à inventer des dispositifs capables de supprimer/immobiliser les agents pathogènes sur place, à rendre la collecte et le transport plus sûrs et la valorisation ou la mise en dépôt moins compliquée. Ceci constitue l'un des principaux objectifs de l'initiative « Réinventons les toilettes » (*Reinvent the Toilet Challenge, RTTC*) de la Fondation Bill et Melinda Gates (voir ci-dessous).

18.1.6 Développer des technologies adaptées

Le besoin en nouvelles technologies adaptées pour la GBV reste grand, même si le bon fonctionnement de la filière GBV dans sa globalité ne repose pas uniquement sur l'aspect technologique et doit être appréhendé à partir du contexte local. Les technologies sont en général issues de recherches pionnières, les programmes de recherche étant historiquement menés par des pays dans lesquels l'assainissement de type égouts-station est la norme. Cela souligne le besoin de développer des solutions au sein des pays où elles trouvent leur pertinence. Par ailleurs, pour être prises en compte localement et politiquement, il est bien que les chercheurs locaux travaillent main dans la main avec les autorités locales en charge de la gestion des boues de vidange (Bassan et Strande, 2011).

Le besoin en nouvelles solutions techniques étant aujourd'hui pressant, la recherche et la mise en œuvre doivent continuer à être réalisées en parallèle, afin d'aboutir à des solutions grandeur réelle aussi rapidement que possible. Le transfert d'expérience des lits de séchage (plantés et non-plantés) utilisés pour les boues d'épuration vers une utilisation pour les boues de vidange en constitue un bon exemple, avec une optimisation technologique qui se poursuit en situation réelle (Dodane *et al.*, 2011). De plus, les technologies doivent être choisies non seulement en fonction des caractéristiques spécifiques des boues, mais aussi selon la demande locale en réutilisation des produits issus du traitement ou selon le potentiel de cotraitement (Diener *et al.*, 2014). Voici quelques exemples d'axes de recherches en cours actuellement :

- Caractérisation des boues de vidange ;
- Collecte et transport ;
- Technologies de traitement semi-centralisées ;
- Dispositifs d'assainissement au niveau des ménages (à la parcelle) ;
- Valorisation.

18.2 CARACTÉRISATION DES BOUES DE VIDANGE

Comme expliqué au chapitre 2, les boues de vidange présentent des caractéristiques très variables qui restent mal appréhendées. Une conception optimale des stations de traitement nécessite pourtant de bien comprendre cette variabilité et les facteurs qui l'influencent (Bassan *et al.*, 2013b). Le projet PURR (www.sandec.ch) est mené dans le but de comprendre l'influence, sur les caractéristiques des boues, des facteurs liés aux dispositifs d'assainissement au niveau des ménages et aux méthodes de vidange et de transport. Ce projet intègre une étude de caractérisation des boues et la mise au point de recettes de fabrication de boues de vidange synthétiques pour évaluer en laboratoire les facteurs influençant leur dégradation biologique. D'autres chercheurs ont aussi développé des recettes de boues synthétiques pour évaluer les propriétés physiques influençant la vidange mécanique (Radford et Fenner, 2013).

La variabilité des boues constatée aujourd'hui s'explique aussi par l'absence de méthodes de mesure standardisées. Des méthodes ont été adaptées de l'analyse des eaux usées ou des sols, mais leur précision pour les mesures de boues de vidange reste à évaluer. Sur cette base, des méthodes standard pourront être adaptées afin de légitimer la comparaison des résultats entre différents projets. Le groupe de recherche sur la pollution (*Pollution Research Group, PRG*) de l'Université de KwaZulu Natal (UKZN) a approfondi les connaissances sur cette thématique pour aboutir à des méthodologies opérationnelles standardisées pour les analyses chimiques des boues (par exemple : pH, potassium, ammoniac) et leurs propriétés mécaniques (par exemple : conductivité thermique, analyse calorimétrique). Ce type de recherche fondamentale en laboratoire est nécessaire pour développer une compréhension précise des caractéristiques des boues de vidange et fournir des procédures permettant des projets de recherche au niveau international qui sont standardisés et peuvent être comparés entre eux. Un livre sur les méthodes d'analyse des boues de vidange est prévu pour 2018 (Velkushanova *et al.*, à paraître).

18.3 COLLECTE ET TRANSPORT

Les camions de vidange sont aujourd'hui la meilleure technologie disponible pour la vidange des boues. Ils sont néanmoins généralement coûteux et ne peuvent pas desservir les ménages situés dans des rues étroites et des sentiers. Le projet Omni-Ingester financé par la Fondation Bill et Melinda Gates a pour objectif le développement d'équipements plus habiles, pour des vidanges plus rapides, y compris pour des boues denses (> 40 % de matières sèches) et qui permettent la déshydratation des boues sur place. L'eau est lourde et donc coûteuse à transporter. La déshydratation des boues et le traitement de l'effluent sur place permettraient à l'eau traitée d'être soit directement récupérée, soit renvoyée en toute sécurité dans les canaux de drainage. Cela réduirait considérablement les coûts de transport, permettrait d'effectuer plus de vidanges avant de se rendre à la station de traitement et réduirait le temps passé pour le transport. Divers prototypes sont en cours de mise au point par le secteur privé.

18.4 TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT SEMI-CENTRALISÉES

Le projet PURR s'intéresse à l'intérêt potentiel au Vietnam de la cogestion des boues de vidange avec les boues d'épuration. Le potentiel de production de biogaz à partir de la codigestion des boues d'épuration et des boues de vidange est en cours d'évaluation, ainsi que la faisabilité de cogestion avec d'autres filières de déchets liquides à hautes concentrations de matières orga-

niques. Le projet DAR (Déchet À Ressources) à Dakar, Sénégal, s'intéresse aux technologies de séchage via l'optimisation des technologies de lits plantés et non-plantés (figure 18.5). Les lits de séchage présentent des coûts d'investissement et d'exploitation relativement faibles, mais demandent une surface importante. Augmenter leur efficacité permettrait de diminuer l'emprise requise et ainsi les rendre plus applicables en zones urbaines à faibles disponibilités foncières. Les recherches en cours portent sur l'utilisation de matériaux alternatifs (par exemple le verre concassé), les possibilités de mélange et l'utilisation de serres pour augmenter les taux de séchage. La recherche sur les lits de séchage plantés a pour objectif d'identifier de nouvelles espèces végétales susceptibles d'augmenter les performances du traitement et le potentiel de valorisation par production et vente de fourrage (www.sandec.ch/fsm_tools).

Janicki Industries développe une technologie de type moteur à vapeur pour le traitement des déchets à l'échelle communautaire. Le principe est un moteur thermique de 150 kW alimenté en boues de vidange pour produire de l'électricité. La chaleur générée par la combustion dans un lit de sable fluidisé permet de produire de la vapeur à haute pression pour alimenter un moteur à vapeur à piston, couplé à un générateur électrique. La chaleur produite par le moteur est également utilisée pour sécher les boues entrantes. Le concept de ce procédé de traitement est basé sur celui de la centrale électrique, dont les éléments de base ont été soigneusement transformés pour les rendre peu coûteux pour de petites unités produites en masse.



Figure 18.5 : Recherche sur les lits de séchage : Dispositif de mélange pour lits de séchage non-plantés à la station d'épuration de Bugolobi à Kampala, Ouganda ; Évaluation du potentiel de certaines espèces végétales à être utilisées dans des lits plantés à Dakar, Sénégal ; Pilotes de lits plantés pour le traitement du percolat de lits de séchage à Yaoundé, Cameroun (photos : Linda Strande).

18.5 DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT AU NIVEAU DES MÉNAGES

Atteindre des niveaux de traitement élevés avec des dispositifs d'assainissement à la parcelle est un défi difficile, compte tenu de facteurs comme le déficit en gestion technique, le besoin en approvisionnement énergétique stable et les coûts élevés. L'initiative « Réinventons les toilettes » (*Reinvent the Toilet Challenge, RTTC*) comprend plusieurs projets de recherche répondant à ce défi. La première vague de technologies a été présentée à la foire des toilettes à Seattle en 2012 et la seconde à Delhi en mars 2014.

Parmi les technologies présentées se trouvent la carbonisation hydrothermique, une technologie à micro-ondes, l'oxydation supercritique, la pyrolyse et des processus électrochimiques. Le *Research Triangle Institute (RTI)* travaille sur la mise au point d'une technologie de toilettes intégrées qui séparera les matières solides et liquides, séchera et brûlera les matières solides via la combinaison d'énergies mécanique, solaire et thermique (principalement par gazéification descendante), désinfectera les matières liquides et convertira l'énergie résultant de la combustion en électricité emmagasinée (www.rti.org). Le *California Institute of Technology (Caltech)* met au point un système complet de toilettes traitant les déchets humains. Alimenté de manière photovoltaïque, un réacteur électrochimique autonome générera de l'hydrogène (énergie) et de l'azote (engrais) comme produits issus du traitement. Le processus de traitement est une oxydation à plusieurs étapes des déchets organiques et des bactéries présentes dans les excréta. Le système de traitement est entièrement intégré. Il comprend la désinfection des déchets sur place, le traitement des déchets solides résiduels, l'extraction de sous-produits, la production d'hydrogène en tant que sous-produit du traitement des déchets, un système d'emmagasinement de l'énergie solaire sur batterie, des panneaux solaires et un élément de microfiltration pour le traitement final de l'eau avant réutilisation et recyclage.

L'université de Loughborough développe un système comprenant un réservoir d'équilibrage, des filtres, un réacteur à pression à haute température et un séparateur de chlorure de sodium par évaporation. Le système fonctionne en trois étapes : séparation solides-liquides, puis traitement auto-thermique des solides qui fournira de la chaleur pour la séparation de l'eau et des sels. La partie principale du traitement des solides et l'évaporateur seront regroupés dans un même dispositif en tant que modules assemblables.



Figure 18.6 : Le four pilote du projet FaME (Faecal Management Enterprises) pour la cocombustion des boues de vidange destinée à la production de briques à Kampala, Ouganda (photo : Pitman Ian Tushememizwe).

18.6 VALORISATION

La recherche sur cette thématique comprend le projet FaME (*Faecal Management Enterprises*), qui vise à identifier les marchés de grande taille pour la valorisation, dans l'objectif de procurer des ressources financières significatives et fiables pour la réutilisation (figure 18.6). Le projet identifie des méthodes innovantes de valorisation. Il vise aussi au passage à l'échelle de l'utilisation des boues séchées comme combustible. Les résultats du projet de recherche FaME montrent le potentiel technique et financier prometteur des boues de vidange et comblent les lacunes pour leur utilisation comme combustible industriel à grande échelle, notamment en ce qui concerne leur pouvoir calorifique (Murray Muspratt *et al.*, 2014), la demande existante (Diener *et al.*, 2014), la viabilité des flux financiers pour la collecte et le transport des boues, et enfin l'optimisation des technologies de séchage (www.sandec.ch/fsm_tools).

18.7 REMARQUES FINALES

La créativité est une chose essentielle pour continuer à développer des solutions transférables et applicables au niveau mondial pour les 2,7 milliards de personnes actuellement desservies par des dispositifs d'assainissement à la parcelle et les milliards supplémentaires qui s'y ajouteront dans les décennies à venir. Elle doit porter sur les trois aspects que sont la technologie, l'organisation des filières et la planification. Garder un esprit ouvert sera la clé pour développer des solutions innovantes et optimales. Il faut apprendre les leçons du passé, sans toutefois limiter les possibilités futures par une évaluation biaisée de ce qui a ou n'a pas fonctionné dans d'autres situations. Comme l'a souligné ce chapitre, de nombreuses recherches innovantes sont actuellement menées au niveau laboratoire comme au niveau pilote et à échelle réelle.

Les informations disponibles sont de plus en plus nombreuses, qu'elles soient directement utilisables pour la mise en œuvre des filières ou bien encore au stade de la recherche. Les récents efforts déployés dans la recherche et le renforcement des capacités aboutiront sans aucun doute à des innovations concernant tous les aspects de la filière GBV et engendreront une nouvelle génération de scientifiques et d'ingénieurs, qui seront le moteur du changement vers des filières GBV intégrées. Il est certain que nous vivons aujourd'hui une période passionnante et prometteuse de grandes avancées dans le domaine de la gestion des boues de vidange, que ce soit dans la recherche, l'éducation ou la mise en pratique. Le domaine GBV continuera d'avancer et l'on peut espérer une prochaine édition de ce livre avec plus d'exemples de projets réussis et de filières GBV complètes conçues et mises en place sur la base des nouvelles expériences acquises.

18.8 BIBLIOGRAPHIE

- Bassan M., Strande L. (2011). *Capacity Strengthening in Sanitation: Benefits of a Long-term Collaboration with a Utility and Research Institute*. Refereed paper presented at 35th WEDC International Conference, Loughborough, UK.
- Bassan M., Mbégué M., Tchonda T., Zabsonré F., Strande L. (2013a). *Integrated Faecal Sludge Management Scheme for the Cities of Burkina Faso*. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 3 (2), p. 216-221.
- Bassan M., Tchonda T., Yiougo L., Zoellig H., Mahamane I., Mbégué M., Strande L. (2013b). *Characterization of Faecal Sludge During Dry and Rainy Seasons in Ouagadougou, Burkina Faso*. Refereed paper presented at 36th WEDC International Conference, Nakuru, Kenya.

-
- Brdjanovic D., Zakaria F., Mawioo P.M., Thye Y.P., Garcia H.A., Hooijmans C.M., Setiadi T. (2013). eSOS® – *Innovative Emergency Sanitation Concept*. In Proceedings: 3rd IWA Development Congress and Exhibition, 14-17 October 2013, Nairobi, Kenya.
- Diener S., Semiyaga S., Niwagaba C., Muspratt A., Gning J.B., Mbéguéré M., Ennin J.E., Zurbrugg C., Strande L. (2014). *A Value Proposition: Resource Recovery From Faecal Sludge – Can It Be the Driver for Improved Sanitation?* Resources Conservation & Recycling 88, p. 32-38.
- Dodane P.-H., Mbéguéré M., Kengne I.M., Strande L. (2011). *Planted Drying Beds for Faecal Sludge Treatment: Lessons Learned Through Scaling Up in Dakar, Senegal*. SANDEC News 12, p. 14-15.
- Dodane P.-H., Mbéguéré M., Ousmane S., Strande L. (2012). *Capital and Operating Costs of Full-Scale Faecal Sludge Management and Wastewater Treatment Systems in Dakar, Senegal*. Environmental Science & Technology 46, p. 3705-3711.
- Eawag (2005). *Household-Centred Environmental Sanitation: Implementing the Bellagio Principles in Urban Environmental Sanitation*. Published by Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.
- Gebauer H., Larsen T., Lüthi C., Messmer U., Schöbitz L., Strande L. (2013). *Business Model Innovations for Transformative Services: Doing Well Through Doing Good?* Presentation at QUIS 13 Conference, June 10-13, Karlstad University, Sweden.
- Gaulke L.S. (2006). *Johkasou: On-site Wastewater Treatment and Reuses in Japan*. Proceedings of the Institute of Civil Engineers - Water Management, 159 (2), p. 103-109.
- Hawkins P., Blackett I., Heymans C. (2013). *Poor-inclusive Urban Sanitation: An Overview*. Published by The World Bank.
- Hutton G., Rodriguez UE, Napitupulu L., Thang P., Kov P. (2008). *Economic Impacts of Sanitation in Southeast Asia*. World Bank, WSP. 144 pages. Also in Summary form for policy makers (23 pages).
- Hutton G. (2013). *Global Costs and Benefits of Reaching Universal Coverage of Sanitation and Drinking-water Supply*. Journal of Water and Health 11 (1), p. 1-12.
- Murray Muspratt A., Nakato T., Niwagaba C., Dione H., Baawuah N., Kang J., Stupin L., Regulinski J., Mbéguéré M., Strande L. (2014). *Fuel Potential of Faecal Sludge: Calorific Value Results from Uganda, Ghana and Senegal*. Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development, 4 (2), p. 223-230.
- OMS (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater; Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.
- OMS (2016). *Planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement. Manuel pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse. ISBN 9789242549249. Disponible sur www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/fr/
- Parkinson J., Lüthi C., Walther D. (2014). *Sanitation21 - A Planning Framework for Improving City-wide Sanitation Services*. IWA, Eawag-Sandec, GIZ.
- Radford J., Fenner R. (2013). *Characterisation and Fluidisation of Synthetic Pit Latrine Sludge*. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 3 (3), p. 375-382.
- Reymond P., Renggli S., Lüthi C. (2016). *Towards Sustainable Sanitation in an Urbanising World*. In Ergen M. (ed): Sustainable Urbanization. InTech Publishing.
- Robbins D., Strande L., Doczi J. (2012). *Opportunities in FS Management for Cities in Developing Countries: Experiences from the Philippines*. Water 21 (14.6), p. 22-25.
- Velkushanova K., Strande L., Ronteltap M., Koottatop T., Brdanovic D., Buckley C. (Eds). *Methods for Faecal Sludge Analyses*. A forthcoming publication by IWA.
- Water and Sanitation Program - WSP (2011). *Lessons in Urban Sanitation Development: Indonesia Sanitation Sector Development Program 2006-2010*. Water and Sanitation Program: field note. Washington, DC: World Bank.

