

CHAPITRE 8C

Technologies de traitement des eaux usées et des boues de vidange

Marion Santi, Julien Gabert



OBJECTIFS DU CHAPITRE

- Connaître les grands principes du traitement des eaux usées et des boues de vidange pour réduire la pollution physico-chimique et bactériologique.
- Avoir des notions de caractérisation physico-chimique des eaux usées et des boues de vidange.
- Connaître les différentes catégories de traitement.
- Dresser la liste des technologies de traitement disponibles.

I. OBJECTIFS ET PRINCIPES DU TRAITEMENT

Le premier objectif d'une station de traitement est de réduire la pollution sanitaire et environnementale engendrée par les eaux usées ou les boues de vidange.

Cette pollution se décline en trois composantes¹.

- **Pollution physique et particulaire** : les macro-déchets (déchets solides contenus dans les eaux usées), les sables, les graisses et les matières en suspension (MES) créent un risque de colmatage des milieux naturels et de mortalité pour les animaux qui les ingèrent.
- **Pollution physico-chimique** : chargées en éléments toxiques pour l'environnement et les populations, les eaux usées et boues de vidange génèrent des risques de toxicité aiguë ou sur le long terme. Ces éléments peuvent aussi asphyxier des milieux naturels ou provoquer leur eutrophie (développement excessif de phytoplanctons, algues et végétaux aboutissant à un déséquilibre de l'écosystème).
- **Pollution biologique** : les eaux usées et boues de vidange sont chargées en agents pathogènes (bactéries, virus et parasites) dangereux pour la santé humaine.



Déchets solides présents dans les eaux usées.

L'analyse physico-chimique de ces composantes est détaillée dans le paragraphe II. La nature de la pollution des eaux usées varie significativement en fonction de la situation socio-économique des usagers, de leurs pratiques et usages en termes d'accès à l'eau, de l'existence d'activités industrielles et commerciales et, enfin, des caractéristiques environnementales et climatiques.

Une station de traitement devra réduire ces trois types de pollutions grâce aux processus décrits dans la suite de ce chapitre.

Le traitement s'effectue de manière physique (décantation par exemple), physico-chimique (réaction d'oxydation par exemple) et biologique (désinfection par exemple).

Le second objectif du traitement des eaux usées et des boues de vidange est de valoriser, par leur réutilisation, les produits qui en sont issus (biogaz, compost, etc.) dans l'optique de limiter, en diminuant la quantité de déchets finaux, les effets sur l'environnement².

¹ SAVARY P., 2011.

² Attention : dans la plupart des cas, cette valorisation, qui est souhaitable d'un point de vue environnemental, nécessite des compétences supplémentaires et augmente les coûts. Elle n'est donc pas une solution de financement « miracle » pour la filière d'assainissement mais peut générer un co-financement partiel du traitement.

II. CARACTÉRISATION DES EAUX USÉES ET DES BOUES DE VIDANGE

Avant de définir, de concevoir ou de suivre un système de traitement, il faut connaître le type de pollution à traiter en analysant les eaux usées et les boues de vidange afin de les caractériser.

1. Objectif des analyses

L'analyse des eaux usées et des boues de vidange peut être réalisée pour plusieurs raisons :

- caractériser les intrants pour le dimensionnement d'une station de traitement ;
- gérer et suivre le fonctionnement de la station par l'analyse des intrants ;
- vérifier le niveau de traitement en sortie de station par l'analyse des effluents (ponctuellement ou sur le long terme).

La périodicité des analyses de suivi varie en fonction des exigences réglementaires locales et de la taille de la station de traitement. En France, ces analyses sont quotidiennes pour les stations d'une taille supérieures à 10 000 EH (Équivalent Habitant³) ; à Saint-Louis, au Sénégal, elles sont réalisées trimestriellement par l'Office national d'assainissement, pour une station d'une capacité de 20 000 EH.

Afin d'effectuer ces analyses, il faut prévoir un budget spécifique, que ce soit lors du dimensionnement d'une station ou pour son fonctionnement (suivi).

2. Paramètres d'analyse et leurs intérêts

Les intrants d'une station de traitement sont composés d'un mélange d'eaux usées et de boues en proportion variable selon le mode d'évacuation en amont de la station. Ainsi, les intrants seront essentiellement des boues si le site est approvisionné par des camions de vidange et, inversement, il s'agira d'eaux usées dans le cas d'un réseau d'égouts.

Il existe déjà une littérature abondante sur les caractéristiques des eaux usées en sortie de réseau collectif avant traitement, et une littérature semblable se développe pour les boues de vidange. Des données chiffrées issues de la littérature sont présentées dans la **fiche n° 21**, dans laquelle se trouvent des références bibliographiques précises.

Par ailleurs, les caractéristiques des intrants varient en fonction de leur provenance (domestique ou industrielle).

³ Unité de mesure fondée sur la pollution émise par une personne par jour. Cette unité permet d'évaluer la capacité d'une station de traitement. 1 EH = 60 g de DBO5/jour.

Le tableau n° 1 présente les paramètres pouvant être analysés pour caractériser les eaux usées et les boues de vidange. Il est inutile de réaliser systématiquement toutes ces analyses car les paramètres à analyser dépendent du type de technologie de traitement⁴ ou encore de la réglementation nationale, comme le montre l'exemple des biodigesteurs à Madagascar p. 518.

TABLEAU N° 1

Paramètres d'analyse des eaux usées et boues de vidange

Paramètres	Description	Intérêts
Siccité	Pourcentage de matière solide totale. Elle est parfois donnée par son opposé, le taux d'humidité . La siccité peut être convertie en concentration de matière sèche (MS) en la multipliant par la densité.	La siccité permet d'évaluer les quantités de solides à traiter. Il s'agit d'un paramètre de dimensionnement.
Matière volatile	Pourcentage de matière organique solide, le plus souvent exprimé en pourcentage de la siccité.	La matière volatile informe sur le potentiel de dégradation de la matière organique. Plus les boues sont digérées, plus le taux de matière volatile est bas.
DB05	Demande biochimique en oxygène à cinq jours : quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques (biodégradables) par voie biologique en cinq jours.	La demande biochimique en oxygène permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées. La demande chimique en oxygène renseigne sur la charge polluante chimique des eaux usées.
DCO	Demande chimique en oxygène : consommation d'oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales contenues dans une eau.	Afin de ne pas asphyxier le milieu naturel, les rejets doivent être en dessous des seuils maximums de DB05 et/ou de DCO.
pH	Mesure l'acidité.	Généralement mesuré entre 6 et 7 en entrée de station. Des variations de pH peuvent indiquer des dysfonctionnements du traitement.

⁴ Pour la conception et le dimensionnement de stations de traitement, des ouvrages tels que SASSE L., 1998 et STRANDE L., 2014 (référéncés dans le tableau n° 6 p. 532) renseignent sur les analyses à réaliser.

Paramètres	Description	Intérêts
Azote total	Quantités d'azote (N) sous toutes ses formes : azote réduit ou Kjeldahl (N-NH ₄ ⁺ et N-organique) et azote oxydé (N-NO ₂ et N-NO ₃). Le plus souvent, seul l'azote Kjeldahl est mesuré car l'azote oxydé est proche de zéro en sortie de traitement.	L'azote et le phosphate sont des nutriments utiles pour la fertilisation. Ils contribuent toutefois à l'eutrophie (ou asphyxie) du milieu naturel lorsqu'ils sont rejetés en trop grandes quantités. On cherchera à les éliminer dans les eaux traitées et éventuellement à les récupérer pour réutilisation. L'azote est par ailleurs un composant essentiel des bactéries anaérobies (utilisées dans certains types de traitement). Dans ce cas, il doit être mesuré afin d'assurer un traitement optimal.
Phosphate (PO₃-)	Quantité d'ions phosphate.	
Ammonium (N-NH₄)	Quantité d'ions ammonium.	En cas de chute du pH en dessous de 6, les ions ammonium deviennent des ions ammoniac (N-NH ₃), qui sont des inhibiteurs des réactions anaérobies en grande concentration (> 500 mg/l) ⁵ .
Acides gras volatiles	Acides gras à chaîne carbonée courte.	Les acides gras volatiles sont des inhibiteurs des réactions anaérobies. Ils sont également le produit des réactions anaérobies.
Métaux lourds	Aussi appelés « éléments traces métalliques » (ETM).	Les métaux lourds sont des polluants présents dans certaines boues. Les boues contenant des métaux lourds ne peuvent pas être utilisées comme fertilisant afin de ne pas introduire ceux-ci dans la chaîne alimentaire.
Coliformes totaux	Bactéries vivant dans les intestins d'animaux à sang chaud (dont l'homme).	Ce sont des marqueurs de l'hygiène des eaux : leur présence est le signe d'une pollution fécale et donc d'un risque de transmission de maladies.
Coliformes fécaux	Sous-groupes des coliformes totaux. Leur représentant principal est <i>Escherichia Coli</i> (<i>E. Coli</i>).	Ce sont des marqueurs caractéristiques des matières fécales.
Streptocoques fécaux	Autres bactéries vivant dans les intestins d'animaux à sang chaud (dont l'homme).	Ils résistent plus longtemps que les coliformes dans le milieu naturel et servent de traceurs à plus long terme d'une possible pollution fécale.

⁵ METCALF & EDDY *et al.*, 2003.

Paramètres d'analyse pour la conception et le suivi de stations de traitement à Madagascar

En 2014 et 2015, quatre stations de traitement de boues de vidange ont été construites dans trois communes de l'agglomération d'Antananarivo (Madagascar). Ces stations intègrent des biodigesteurs (ou réacteurs anaérobies à biogaz).

Les paramètres techniques utilisés pour concevoir ces stations et dimensionner les biodigesteurs sont :

- le taux de matière sèche (MS) des boues de vidange. Des analyses effectuées sur une trentaine d'échantillons ont permis de déterminer une valeur moyenne pour les boues des fosses de toilettes de la zone ;
- la température moyenne locale ;
- les quantités de boues à traiter mensuellement.

Une fois les stations opérationnelles, les paramètres suivants ont été régulièrement analysés afin de s'assurer de leur bon fonctionnement et du respect de la réglementation nationale en matière environnementale :

- pH
- DCO
- DBO5
- *Escherichia Coli*
- coliformes totaux
- streptocoques fécaux
- salmonelles
- clostridium sulfito-réducteurs.



Prélèvement d'échantillons (eaux traitées et boues compostées) pour analyse dans une station de traitement d'Antananarivo (Madagascar).

Une campagne d'analyses a eu lieu dans les mois qui ont suivi la mise en service des stations pour vérifier que ces dernières réduisaient correctement la pollution. Elles ont permis de constater que la pollution biochimique était effectivement abattue, avec des rendements de plus de 99 %, mais que la pollution bactérienne exigeait un traitement aérobie complémentaire afin de respecter les normes de rejet. Cela a abouti à la construction d'un bassin en aval des biodigesteurs.

3. Techniques d'analyse

Il est préférable que les analyses d'eaux usées et de boues soient réalisées par un laboratoire expérimenté. Dans certaines zones ou certains pays, il peut toutefois être compliqué de trouver un laboratoire suffisamment proche de la station de traitement pour que les échantillons soient analysés rapidement, ou tout simplement un laboratoire qui accepte de travailler sur des eaux usées ou des boues de vidange.

Dans ce cas, il est possible de prévoir un budget pour acheter du matériel d'analyse complet dans le cadre de la gestion de la station de traitement. Des protocoles de prélèvement et d'analyses physiques et chimiques sont présentés dans les [fiches n° 22](#) et [23](#).

Pour une analyse chimique par spectrophotométrie, l'investissement initial en matériel est certes important, mais la réalisation des analyses est simple et rapide. S'il n'est pas possible de débloquer un tel budget, les analyses minimales à faire pour dimensionner une station de traitement portent sur la matière sèche. Elles peuvent être réalisées avec le protocole rustique de four solaire présenté dans la [fiche n° 24](#).



Une étape de l'analyse de la DCO par spectrophotométrie.

III. CONTEXTE ET ENJEUX POUR LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE TRAITEMENT

Le choix et la conception d'un système de traitement s'inscrit dans un cadre réglementaire local et national. Il doit prendre en compte certaines contraintes pour être adapté et approprié au contexte.

1. Cadre réglementaire local et national

Il existe en général une législation nationale sur le niveau de traitement à atteindre – par exemple un abattement de 95 % de la pollution d'entrée, ou un rejet d'eaux traitées avec une DCO inférieure à x mg/l – et sur les procédures de construction des ouvrages de traitement. Cette législation doit être considérée comme un niveau minimal à atteindre et comme un objectif qu'il faut s'efforcer de respecter lorsque l'on met en place une station de traitement.

ÉTUDE DE CAS**Progressivité des normes de traitement et réalités locales**

Il est important de rester réaliste et pragmatique face à certaines normes de traitement car il arrive parfois que les textes réglementaires soient peu, voire pas du tout, appropriés aux réalités locales.

Par exemple, si l'on intervient dans une localité où il n'existe aucun système de traitement des eaux usées, une nouvelle station permettant un abattement de 90 % de la pollution apportera une amélioration importante comparée à l'absence de traitement, car la quantité de pollution rejetée sera alors divisée par dix. Néanmoins, si la norme réglementaire est d'atteindre un abattement de 95 %, cette station peut être interdite ou fermée par l'organe de régulation en charge de l'environnement, car non conforme aux normes en vigueur, et les eaux usées seront alors rejetées sans traitement dans la nature !

Dans ce cas de figure, une approche progressive semble pertinente : cette station réduit dès maintenant les nuisances environnementales et pourra être optimisée ultérieurement. Cette approche doit toutefois être partagée avec les autorités nationales en charge des aspects environnementaux afin d'échanger sur la possibilité d'adapter la réglementation aux réalités locales.

Des procédures administratives spécifiques doivent parfois être mises en œuvre pour la conception et la construction des ouvrages, comme les études d'impact environnemental qui, bien que longues à réaliser, sont utiles pour anticiper tout risque sanitaire, environnemental et social lié à l'implantation d'une station de traitement.

Il est primordial de connaître le cadre réglementaire global avant de commencer les études de faisabilité d'un système de traitement.

Une fois les objectifs généraux du traitement et le cadre réglementaire assimilés, il faut étudier les contraintes et enjeux de la conception d'une station de traitement, depuis le choix du site jusqu'à celui de la technologie. Ces aspects sont détaillés dans les deux paragraphes suivants.

2. Contraintes et enjeux d'une station de traitement

Mettre en place une station de traitement est un projet de moyen à long terme qui aboutit à des résultats ambitieux et positifs. Pour y parvenir, de nombreuses contraintes pèsent sur les choix concernant l'emplacement, les technologies, le dimensionnement et la conception de la station.



La conception et le dimensionnement d'une station de traitement nécessitent des études techniques. Il est important de faire appel à des experts ou bureaux d'études spécialisés qui seront à même de les réaliser. D'un point de vue technique, il existe quelques solutions simples pouvant être mises en œuvre sans l'appui d'experts, comme l'arborloo (ou enfouissement planté⁶). Elles restent toutefois rares.

2.1 Situation foncière et pression de l'urbanisation

Une station de traitement a besoin d'espace. Or, dans des contextes de forte densité de population et d'occupation des sols élevée, trouver un emplacement disponible pour sa construction peut s'avérer difficile. L'utilisation d'un terrain, public ou privé, pour la construction d'une station nécessite d'effectuer des démarches foncières généralement longues et complexes, qu'il convient d'anticiper dès le début des études techniques préalables.

2.2 Distance de transport et accessibilité du site

Afin de réduire les coûts d'évacuation et de faciliter cette dernière, une station de traitement doit être située de manière à réduire autant que possible la distance entre les lieux de production des eaux usées et des boues de vidange et l'endroit où elles sont traitées. Dans le cas de l'assainissement non collectif, le site doit également être facile d'accès (voirie en bon état) afin que les vidangeurs ne soient pas découragés par des conditions de dépotage difficiles et qu'ils transportent effectivement les boues jusqu'à la station.

2.3 Accès à l'électricité

Certains traitements requièrent un apport énergétique, ce qui représente une véritable contrainte budgétaire. Si les coupures de courant sont fréquentes, il faudra peut-être utiliser un générateur afin de ne pas interrompre le processus de traitement, ce qui occasionnera alors des surcoûts d'exploitation.

2.4 Compétences disponibles

Plus le traitement est technique, plus la station est sophistiquée et plus les compétences requises pour sa gestion sont élevées. Par ailleurs, même un traitement simple nécessite des compétences avancées sur le sujet, et la station devra être adaptée au

⁶ Sur cette approche, voir le tableau n° 5.

niveau de compétence disponible dans la localité. Des formations peuvent favoriser un renforcement des compétences, mais il est impossible de passer d'un niveau de compétence faible à très élevé sans un investissement important (formations, salaires, etc.).

2.5 Acceptation par les riverains

L'assainissement est souvent un sujet sensible et, du fait des croyances ou d'une représentation négative, en particulier à cause des problèmes d'odeurs, les populations peuvent s'opposer à l'implantation d'une station de traitement. Si elles peuvent s'accorder sur le besoin de traiter les eaux usées, personne en revanche ne veut d'une station à côté de sa maison (on parle du syndrome NIMBY, *Not In My Back Yard*, « Pas dans mon jardin »). Obtenir l'acceptation de la population impose une concertation préalable, une communication efficace ainsi qu'une conception technique qui réduise les nuisances olfactives et visuelles, par exemple avec une intégration paysagère.

Prendre en compte ces multiples contraintes demande de la patience, de la rigueur et de la pédagogie. La mise en place d'une station de traitement soulève donc plusieurs enjeux.

- **Enjeux techniques**, devant être traités par des experts. Le détail des contraintes qui influencent le choix des technologies de traitement est présenté dans le paragraphe suivant.
- **Enjeux de communication**, pour favoriser l'acceptation de la station par les riverains. Ces aspects sont détaillés dans le [chapitre 7](#) de ce guide.
- **Enjeux de gestion et de financement**. Ces aspects sont détaillés dans le [chapitre 5](#) et le [chapitre 9](#).

ÉTUDE DE CAS

La contrainte de l'accessibilité, un enjeu essentiel

Lors de l'étude de faisabilité réalisée pour la mise en place d'une station de traitement à Foulpointe (Madagascar), l'accès au terrain d'implantation potentiel était l'un des critères prédominant pour le choix du site. Ainsi, l'un des terrains disponibles pour un traitement extensif a été éliminé car trop éloigné de la commune pour qu'il soit possible d'y apporter les boues de vidange avec un système de charrettes à traction humaine.

De même, à Tanjombato (Madagascar), un terrain identifié par la commune pour accueillir la station de traitement était adapté à tous points de vue, sauf en ce qui concernait son accessibilité : il a dû être éliminé des sites potentiels car les ruelles d'accès étant très étroites et parcourues d'escaliers, aucune voie d'accès n'était aménageable, ce qui rendait le transport des boues de vidange impossible.

3. Conception d'une station de traitement

Trois principaux paramètres influent sur la conception d'une station de traitement :

- le type d'intrant à traiter : certaines technologies sont plutôt adaptées aux eaux usées, là où d'autres sont plus performantes pour traiter des boues de vidange. Une caractérisation physico-chimique des intrants est utile pour connaître le type et le niveau de pollution à traiter. Les analyses nécessaires ont été présentées dans le paragraphe II ;
- le niveau de traitement souhaité en sortie de station, dont le minimum est souvent fixé par les obligations réglementaires nationales ;
- les contraintes externes, détaillées dans le tableau n° 2.

De manière simplifiée, une station de traitement peut être représentée comme une « boîte noire » influencée par ces trois types de paramètres, comme illustré dans le schéma suivant.

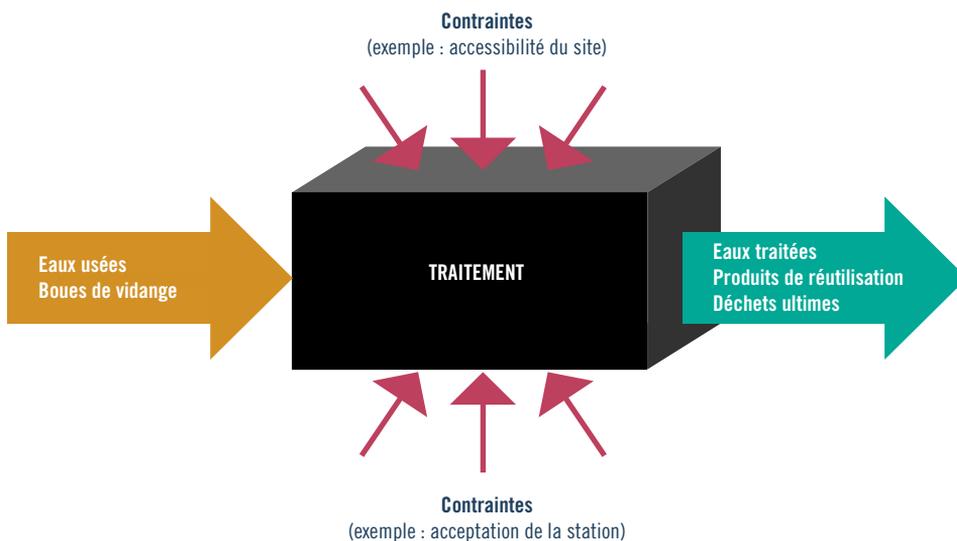


FIGURE N° 1

La « boîte noire » d'une station de traitement

Source : d'après SAVARY P., 2011

Le tableau page suivante détaille les contraintes externes ayant des répercussions sur le choix et la conception des technologies de traitement.

TABLEAU N° 2

Contraintes externes influençant le choix et la conception des technologies de traitement

Types de contraintes	Contraintes
Urbanisme	Taille de la localité et population (actuelle et projetée) desservie par le service d'évacuation. Distance entre les habitations et la station de traitement.
Finance	<p>Coût d'investissement : les investissements pour la construction d'une station de traitement sont généralement importants.</p> <p>Coût d'exploitation : en fonction du type de traitement choisi, les charges de fonctionnement sont plus ou moins importantes (selon que le système de traitement consomme ou non de l'énergie par exemple).</p> <p>Le financement de l'exploitation du maillon « traitement » est généralement un vrai défi. Les investisseurs privés s'y intéressent peu et il est donc souvent financé par les pouvoirs publics. La volonté à payer des ménages pour le traitement est également faible, ces derniers considérant qu'il n'est pas de leur responsabilité de payer pour quelque chose qui ne les concerne pas directement. Ce sujet est abordé de manière plus approfondie dans le chapitre 9D.</p>
Géographie	<p>Climat : la température et l'humidité jouent un rôle clé dans la nature et l'efficacité du traitement, et doivent être pris en compte pour le choix et le dimensionnement des stations. De plus si, à certaines périodes de l'année, le climat local est très pluvieux, il existe un risque de lessivage du dispositif de traitement.</p> <p>Hydrogéologie : risque d'inondation, de pollution des nappes phréatiques, etc.</p> <p>Existence et localisation d'exutoires naturels (pour le rejet des eaux traitées).</p>
Gènes et perceptions	<p>Gène olfactive : les odeurs sont, pour les populations voisines, la première gêne associée à une station de traitement.</p> <p>Gène visuelle : un aménagement paysager peut diminuer cette gêne.</p> <p>Multiplication des insectes : les bassins (lagunage par exemple) sont des zones potentielles de développement des larves de mouches et de moustiques.</p> <p>Perception sociale négative du traitement par les populations.</p>
Ressources disponibles	<p>Disponibilité de la ressource en eau.</p> <p>Disponibilité de la ressource énergétique (si besoin).</p> <p>Disponibilité des matériaux locaux.</p> <p>Surface au sol disponible pour la construction de la station.</p>
Services et compétences disponibles	<p>Nature du service d'évacuation : selon que l'évacuation se fait par vidange ou par le biais d'un réseau d'égouts, la fréquence d'alimentation de la station et le type d'intrants seront différents.</p> <p>Compétences nécessaires pour la conception : la conception d'une station de traitement requiert toujours des compétences avancées, qu'il faut pouvoir mobiliser (budget à prévoir).</p> <p>Compétences d'exploitation et de maintenance : le traitement peut être plus ou moins sophistiqué, ce qui représente des contraintes en termes d'exploitation. En fonction du degré de sophistication de la station, les compétences techniques requises ne seront pas les mêmes. Ces dernières ne sont d'ailleurs pas uniquement techniques, mais touchent également au domaine financier et à celui de la gestion.</p> <p>Existence de filières de réutilisation des produits de traitement (filière agricole pour l'utilisation du compost par exemple) : si ces filières sont présentes ou qu'il est possible de les créer, la réutilisation peut être envisagée.</p>

Attention à dimensionner la station de traitement de manière réaliste. En effet, on constate souvent que les stations, parce qu'elles sont surdimensionnées au démarrage, sont utilisées en sous-régime pendant une longue période. Il est préférable de prévoir une station modulable, qui s'adaptera à l'évolution de la demande. Ludwig Sasse l'exprime d'ailleurs clairement lorsqu'il explique que l'efficacité des systèmes de traitement ne peut pas être prédite précisément et que les calculs de dimensionnement ne doivent donc pas être trop ambitieux⁷.

ÉTUDE DE CAS

Adaptabilité d'une station de traitement à Madagascar

Dans la station de traitement des boues de vidange de la commune de Tanjombato (Madagascar), trois réacteurs d'une capacité de 10 m³ sont alimentés en parallèle. L'opérateur de la station peut orienter les boues arrivant sur le site vers tel ou tel réacteur. Cette disposition permet une montée en puissance progressive des capacités de traitement ainsi qu'une adaptation à la variation des volumes de boues entrant. Lorsque cette station sera utilisée au maximum de ses capacités, et si la demande continue de croître, il est envisagé de construire une seconde unité similaire sur un terrain limitrophe.



Construction de la station de traitement par biodigesteurs et filtre biologique à Tanjombato (Madagascar).

⁷ SASSE L., 1998, p. 14.

IV. IMPLANTATION GÉOGRAPHIQUE DE LA STATION

Les différentes étapes et technologies de traitement sont présentées dans les paragraphes suivants. Il s'agit ici d'exposer les positionnements géographiques possibles pour une station. Elle peut ainsi être localisée de deux façons :

- directement à proximité des toilettes, notamment en milieu rural. Les exemples les plus classiques sont l'arborloo, les toilettes Ecosan (ou toilettes à séparation d'urine), les toilettes directement connectées à un réacteur à biogaz et les puits perdus. Il n'y a pas d'évacuation des eaux usées à proprement parler. Eaux usées et excréta sont directement traités sur place (voir le [chapitre 8A](#), qui traite des technologies du maillon « accès ») ;
- sur un terrain plus ou moins éloigné des lieux de production d'eaux usées. Les eaux usées et les boues doivent être transportées des toilettes vers la station de traitement par un réseau d'égouts ou un service de vidange. Deux options sont envisageables pour le positionnement de celle-ci : centralisé, avec une seule station de traitement qui recueille et traite toutes les eaux usées et boues de vidange de la ville, ou décentralisé, avec plusieurs « petits » centres de traitement de proximité qui se partagent le traitement des eaux usées et des boues de vidange de la localité.

TABLEAU N° 3

Comparaison des approches centralisée et décentralisée

Approche	Avantages	Inconvénients
Centralisée	Un seul service à gérer.	Coûts d'investissement et de maintenance élevés. Longues distances à parcourir pour amener les eaux usées et les boues de vidange à la station de traitement.
Décentralisée	Traitement adapté à chaque contexte « micro-local ». Coût unitaire réduit. Distances à parcourir pour amener les eaux usées et boues de vidange à la station de traitement plutôt réduites.	Multitude d'acteurs à former et à coordonner pour assurer le service. Nombreux terrains à trouver dans un contexte urbain souvent dense.

Parfois, les eaux usées et boues de vidange sont directement déversées dans le milieu naturel. C'est le cas des eaux usées de certaines villes côtières qui sont rejetées dans l'océan à plusieurs kilomètres de la côte (émissaire en mer). Ce rejet en milieu naturel doit être considéré comme une solution intermédiaire, en l'attente d'un véritable traitement.

V. ÉTAPES D'UN SYSTÈME DE TRAITEMENT

Pour atteindre une réduction de la pollution satisfaisante, le traitement comporte généralement plusieurs étapes successives.

TABLEAU N° 4

Étapes du traitement

Prétraitement	Traitement primaire	Traitement secondaire	Traitement tertiaire
<p>Objectif : enlever les éléments pouvant gêner les prochaines étapes du traitement, tels que les déchets solides, les sables et les graisses. Le prétraitement est souvent réduit à un simple dégrillage.</p>	<p>Objectif : réduire la quantité de matières en suspension (MES). Une décantation permet généralement de réduire les MES, mais aussi la DCO et la DBO₅.</p>	<p>Objectif : abattre la pollution physico-chimique (DBO₅/DCO, nitrate et phosphate). Peut être atteint de manière biologique ou physico-chimique.</p>	<p>Objectif : désinfecter. Cette étape n'est pas systématique et se fait par lampe UV, filtration ou ajout de produit chimique.</p>

Chaque étape du traitement produit des boues (par dépôt au fond des réacteurs) qui doivent être régulièrement vidangées afin que la station de traitement continue à être bien entretenue. Ces boues doivent être traitées, soit en étant réinjectées dans la chaîne de traitement principal, soit par des technologies complémentaires.

Le schéma suivant présente la circulation des phases solides et liquides de différentes technologies de traitement. Chaque traitement primaire produit une phase solide et une phase liquide qui nécessitent un traitement complémentaire.

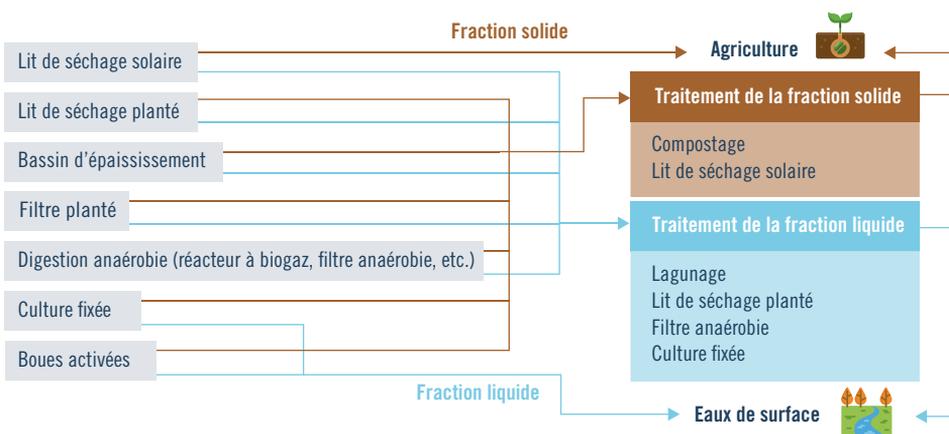


FIGURE N° 2

Production de phases solide et liquide par les technologies de traitement

Source : d'après KLINGEL F. et al., 2005, p. 46

ÉTUDE DE CAS

Étapes de traitement dans une station intensive au Cambodge

Le schéma ci-dessous présente les étapes du traitement des eaux usées effectué par une station construite à Trapeang Sab (Cambodge). Un dégrilleur se situe en amont de la station pour effectuer un prétraitement. Le décanteur opère un traitement primaire. Le réacteur anaérobie à chicanes et le filtre anaérobie réalisent le traitement secondaire.



FIGURE N° 3

Station de traitement implantée à Trapeang Sab (Cambodge)

De la même manière, la station de traitement des boues de vidange construite à Tanjombato (Madagascar), présentée précédemment, comprend les étapes suivantes : une fosse d'entrée avec dégrilleur, un réacteur anaérobie à biogaz pour le traitement primaire et un filtre anaérobie pour le traitement secondaire.

Source : Gret/BORDA.

VI. TYPOLOGIE DES TRAITEMENTS

Les technologies de traitement sont nombreuses et il existe de multiples manières de les classer. Ici, dans une logique de clarté et de synthèse, seuls deux critères sont exposés, qui serviront dans la suite du *Mémento* pour présenter les technologies.

- **Traitement extensif/intensif** : la surface au sol nécessaire pour la construction de la station varie en fonction des deux types de traitement. Un traitement extensif, comme les lits de séchage, a besoin de grandes surfaces, tandis qu'un traitement intensif est plus concentré et ne requiert qu'un espace réduit.

- **Traitement anaérobie/aérobie** : selon que le traitement a lieu en milieu aérobie (avec oxygène) ou anaérobie (sans oxygène), les bactéries effectuant le traitement biologique ne sont pas les mêmes et agissent sur des paramètres de pollution différents. Par exemple, le traitement aérobie contribue à une bonne élimination des germes pathogènes. Cette distinction des technologies influe sur les coûts de fonctionnement (le traitement aérobie nécessite généralement de l'électricité pour fournir de l'oxygène au milieu de traitement) et sur l'acceptabilité de la station par les riverains (présence d'odeurs dans le cas d'un traitement aérobie).

TABLEAU N° 5

Synthèse des systèmes de traitement

		Traitement extensif	Traitement intensif	
			Anaérobie	Aérobie
Type d'intrant à traiter	Eaux usées	<ul style="list-style-type: none"> – Lagunage – Filtre planté 	<ul style="list-style-type: none"> – Filtre anaérobie – Réacteur anaérobie à chicanes – Digesteur biogaz – Réacteur anaérobie à flux ascendant UASB – Fosse Imhoff 	<ul style="list-style-type: none"> – Cultures fixées – Boues activées
	Boues de vidange	<ul style="list-style-type: none"> – Lit de séchage solaire – Lit de séchage planté – Bassin d'épaississement – Enfouissement planté 	<ul style="list-style-type: none"> – Digesteur biogaz – Réacteur anaérobie à flux ascendant UASB 	<ul style="list-style-type: none"> – Boues activées

Différentes technologies de traitement



Réacteur anaérobie à chicanes en construction au Cambodge.



Station de traitement par réacteurs anaérobies à biogaz à Madagascar.



Bassin de lagunage en Haïti.



Fosse préparée pour recevoir des boues de vidange dans un site d'enfouissement planté.



Mise en place d'un massif filtrant dans un filtre anaérobie à Madagascar.

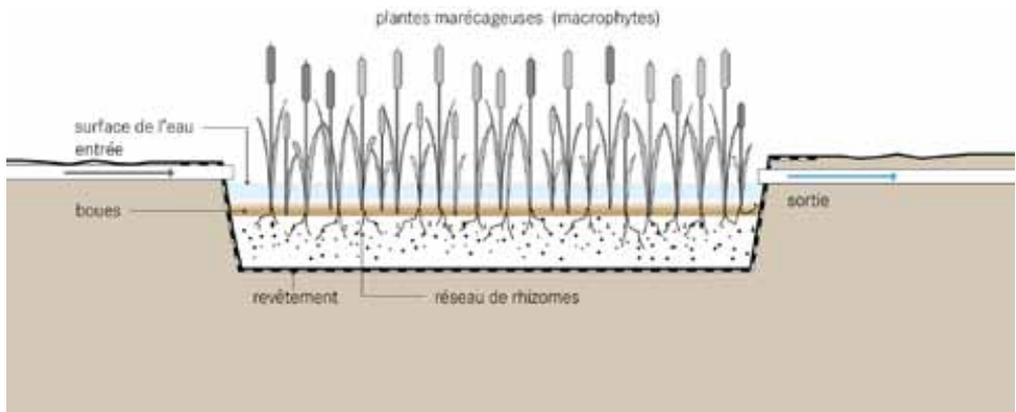


Schéma d'un filtre planté (source : TILLEY E. *et al.*, 2016, p. 116).

De nombreux ouvrages techniques de qualité existent sur les solutions de traitement des eaux usées et des boues de vidange. Afin de ne pas reproduire ici ce que d'autres ont déjà décrit, le tableau de synthèse page suivante renvoie vers des ouvrages de référence, téléchargeables gratuitement sur Internet.

- MONVOIS J., GABERT J., FRENOUX C., GUILLAUME M., *Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide*, pS-Eau/PDM, 2010, Guide méthodologique n° 4. Cet ouvrage présente sous forme de fiche chaque technologie de traitement. Ces fiches indiquent, pour chaque solution technique, ses caractéristiques générales, ses prérequis, des éléments de conception, de construction et de maintenance, ainsi que ses avantages et inconvénients.
- TILLEY E., ULRICH L., LÜTHI C., REYMOND P., SCHERTENLEIB R., ZURBRÜGG C., *Compendium des systèmes et technologies d'assainissement*, 2nd éd. actualisée, Dübendorf, Eawag, 2016. Cet ouvrage présente, sous la forme de fiche, chaque technologie de traitement. Ces fiches indiquent, pour chaque technologie, son fonctionnement général, son adéquation avec le contexte, son acceptation, son entretien ainsi que ses avantages et inconvénients.
- SASSE L., *DEWATS – Systèmes décentralisés de traitement des eaux usées dans les pays en voie de développement*, Brême, BORDA, 1998. Cet ouvrage présente différentes technologies de traitement et propose des plans et fiches de calcul pour le dimensionnement de ces infrastructures.
- STRANDE L., RONTELTAP M., BRDJANOVIC D. (eds), *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*, London, IWA Publishing, 2014. Cet ouvrage détaille de manière scientifique et technique le fonctionnement de diverses technologies de traitement.

De nombreux ouvrages présentent une description technique détaillée de chaque technologie (voir ceux cités dans la bibliographie des fiches du guide *Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide* (MONVOIS J. et al., 2010) et du *Compendium des systèmes et technologies d'assainissement* (TILLEY E. et al., 2016). Quelques éléments simples de dimensionnement sont référencés dans le tableau page suivante. La conception et la construction de ces installations doivent toutefois être de préférence réalisées par des experts techniques expérimentés.

TABLEAU N° 6

Tableau de synthèse des technologies de traitement et références bibliographiques

Type de traitement	Technologies de traitement	Ouvrages de référence et pages concernées				
		MONVOIS J. <i>et al.</i> , 2010	TILLEY E. <i>et al.</i> , 2016	SASSE L., 1998	STRANDE L. <i>et al.</i> , 2014	
Traitement extensif	Lit de séchage solaire	Fiche T01, p. 110-111	Fiche T14, p. 128-129	p. 120-121	Chapitre 7, p. 141-154	
	Lit de séchage planté	Fiche T02, p. 112-113	Fiche T15, p. 130-131	-	Chapitre 8, p. 155-176	
	Lagunage	Fiche T09, p. 126-127	Fiche T5, p. 110-111	Description technique : p. 106-116 Dimensionnement : p. 157-162	-	
	Bassin d'épaississement	-	Fiche T13, p. 126-127	-	Chapitre 6, p. 123-139	
	Filtre planté à écoulement horizontal superficiel	-	Fiche T7, p. 114-115	Description technique : p. 97-103 Dimensionnement : p. 155-157	-	
	Filtre planté à écoulement horizontal sous surface	-	Fiche T8, p. 116-117	Description technique : p. 97-103 Dimensionnement : p. 155-157	-	
	Filtre planté à écoulement vertical	-	Fiche T9, p. 118-119	Description technique : p. 97-103 Dimensionnement : p. 155-157	-	
	Enfouissement planté arborloos (voir l'encadré ci-contre)	-	Principe décrit dans la fiche D1, p. 140-141		-	
Traitement intensif	Anaérobie	Digester ou réacteur anaérobie à biogaz	Fiche T05, p. 118-119	Fiche T17, p. 134-135	Description technique : p. 93-94 Dimensionnement : p. 152-155	-
		Filtre anaérobie	Fiche T06, p. 120-121	Fiche T4, p. 108-109	Description technique : p. 84-88 Dimensionnement : p. 147-149	-
		Réacteur anaérobie à chicanes	Fiche T07, p. 122-123	Fiche T3, p. 106-107	Description technique : p. 89-92 Dimensionnement : p. 150-152	-
		Digester anaérobie à flux ascendant (UASB)	Fiche T04, p. 116-117	Fiche T11, p. 122-123	Description technique : p. 88-89	-
		Fosse Imhoff	Fiche T08, p. 124-125	-	Description technique : p. 81-84 Dimensionnement : p. 145-146	-
	Aérobie	Cultures fixées	-	Fiche T10, p. 120-121	Description technique : p. 94-95	-
		Boues activées	-	Fiche T12, p. 124-125		-

ÉTUDE DE CAS

L'enfouissement planté, une solution simple pour les petites localités possédant des conditions favorables

L'enfouissement planté consiste à déverser les boues de vidange dans des fosses qui sont ensuite rebouchées avec de la terre et sur lesquelles sont plantés des arbres fruitiers. En s'infiltrant dans le sol, les eaux issues des boues s'assèchent et sont rendues inoffensives (les agents pathogènes meurent avec l'assèchement). Ces boues asséchées représentent un bon amendement pour le sol et favorisent le développement rapide des arbres qui y sont plantés, permettant d'obtenir à terme un verger. Avec des arbres dont les fruits sont en hauteur (contrairement à un potager), le risque de contamination sanitaire est nul.

Cette solution ne peut toutefois être mise en œuvre que dans des conditions favorables : sol adapté à l'infiltration des eaux usées, absence de nappe phréatique à faible profondeur, etc. De plus, des mesures doivent être prises pour éviter que les riverains ne soient en contact avec les boues fraîches : clôtures, respect des délais de séchage des boues, etc.



FIGURE N° 4

Schéma d'un site d'enfouissement planté à Madagascar

Pour choisir la technologie la plus adaptée au contexte, nous recommandons la lecture du guide *Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide* (MONVOIS J. et al., 2010), en particulier les pages 30 à 53. Cet ouvrage peut être gratuitement téléchargé sur Internet.

VII. QUEL DEVENIR POUR LES PRODUITS ISSUS DU TRAITEMENT ?

Quel que soit le type de station, le traitement des eaux usées et des boues fécales produit des boues et des effluents. Ces produits peuvent soit être utilisés directement, soit subir un traitement complémentaire en vue d'une réutilisation. Les effluents liquides traités peuvent être rejetés dans le milieu naturel et les solides mis en décharge.

1. Réutilisation des produits du traitement

La valorisation concerne par exemple la production de biogaz dans des biodigesteurs (utilisable pour la cuisson ou la production d'électricité) ou l'utilisation des boues traitées comme fertilisant. Dans ce dernier cas, il convient de vérifier régulièrement l'absence de risque sanitaire par des analyses (métaux lourds, agents pathogènes, etc.).

La réutilisation des produits issus du traitement (pour l'agriculture ou la fourniture d'énergie) est possible lorsqu'ils ne présentent pas de risques sanitaires. La réutilisation (ou valorisation) présente des intérêts environnementaux notoires : moins de déchets mis en décharge, recyclage des eaux traitées plutôt que de puiser dans les ressources nouvelles, utilisation du compost plutôt que des engrais chimiques polluants, utilisation de biogaz plutôt que du bois ou du charbon, etc. À ce titre, la valorisation des produits issus du traitement doit être encouragée et mise en œuvre autant que possible.

Il est important de signaler que la valorisation des produits issus du traitement doit faire l'objet d'études de marché pour confirmer sa viabilité financière. Il faut en effet garder à l'esprit que les revenus issus de cette valorisation sont généralement limités. Ils représentent une source de financement **complémentaire** de la station de traitement plutôt qu'une source de recettes « miracle » qui financerait l'ensemble du service, comme le montrent les exemples ci-dessous.

ÉTUDE DE CAS

Recettes issues de la valorisation

À Pedro Badejo, au Cap-Vert, un projet d'assainissement avait pour objectif de financer le raccordement des usagers au réseau d'égouts, ainsi que les charges de fonctionnement de la station de traitement, par la revente de l'eau traitée. En réalité, les volumes effectivement traités étaient plus faibles que les volumes estimés dans les projections du modèle économique, et les recettes ne suffisaient pas à couvrir les charges. Cet exemple souligne l'importance de ne pas chercher à couvrir par la valorisation la totalité des financements ultérieurs d'extension des dispositifs et leurs frais de fonctionnement.

La station de traitement de Cambérène à Dakar (Sénégal) regroupe deux types de traitement : une filière de traitement des eaux usées alimentée par un réseau conventionnel, et une filière de traitement des boues de vidange de fosses, alimentée par des camions de vidange. Trois produits issus du traitement sont réutilisés :

- le biogaz, valorisé en électricité ;
- les eaux traitées, revendues à un golf ;
- les boues séchées, vendues à des entrepreneurs de terrassement et aux espaces verts.

Alors que le traitement des boues représente 20 % des charges de la station, leur vente ne constitue que 0,07 % des revenus. Ce montant est négligeable à l'échelle de la station mais représente néanmoins deux mois de salaire pour le gérant, ce qui incite fortement ce dernier à produire des boues séchées. Cet exemple illustre bien que la valorisation ne peut certes pas financer l'ensemble du traitement, mais peut toutefois être une incitation à sa réalisation.

Sources : DÉSILLE D. *et al.*, *Financer la filière assainissement en Afrique subsaharienne*, 2011, p. 72.

ROCHERY F., GABERT J., *La filière de gestion des boues de vidange : de l'analyse aux actions*, juin 2012, p. 37 à 45.

1.1 Aspects techniques

Les boues et effluents issus du traitement des eaux usées peuvent subir des traitements complémentaires pour pouvoir être réutilisés en toute sécurité (et ainsi éviter par exemple la contamination alimentaire). Le traitement est alors plus poussé que lorsque les boues et effluents sont mis en décharge ou rejetés dans le milieu naturel.

Les boues et effluents traités peuvent être utilisés pour l'irrigation ou comme fertilisants agricoles, ou encore pour produire du biogaz.

Fertilisant (urine ou compost)

Les boues peuvent être compostées afin de produire du fertilisant pour l'agriculture⁸. Pour cela, ces dernières, humides et riches en azote, sont mélangées avec des déchets organiques (riches en carbone) afin d'être dégradées de manière aérobie et aboutir à un compost riche en nutriments et utilisable en agriculture.

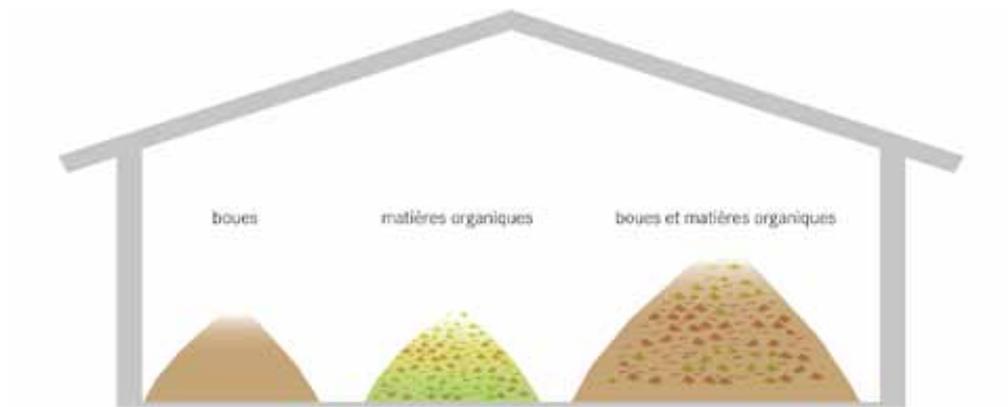


FIGURE N° 5

Co-compostage

Source : TILLEY E. et al., 2016, p. 132

Si l'urine est collectée séparément lors de l'utilisation des toilettes (toilettes Ecosan), elle peut être utilisée comme fertilisant (après un à six mois de stockage pour éliminer les agents pathogènes)⁹.

Biogaz

Les réacteurs à biogaz (ou biodigesteurs) produisent un mélange de gaz composé à environ 70 % de méthane. Ce gaz peut être utilisé pour la cuisine, le chauffage ou la production d'électricité. Toutefois, il est préférable de l'utiliser à proximité du réacteur, la compression du gaz pour le transport entraînant d'importants surcoûts.

Les boues et effluents produits par le réacteur peuvent aussi être utilisés comme fertilisant, à la condition d'avoir subi un traitement complémentaire (compostage par exemple).



Lampe fonctionnant au biogaz, produit par une station de traitement de boues de vidange (Madagascar).

⁸ Il peut toutefois arriver que certaines populations refusent l'utilisation de fertilisant produit à partir des boues fécales, car elles le considèrent comme impropre. Ce blocage est à prendre en compte dans les études de marché.

⁹ TILLEY E. et al., 2016, p. 129.

Irrigation

Les effluents liquides peuvent être utilisés pour l'irrigation. Ils permettront d'économiser l'eau, à condition de vérifier régulièrement le niveau des agents pathogènes présents dans ces eaux traitées afin de ne pas contaminer les ressources alimentaires. Pour limiter les risques, il est préférable de ne pas les mettre en contact direct avec les fruits et légumes. Il convient de les utiliser plutôt pour l'irrigation des vergers que pour les potagers.

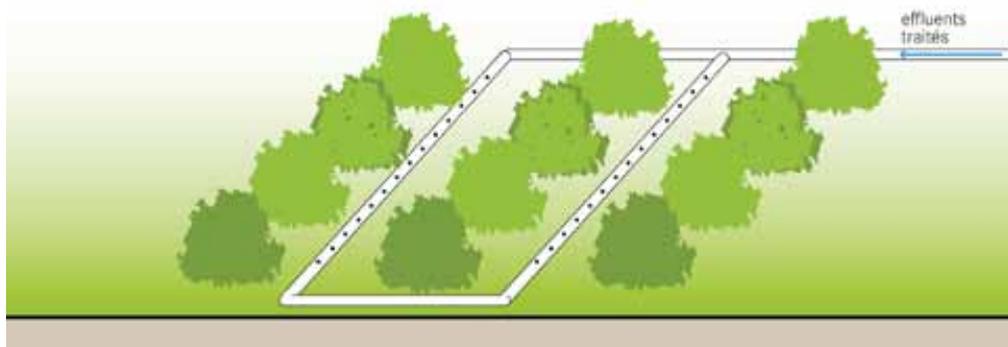


FIGURE N° 6

Irrigation avec des eaux usées traitées

Source : TILLEY E. et al., 2016, p. 150

Aquaculture

Les effluents peuvent alimenter des bassins d'aquaculture, où ils fournissent des nutriments aux poissons.



Station de lagunage avec aquaculture à New Delhi (Inde).

1.2 Commercialisation

Les produits de traitement peuvent être directement utilisés dans la station de traitement (utilisation du biogaz pour l'éclairage ou la cuisine des employés de la station par exemple). Lorsque ce n'est pas le cas, ils peuvent être vendus à des clients extérieurs. La commercialisation d'un produit requiert de mettre en œuvre une démarche complète de marketing : étude du marché potentiel, définition du positionnement du produit, élaboration et mise en œuvre du « mix marketing », etc. Cette démarche est décrite dans le [chapitre 7C](#).

2. Injection dans le milieu naturel sans utilisation

2.1 Phase liquide

La phase liquide traitée (effluents) peut être infiltrée dans le sol par le biais d'un puisard ou d'un lit d'infiltration. Elle peut également être rejetée dans un cours d'eau. Dans les deux cas, l'effet « filtre » du sol et la dilution dans le milieu naturel assurent l'épuration finale de l'effluent. Ces solutions sont présentées dans les figures ci-dessous.

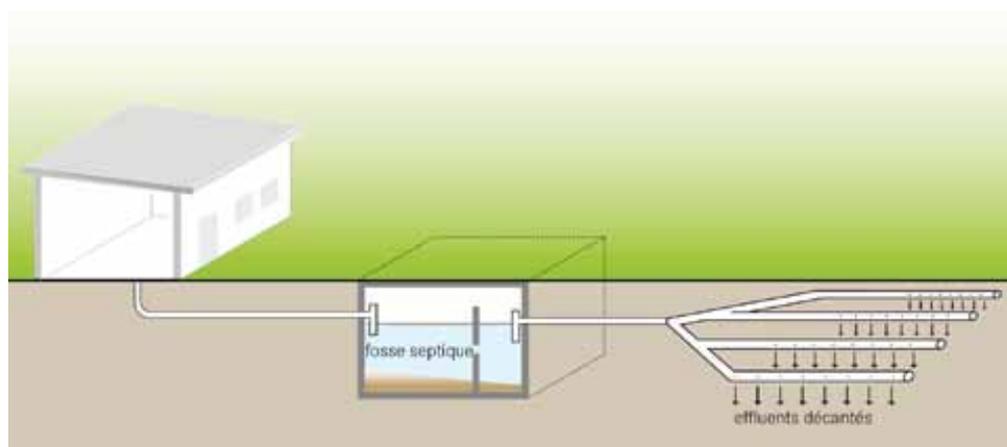


FIGURE N° 7

Lit d'infiltration

Source : TILLEY E. et al., 2016, p. 154

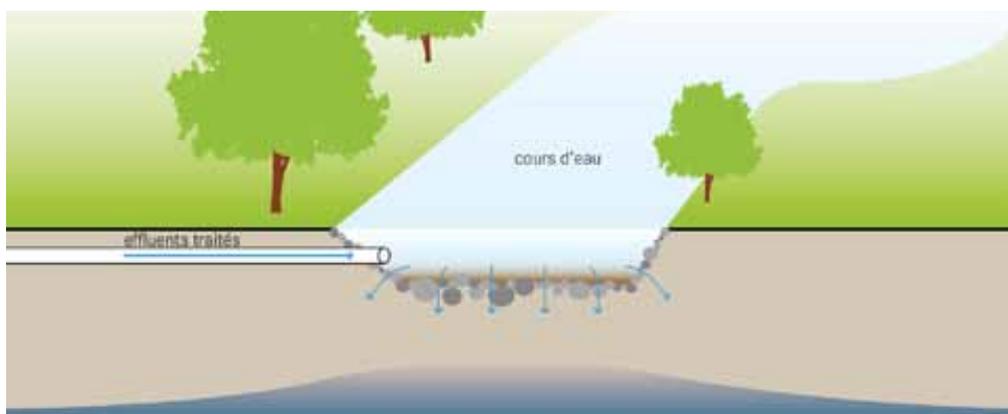


FIGURE N° 8

Recharge des nappes phréatiques

Source : TILLEY E. et al., 2016, p. 160

2.2 Phase solide

La phase solide (boues) peut être épandue sur des parcelles non cultivées (forêts par exemple), mise en décharge ou incinérée. Le choix dépend des possibilités locales et de la réglementation en vigueur.

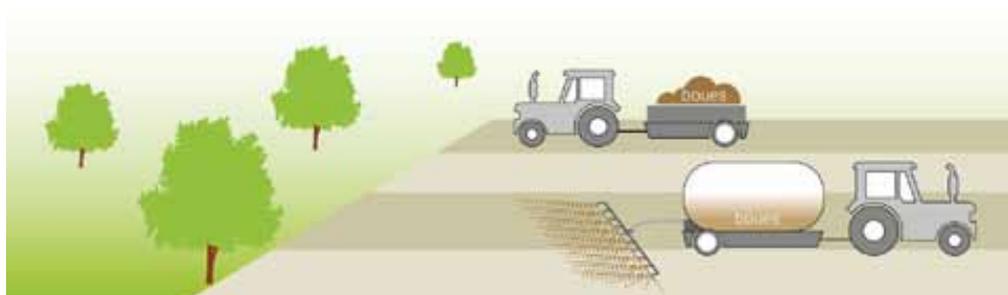


FIGURE N° 9

Épandage des boues

Source : TILLEY E. et al., 2016, p. 148



FIGURE N° 10

Mise en décharge des boues

Source : TILLEY E. et al., 2016, p. 162



POINTS À RETENIR

- L'objectif premier du traitement des eaux usées et des boues de vidange est de réduire, avant rejet dans la nature, la pollution sanitaire et environnementale.
- Différents paramètres (DBO5, DCO, MES, etc.) permettent de caractériser la pollution contenue dans les eaux usées et, sur cette base, de concevoir et de dimensionner le traitement adapté.
- Ce chapitre présente les principales technologies de traitement (en lien avec des ouvrages techniques de référence). La conception, le dimensionnement et la construction de stations de traitement doivent toutefois être réalisés par des experts techniques compétents.



POUR ALLER PLUS LOIN

METCALF & EDDY, TCHOBANOGLOUS G., BURTON F.L., STENSEL H.D., *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th ed., Boston, McGraw-Hill Education, 2003.

MONVOIS J., GABERT J., FRENOUX C., GUILLAUME M., *Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide*, pS-Eau/PDM, 2010, Guide méthodologique n° 4.

SASSE L., *DEWATS – Systèmes décentralisés de traitement des eaux usées dans les pays en voie de développement*, Brême, BORDA, 1998.

STRANDE L., RONTETAP M., BRDJANOVIC D. (eds), *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*, London, IWA Publishing, 2014.

TILLEY E., ULRICH L., LÜTHI C., REYMOND P., SCHERTENLEIB R., ZURBRÜGG C., *Compendium des systèmes et technologies d'assainissement*, 2nd éd. actualisée, Dübendorf, Eawag, 2016.

FICHES À CONSULTER

FICHE N° 21 : DONNÉES CHIFFRÉES DE CARACTÉRISATION DES EAUX USÉES ET DES BOUES DE VIDANGE.

FICHE N° 22 : PROTOCOLE DE PRÉLÈVEMENT DES BOUES DE VIDANGE DANS LES FOSSES.

FICHE N° 23 : PROTOCOLES D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX USÉES ET DES BOUES DE VIDANGE.

FICHE N° 24 : PROTOCOLE D'ANALYSE DE LA MATIÈRE SÈCHE PAR SÉCHAGE SOLAIRE.