

CHAPITRE VII

LITS DE SÉCHAGE NON-PLANTÉS

Pierre-Henri Dodane et Mariska Ronteltap

Objectifs pédagogiques

- Comprendre le lit de séchage non-planté pour la déshydratation des boues.
- Avoir un aperçu des principaux éléments constituant les lits de séchage non-plantés, de leurs caractéristiques et de leur rôle sur la performance des lits.
- Connaître les besoins en exploitation-maintenance et en monitoring nécessaires au fonctionnement des lits de séchage non-plantés.
- Être capable de concevoir un lit de séchage non-planté pour atteindre un objectif de traitement souhaité.

7.1 INTRODUCTION

Les lits de séchage de boues non-plantés sont des bassins peu profonds, remplis de sable et de gravier et équipés d'un système de drainage pour recueillir le percolat. Les boues sont répandues à la surface du lit où elles sèchent (figure 7.1). Le processus de séchage est double : drainage de la partie liquide libre à travers le sable et le gravier vers le fond du lit et évaporation de l'eau restante dans l'air. La conception ainsi que le fonctionnement du lit de séchage sont assez simples, mais nécessitent un choix de charge admissible adapté ainsi qu'une bonne répartition hydraulique des boues sur la surface du lit. On estime à environ 50 à 80 % la fraction du volume initial qui s'infiltré et est évacué du lit (percolat), selon les caractéristiques des boues de vidange (BV) entrantes. Après avoir atteint le niveau de déshydratation souhaité, les boues doivent être retirées du lit, ce qui se fait manuellement ou à l'aide d'un engin motorisé. Un stockage supplémentaire permet la réduction des agents pathogènes, si cela est rendu nécessaire pour la réutilisation ultérieure des matières. Ce type de traitement est intéressant pour sa relative facilité d'utilisation et son faible coût, mais nécessite une emprise foncière importante.

7.2 PRINCIPE DE TRAITEMENT

Ce type de station de traitement des boues de vidange comprend plusieurs lits de séchage. Les boues sont déversées alternativement sur chacun de ces lits de séchage, où elles restent jusqu'à ce que le niveau de déshydratation souhaité soit atteint. Une fois sèches elles sont curées, avec engin ou manuellement, pour être mises en décharge ou bien subir un traitement complémentaire, souvent par simple stockage, en vue de leur réutilisation.

Le mécanisme de séchage repose sur deux principes. Le premier est l'infiltration de la fraction liquide à travers le sable et le gravier. Ce processus est d'autant plus important que les boues entrantes contiennent une grande fraction d'eau libre (paragraphe 3.2). Il est relativement rapide, allant de quelques heures à quelques jours (Heinss *et al.*, 1998). Le second processus, l'évaporation, extrait la fraction d'eau dite « liée » à la matière solide, ce qui se déroule généralement sur une période de quelques jours à quelques semaines. Heinss *et al.* (1998) rapportent une

évacuation de 50 à 80 % du volume initial des boues via la filtration et le drainage, et 20 à 50 % d'eau extraite par évaporation. Ces ordres de grandeur sont valables pour les boues ayant une proportion d'eau libre importante. Il y aura toutefois moins de déshydratation par drainage et plus par évaporation avec des boues présentant une proportion d'eau liée plus grande. Par exemple, aucun percolat n'a été observé lors du séchage de boues qui avaient été préalablement épaissies (Badji *et al.*, 2011). Dans les lits de séchage de boues plantés, l'évapotranspiration contribue également à la déshydratation, ce qui est expliqué au chapitre 8.

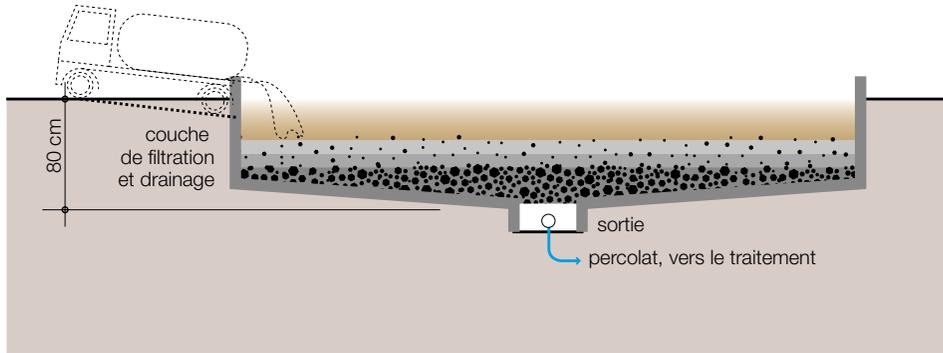


Figure 7.1 : Schéma de principe d'un lit de séchage de boues non-planté (Tilley *et al.*, 2014). Sur ce schéma la dalle de réception des boues n'est pas visible, mais c'est un élément essentiel (paragraphe 7.4).

7.3 PARAMÈTRES DE CONCEPTION DES LITS NON-PLANTÉS

Plusieurs facteurs contextuels doivent être pris en considération pour le dimensionnement. Ils peuvent être regroupés en deux catégories : les facteurs climatiques et les types de boues à traiter. Les critères de conception sont la charge admissible en boues, l'épaisseur de la couche de boues déversée et le nombre de lits. Ces différents paramètres sont présentés dans les paragraphes suivants.

7.3.1 Facteurs climatiques

Les facteurs climatiques qui affectent le fonctionnement des lits de séchage non-plantés sont les suivants :

- Humidité : l'humidité élevée réduit l'évaporation ;
- Température : les températures élevées, associées à une humidité faible et à un fort vent, augmentent l'évaporation ;
- Pluviosité : les lits non-plantés peuvent ne pas être adaptés là où les pluies sont fréquentes, intenses et de longue durée. La conception des lits dans les climats très pluvieux doit intégrer la non-utilisation des lits pendant la saison des pluies ou leur couverture par une toiture. L'effet de la pluie est de ré-humecter la boue dans une proportion plus ou moins importante selon le niveau de séchage qu'elle a déjà atteint, une boue craquelée permettant en effet d'évacuer l'eau et de diminuer ainsi la ré-humectation des matières solides.



Figure 7.2 : Boues de vidange fraîchement déversées et partiellement déshydratées sur les lits de séchage non-plantés de la station de traitement des boues de vidange de Niayes, Dakar, Sénégal (photo : Linda Strande).

7.3.2 Types de boues de vidange

La provenance des boues est un point important lorsque l'on utilise les lits de séchage non-plantés. Les boues issues de fosses septiques comportent une fraction d'eau liée plus petite, elles sont donc plus facilement déshydratables que les boues de vidange fraîches. En d'autres termes, on peut considérer que ces boues digérées présentent une meilleure aptitude à la déshydratation. Elles peuvent donc être appliquées avec une couche plus épaisse ou à une charge massique ou volumique supérieure. Les boues provenant des toilettes publiques ne sont généralement pas autant digérées (voir aussi le chapitre 2) et présentent donc une capacité de déshydratation moindre. Par conséquent, une quantité plus faible d'eau est évacuable par filtration et un temps de séchage plus long est nécessaire. La technologie du lit de séchage non-planté seule pourrait s'avérer peu adaptée pour ces boues-là, selon le contexte.

Pescod (1971) a effectué des tests de séchage avec des boues de latrines fraîches. Il rapporte une grande dispersion des résultats en termes de déshydratation, dont certains sont comparables au séchage de boues bien stabilisées. En général avec des boues de toilettes publiques fraîches, une séparation des fractions liquides et solides est difficile à obtenir. Une solution consiste à mélanger ce type de boues avec des boues plus anciennes et plus stabilisées (par exemple des boues de fosses septiques) afin d'améliorer leur aptitude globale à la déshydratation (Koné *et al.*, 2007 ; Cofie *et al.*, 2006).

Étude de cas 7.1 : Conception d'un lit de séchage de boues à Kumasi, Ghana.

(Adapté de Cofie et Koné, 2009).

Afin de réaliser un séchage préalable au compostage de boues de vidange (voir aussi l'étude de cas 5.1), un petit lit de séchage de boues a été conçu à Kumasi, au Ghana. Le climat est de type équatorial humide, avec deux saisons des pluies : une grande saison des pluies qui a lieu de fin février à début juillet et une plus petite de mi-septembre à début novembre. Les BV sont collectées par des camions de vidange dans les dispositifs d'assainissement à la parcelle de la ville (fosses septiques, latrines à fosse et toilettes publiques) et transportées sur le site du projet. Sur les 500 m³/jour de BV produites par la ville, 1,5 m³/jour est traité dans la station pilote. Elle est constituée de deux lits de séchage non-plantés d'une surface de 25 m² chacun, pour une capacité de traitement de 7,5 m³ de boues par dépotage et par lit, soit une couche de 30 cm de boues par dépotage. Les lits sont composés d'une superposition de matériaux filtrants : sable et graviers de différentes épaisseurs et granulométries. Les considérations techniques générales sont présentées dans le tableau 7.1.

Tableau 7.1 : Caractéristiques techniques recommandées pour le séchage des boues de vidange en lit de séchage non-planté.

BASE DE DIMENSIONNEMENT DES LITS	PRODUCTION DE BOUES SÉCHÉES
25 à 30 cm d'épaisseur de boues par déversement.	0,1 m ³ de boues séchées par m ³ de BV entrante.
100 à 200 kg de MS/m ² /an (MS : matière sèche). ~ 0,08 m ² /habitant.	Hygiénisation complémentaire nécessaire avant réutilisation en agriculture.
CARACTÉRISTIQUES DES BOUES ENTRANTES	PERFORMANCE DE LA FILTRATION
Partiellement digérées (digérées ou mélange de boues digérées et de boues fraîches de toilettes publiques).	Effet d'érosion réduit par une chambre de répartition, un canal d'entrée ou une dalle de réception.
≤ 30 % de BV de toilettes publiques.	97 % MES (matières en suspension). 90 % DCO (demande chimique en oxygène). 100 % OH (œufs d'helminthes).
CARACTÉRISTIQUES DU SABLE	PERCOLAT
Non-friable.	Comparable aux eaux usées en contexte tropical.
Disponible localement.	Salinité trop élevée pour irrigation agricole.
Lavé avant sa mise en œuvre.	Traitement complémentaire requis selon destination.

Exemple de conception de l'étude de cas 7.1.

3 camions par cycle de séchage (1 camion apporte ~ 5 m ³).	Charge hydraulique sur les lits de séchage : 30 cm.
3 cycles de séchage par mois.	Surface totale des lits : 50 m ² .
Volume traité : 15 m ³ /cycle, soit 45 m ³ /mois, soit 1,5 m ³ /jour.	Réduction de volume : 90 %.
Ratio de boues entre toilettes publiques et fosses septiques : 1:2.	Boues séchées produite : 1,5 m ³ /cycle, soit 4,5 m ³ /mois.

Sur le pilote de Kumasi, le percolat issu des lits de séchage est recueilli dans un réservoir de stockage pour être envoyé dans le bassin de lagunage de la STBV de Buobai, dont l'effluent est rejeté dans le milieu naturel. Les boues séchées sont curées des lits dès qu'elles peuvent l'être à l'aide d'une pelle (après 10 jours), et stockées avant cocompostage (étude de cas 5.1).

7.3.3 Charge admissible

La charge admissible en boues est exprimée en kg de MS/m²/an. Elle représente la quantité de matières sèches qui peuvent sécher sur 1 m² de lit tous les ans. Pescod (1971) souligne la variabilité des valeurs de charges admissibles et d'épaisseur de couche à considérer lors de la conception, en raison de la forte variabilité des conditions locales. Il est néanmoins possible

d'en indiquer une plage, typiquement entre 100 et 200 kg de MS/m²/an : 100 correspond aux conditions de séchage les moins favorables et 200 aux plus favorables, la valeur de 50 kg de MES/m²/an étant souvent utilisée dans les climats tempérés en Europe pour les boues de stations d'épuration (Duchène, 1990). Les conditions défavorables se caractérisent par une humidité élevée, des températures basses, de longues périodes de précipitation et/ou une forte proportion de BV fraîches. Les conditions favorables se caractérisent par un faible taux d'humidité, une température élevée, une faible pluviosité et des boues à traiter bien stabilisées. Des charges admissibles plus élevées sont mentionnées dans la littérature, pour certaines conditions particulières. Cofie *et al.* (2006) par exemple ont appliqué des charges allant jusqu'à 300 kg de MS/m²/an. Badji *et al.* (2011) a quant à lui mesuré une charge admise de 300 kg de MS/m²/an en conditions opérationnelles pour traiter des boues préalablement épaissies à une concentration de 60 g de MS/L. Ils mesurent par ailleurs, dans les mêmes conditions de séchage, une charge admise de 150 kg de MS/m²/an pour traiter des boues ayant une concentration de 5 g de MS/L.

Réaliser des tests de séchage pilotes au préalable est utile dans les cas non-documentés pour permettre une meilleure détermination de la charge admissible dans des conditions données.

7.3.4 Épaisseur de la couche de boues

La littérature rapporte des épaisseurs de couches appliquées de 20 à 30 cm, avec une prépondérance de couches de 20 cm. Il pourrait sembler plus intéressant d'appliquer des couches d'épaisseur supérieure, ce qui permettrait de sécher une plus grande quantité de boues par m², mais cela entraînerait aussi une augmentation du temps de séchage et donc une moindre rotation des lits dans l'année, et finalement une charge admissible moindre. Pour une même boue séchée dans les mêmes conditions climatiques, Pescod (1971) rapporte qu'une augmentation de la couche de boues de 10 cm augmente le temps de séchage de 50 à 100 %.

Les revanches des lits (parois latérales) doivent être suffisamment hautes pour permettre une sécurité et éviter les débordements. Par exemple, pour une couche de boues prévue de 20 cm, la revanche doit être supérieure à 20 cm. Quand les lits reçoivent des boues directement des camions (et non en provenance d'un bassin de sédimentation/épaississement ou d'un poste de pompage), la revanche ne doit toutefois pas être trop haute pour permettre le déversement depuis la cuve du camion.

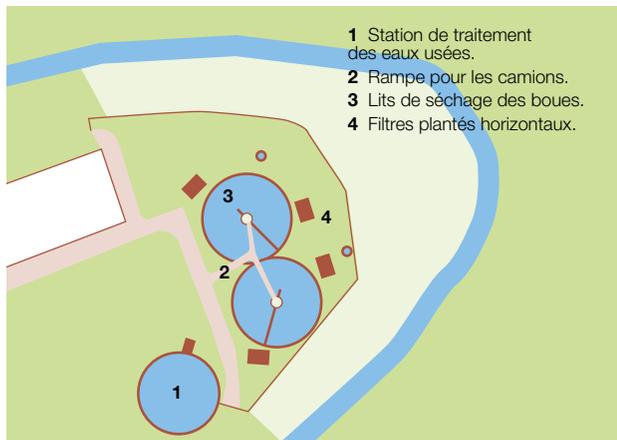


Figure 7.3 : Disposition envisagée pour un site de traitement de boues par lits de séchage non-plantés. Les lits sont disposés au sein des cercles, autour d'une entrée centrale. Le percolat drainé est ensuite traité dans des filtres plantés horizontaux (HPCIDBC, 2011).



Figure 7.4 : Application de boues dans les lits de la station de traitement de Niayes, Dakar, Sénégal (photo : Linda Strande).

7.3.5 Nombre de lits

Le nombre de lits requis dépend de la durée du séchage et de la fréquence d'arrivée des boues. Par exemple, pour deux semaines de séchage et des BV arrivant 5 jours par semaine, un minimum de 10 lits est nécessaire. Le nombre de lits peut alors être augmenté ou légèrement diminué pour prendre en compte l'épaisseur optimale de la couche de boues. Il est également important d'adapter le nombre de lits aux conditions réelles d'exploitation-maintenance prévisibles, en particulier pour tenir compte de la durée des opérations de curage des boues séchées ou du ralentissement du travail d'exploitation-maintenance par temps de pluie. Un nombre élevé de lits augmente la sécurité de fonctionnement, permettant une facilité d'exploitation-maintenance en cas d'arrivée de BV de caractéristiques différentes ou encore vis-à-vis des aléas d'exploitation-maintenance, mais cela augmente également les coûts d'investissement. Dans leur dispositif expérimental Cofie *et al.* (2006) ont utilisé deux lits de 25 m², avec une couche de 30 cm d'épaisseur, soit 7,5 m³ de boues par lit, par cycle de séchage. Pour la vallée de Kathmandou, HPCIDBC (2011) a prévu une disposition circulaire des lits avec une entrée centrale (figure 7.3). La surface prévue d'un lit de séchage était de 43 m² avec un nombre total de 28 lits, pour une charge admissible de 250 kg de MS/m²/an.

7.3.6 Résumé des paramètres de dimensionnement

Les valeurs mentionnées dans ce chapitre proviennent de contextes locaux donnés en termes de type de boues et de climat, et ne sont donc pas applicables à tous les cas de figure. Néanmoins, elles fournissent des ordres de grandeur typiques et illustrent l'interdépendance des paramètres. Pour dimensionner au mieux une station à lits de séchage non-plantés, l'ingénieur-concepteur doit se procurer des données locales, soit à partir de l'expérience existante, soit en réalisant des tests de séchage préliminaires dans les conditions locales. Un test de séchage consiste à mesurer le nombre de jours nécessaires pour atteindre un taux de déshydratation donné ou, au minimum, pour atteindre un état des boues permettant le curage des lits. Si par exemple les résultats de ces tests indiquent une période de séchage de deux semaines incluant un jour de dépotage et deux jours de curage, alors un lit peut être utilisé 26 fois par an. D'autres exemples de calculs sont donnés au paragraphe 7.7.

7.4 MISE EN ŒUVRE D'UN LIT DE SÉCHAGE NON-PLANTÉ

Un dispositif de traitement par lit de séchage est constitué d'un certain nombre de lits, d'un dispositif d'alimentation et de drainage du percolat ainsi que d'un espace extérieur aux lits pour le stockage et le séchage complémentaire des boues extraites des lits (avec éventuellement des bassins de décantation/épaississement en amont). Les boues peuvent être déversées sur les lits par les camions, soit directement lit par lit, soit dans une chambre de répartition qui renvoie les boues sur un lit (Cofie *et al.*, 2006), soit encore via une rampe d'alimentation. Une autre solution consiste à installer un bassin de réception des boues pour les pomper ensuite sur les lits de séchage. Une dalle de réception doit être prévue au niveau des déversements pour empêcher l'affouillement du sable et permettre une répartition plus homogène des boues à la surface du lit (Tilley *et al.*, 2014). Sans dalle anti-affouillement, la couche de sable serait rapidement endommagée. Un dégrillage peut être placé en tête pour retenir les déchets solides présents dans les boues, ce qui peut être utile pour faciliter la réutilisation des boues après séchage. Le lit de séchage est typiquement de forme rectangulaire, semi-enterré, avec un radier étanche. Comme on le voit sur la figure 7.1, le radier du lit est incliné pour permettre le drainage du percolat. Comme ce percolat est encore relativement chargé en matières en suspension, matières organiques et nutriments, il se peut qu'il doive être traité avant son rejet dans le milieu naturel, selon les objectifs de qualité requis pour le milieu naturel ou la valorisation.

7.4.1 Gravier et sable

Les drains sont enrobés et recouverts ensuite par des couches successives de gravier puis de sable. Lors de la mise en œuvre, il est important d'utiliser du sable et du gravier propres afin de réduire les risques de colmatage du lit par les particules fines. Ceci est valable lors de la construction initiale ainsi que pour les futurs ajouts de sable. On met en œuvre habituellement deux ou trois couches superposées avec des granulométries différentes (figure 7.1). La granulométrie des couches est choisie pour éviter la migration des petites particules dans les drains. La couche inférieure est constituée de graviers grossiers (plage granulométrique classique de 20 à 40 mm). La couche intermédiaire requiert un gravier plus fin, d'une granulométrie intermédiaire entre la couche au-dessous et la couche au-dessus, par exemple du 5 à 15 mm. L'assemblage doit être adapté aux disponibilités locales en matériaux. Par exemple, Cofie *et al.* (2006) ont utilisé un gravier de 19 mm de diamètre pour la couche inférieure (15 cm), puis un gravier de 10 mm pour la couche supérieure. Pour diminuer le risque de migration des particules de la couche de sable dans les couches de gravier, une troisième couche de gravillon peut également être intercalée, selon les disponibilités locales, par exemple avec une granulométrie 2 à 6 mm.

La couche de sable est placée au-dessus du gravier. Elle améliore la filtration et augmente la durée de vie en empêchant les particules de boue de migrer, de s'accumuler et de colmater les espaces poreux du gravier. La granulométrie du sable est importante : un gros sable (1 à 1,5 mm) peut entraîner une migration des matières organiques et ainsi augmenter le risque de colmatage. Selon Kuffour *et al.* (2009), ce risque est par contre réduit pour des granulométries plus fines (0,1 à 0,5 mm).

Lors du choix du sable, il est utile de garder en tête que les lits devront être rechargés régulièrement en sable, car à chaque cycle de séchage une petite quantité de sable colle aux boues et est retirée lors du curage. Il est donc recommandé que le sable choisi soit facilement disponible. Duchène (1990) rapporte une perte de quelques centimètres de sable tous les 5 à 10 cycles de

séchage, en conditions françaises. À la STBV de Cambérène à Dakar, on mesurait une perte de 5 cm après 25 cycles de séchage (Badji, 2008).

Il est aussi possible que le sable ait besoin d'être changé si de la matière organique s'y accumule et entraîne un colmatage du lit. Kuffour *et al.* (2009) mettent en relation le degré de colmatage et le taux d'accumulation de matière organique dans une couche de sable. Comme la matière organique s'accumule plus vite dans un sable grossier, un lit qui en est constitué est susceptible de se colmater plus vite. Cofie *et al.* (2006) ont dû remplacer le sable de leur pilote en raison du colmatage qui s'est produit deux fois en 8 cycles de déshydratation (10 mois). HPCIDBC (2011) a prévu de recharger le sable tous les trois ans, dans une station conçue pour une charge admissible de 250 kg de MS/m²/an, une couche de boues de 20 cm et une durée de séchage d'une semaine (en conditions népalaises).

7.4.2 Curage des boues

Un curage correct des boues séchées nécessite d'avoir atteint un taux de séchage suffisamment élevé pour que les matières soient pelletables. Selon Pescod (1971), sur la base de tests effectués sur différents types de boues, une siccité d'au moins 25 % est indispensable. Le temps de séchage nécessaire dépend d'un certain nombre de facteurs contextuels, dont l'un est la capacité de déshydratation des boues. Les boues sont curées manuellement ou avec des engins motorisés, les pelles et les brouettes étant la méthode la plus courante (figure 7.5).



Figure 7.5 : Curage des boues de lits non-plantés à la station de traitement de Cambérène, Dakar, Sénégal (photo : Linda Strande).

La mise en place d'une rampe dans les lits permettra l'accès aux brouettes et autres équipements pour le curage. Les boues séchées sont fréquemment stockées en simples tas pour des périodes allant jusqu'à un an, pendant lesquelles un abattement complémentaire des pathogènes est attendue. La déshydratation des boues continue aussi après que les boues soient curées grâce à l'évaporation, ce qui est intéressant pour obtenir des siccités élevées. Il est néanmoins recommandé de contrôler le produit final obtenu pour garantir la conformité de ses caractéristiques avec son utilisation finale.

La ré-humectation des boues est considérée comme problématique si les précipitations se produisent avant que l'eau libre des boues ait été drainée, ce qui a pour effet d'augmenter la teneur en eau des boues et par conséquent la période de séchage. Par contre lorsque la boue est déjà assez sèche pour craqueler, l'eau de pluie peut ruisseler directement à travers les craquelures pour rejoindre le système de drainage.

Étude de cas 7.2 : Station de traitement des boues de vidange de Cambéréne (suite de l'étude de cas 6.2).

Déjà présentée dans l'étude de cas 6.2, la STBV de Cambéréne est une association de bassins de décantation/épaississement et de lits de séchage non-plantés. Les lits de séchage ont été conçus sur la base d'une charge admissible de 200 kg de MS/m²/an et une couche de boue initiale de 20 cm d'épaisseur. L'exploitant considère que les boues sont suffisamment séchées lorsqu'elles peuvent être retirées à la pelle, c'est-à-dire lorsque les boues séchées se détachent facilement de la couche de sable. Dans les conditions climatiques de Dakar, cela correspond à 30-35 jours de séchage, y compris pendant la saison des pluies. La teneur en matière sèche atteint alors environ 50 % en moyenne, avec un horizon plus sec sur la partie supérieure de la croûte et une siccité de 20 à 30 % dans son horizon inférieur. L'exploitant a par ailleurs besoin d'une semaine pour organiser le curage des boues séchées, ce qui amène un cycle de rotation des lits de 40 jours pour chacun des 10 lits de 130 m². Ceci correspond à une charge massique réellement envoyée sur les lits de 340 kg de MS/m²/an. Par conséquent, l'exploitant utilise habituellement uniquement 6 ou 7 lits, au lieu des 10 lits prévus.



Figure 7.6 : Lits de séchage non-plantés, curage et stockage des boues à la station de traitement de Cambéréne, Dakar, Sénégal (photos : Pierre-Henri Dodane).

Le percolat qui sort des drains est encore relativement concentré : 2 500 mg de MS/L, 1 900 mg de MES/L et 3 600 mg de DCO/L. Les boues séchées sont retirées manuellement à la pelle. Ce travail demande environ deux jours à un ouvrier et consiste à curer les 7 cm d'épaisseur de boues séchées sur un lit de 130 m². La densité des boues séchées est alors d'environ 300 kg/m³, pour une production d'environ 600 m³/an stockée derrière les lits. Les boues séchées sont ensuite récupérées par des entreprises de travaux publics pour être utilisées en tant qu'amendement de sols sur leurs chantiers de terrassement.

7.5 QUALITÉ DES PRODUITS SORTANTS (BOUES SÉCHÉES ET PERCOLAT)

L'objectif principal d'un lit de séchage est de réaliser une déshydratation, c'est-à-dire une séparation physique entre les phases liquides et solides qui constituent les boues. Les lits de séchage réduisent les agents pathogènes partiellement et principalement en les desséchant, même si une biodégradation peut aussi avoir lieu. Par ailleurs, tous les polluants ne sont pas éliminés et peuvent se retrouver soit dans les boues, soit dans le percolat.

Tableau 7.2 : Analyses du percolat des lits de séchage de boues de Kumasi, Ghana (selon Koné et al., 2007).

	PREMIER JOUR	DERNIER JOUR	ÉCART
pH	8,2	7,9	- 0,3
EC (µS/cm)	21 900	11 400	- 10 500
MES (mg/L)	600	290	- 310
DCO (mg/L)	5 600	3 600	- 2 000
DBO (mg/L)	1 350	870	- 480
NH ₃ -N (mg/L)	520	260	- 260
TKN (mg/L)	590	370	- 220
NO ₃ -N (mg/L)	50	170	120

Koné *et al.* (2007), dans le cadre de tests de séchage à partir de mélanges de boues de fosses septiques et de toilettes publiques, ont analysé le percolat sortant le premier et le dernier jour de filtration, à travers différents paramètres (tableau 7.2). On constate que les concentrations mesurées ont été plus faibles le dernier jour, mais restent néanmoins relativement chargées avec, par exemple, une concentration en DBO de 870 mg/L. En fonction des objectifs de qualité du milieu récepteur ou de valorisation, le percolat peut donc nécessiter un traitement supplémentaire qui doit être réalisé par un procédé de traitement des eaux usées domestiques après adaptation, comme par exemple un lagunage (voir chapitre 5 - Montangero et Strauss, 2002). Il peut aussi être directement valorisé comme indiqué au chapitre 10.

Tableau 7.3 : Prévalence des œufs d'Ascaris et de Trichuris dans les boues de toilettes publiques et de fosses septiques de Kumasi (Koné et al., 2007).

	ASCARIS	TRICHURIS	TOTAL
Boues de toilettes publiques			
Échantillon 1	13 ^a (38 %) ^b	2 (13 %)	16 (34 %)
Échantillon 2		9 (52 %)	9 (52 %)
Boues de fosses septiques			
Échantillon 3	3 (23 %)	2 (0 %)	5 (13 %)
Échantillon 4	94 (53 %)	24 (58 %)	118 (54 %)
Échantillon 5	29 (37 %)	15 (25 %)	44 (32 %)

^a Nombre d'œufs/g de MS.

^b Pourcentage d'œufs viables, entre parenthèses (%).

Koné *et al.* (2007) ont également mesuré les quantités d'œufs d'*Ascaris* et de *Trichuris* dans les boues. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.3. Le dispositif consistait à appliquer sur des lits des mélanges de boues issues de toilettes publiques et de fosses septiques dans des proportions variables, à des charges comprises entre 196 et 321 kg de MS/m²/an, et pour une siccité atteinte d'au moins 20 %. On constate que la déshydratation sur les lits de séchage seuls n'a pas été suffisante pour inactiver tous les œufs d'helminthe : après séchage, les boues contenaient un total de 38 œufs par g de MS d'*Ascaris* et de *Trichuris*, dont 25 à 50 % étaient viables (Koné *et al.*, 2007). Ceci illustre la nécessité d'un temps de stockage supplémentaire ou d'autres types de traitements spécifiques, lorsque la désinfection totale est recherchée.

7.6 EXEMPLES DE CONCEPTION

Ce paragraphe fournit deux exemples de conception pour les lits de séchage non-plantés.

7.6.1 Exemple 1 : le temps de séchage est connu (deux semaines pour une épaisseur initiale de couche de boues de 15 cm).

Cet exemple illustre le paragraphe 7.4. Une station doit recevoir des boues avec une quantité journalière de 500 kg de MS par jour, à une concentration de 50 kg de MS/m³. Les tests préliminaires réalisés montrent qu'une couche de 15 cm d'épaisseur de ce type de boues met 11 jours pour atteindre la siccité souhaitée. En comptant 1 jour pour le déversement des boues sur les lits et 2 jours pour le curage des boues séchées, deux semaines pleines sont nécessaires à chaque lit pour un cycle de séchage complet. Un lit peut donc être utilisé 26 fois par an. La quantité à traiter de 500 kg de MS/jour (soit 10 m³/jour) nécessite 67 m² de lit (épaisseur de la couche : 15 cm). En supposant que les camions arrivent uniquement les jours ouvrés, il faut un nombre de 10 lits pour permettre un fonctionnement continu avec un cycle de 2 semaines : après chaque période de 2 semaines, un lit donné peut être libéré et utilisé à nouveau. Le besoin minimum pour la station est donc de 10 lits pour un fonctionnement continu. Ajouter quelques lits supplémentaires est néanmoins recommandé, d'une part, pour une meilleure flexibilité en cas de variation dans les qualités et quantités de BV et, d'autre part, pour permettre les opérations de maintenance exceptionnelle de la station comme le rechargement en sable. Le nombre de lits supplémentaires pouvant être ajoutés dépend aussi du potentiel d'investissement et des risques de variation dans la quantité et la qualité des boues.

7.6.2 Exemple 2 : Conception dans des conditions climatiques favorables pour des boues préalablement épaissies.

Dans cet exemple, une station doit être conçue pour des boues d'une concentration de 30 g de MS/L arrivant avec un débit moyen de 50 m³/jour, dans un contexte climatique favorable (voir paragraphe 7.3.1 pour plus d'informations sur le facteur climatique). La station reçoit les boues seulement en jours ouvrés, pendant 52 semaines par an. La masse annuelle des boues reçues peut être calculée à partir de l'équation 7.1 :

$$\text{Équation 7.1 : } M = c_i \times Q_i \times t.$$

Dans laquelle M est la charge à traiter en kg de MS par an, c_i est la concentration moyenne en matière sèche des boues entrantes en g de MS/L, Q_i est le débit en m³ par jour ouvré et t est le nombre de jours ouvrés par an. Pour la situation décrite, ceci correspond à :

Équation 7.2 : $M = 30 \times 50 \times 5 \times 52 = 390\,000$ kg de MS/an.

Étant donné que l'installation est mise en œuvre dans une région où les conditions climatiques sont favorables, une charge admissible de 200 kg de MS/m²/an peut être choisie. La charge annuelle à traiter nécessite donc une superficie totale de 390 000 kg (MS/an) / 200 kg (MS/m²/an) = 1 950 m².

Une épaisseur de 20 cm et un débit journalier à traiter de 50 m³/jour impliquent d'utiliser une surface de lit de 250 m² chaque jour ouvré. Un minimum de 8 lits de séchage de 250 m² est donc nécessaire pour atteindre les 1 950 m² requis.

Avec cette configuration, la durée du cycle de séchage sera donc de 10 jours, incluant 1 jour pour le curage. Pour rendre l'exploitation-maintenance plus facile et plus sûre, une durée de séchage de deux semaines pleines pourrait être recommandée. Dans ce cas, 10 lits sont nécessaires. La surface totale des lits de séchage à préconiser est alors de 2 500 m², ce qui correspond à une charge de 160 kg de MS/m²/an. Les boues seront appliquées une fois par jour, sur des lits consécutifs, avec une couche de 20 cm.

7.7 INNOVATIONS ET ADAPTATION DES LITS DE SÉCHAGE

Les lits de séchage pourraient être optimisés, notamment dans l'objectif d'augmenter la charge admissible ou de réduire la perte de sable. Parmi les études en cours, figurent l'utilisation d'un réseau de canalisations de chauffage, le séchage sous serre, l'utilisation de tamis métalliques ou encore de coagulants. Ces pistes sont abordées dans les paragraphes suivants.

7.7.1 Réseau de canalisations de chauffage

Radaidah et Al-Zboon (2011) ont étudié l'adaptation d'un lit de séchage de boues (boues provenant du traitement d'eaux usées) avec un dispositif de circulation d'eau chaude en provenance d'un chauffage solaire, dans le but d'optimiser le processus de séchage. Ils ont constaté que le séchage de ces boues sur un lit témoin non-modifié permet en 18 jours de passer de 96 % à 33 % d'humidité, alors que le même résultat est atteint en 10 jours seulement avec le dispositif de circulation d'eau chauffée à 70 °C. Ce dispositif pourrait être intéressant dans les contextes où le foncier est limité ou dans ceux où l'énergie solaire est accessible. Ce type de système est plus coûteux, mais il permet une amélioration intéressante du lit de séchage standard. Le même principe pourrait également être suivi avec la récupération de la chaleur résiduelle des procédés industriels (Diener *et al.*, 2012).

7.7.2 Séchage sous serre

Bux *et al.* (2002) ont testé le séchage en lits couverts avec des panneaux de verre, dans le cadre de l'optimisation du séchage de boues de l'industrie pharmaceutique. Une réduction du temps de séchage de 25 à 35 % a été rapportée. Il est important de noter qu'un dispositif de couverture des lits doit être bien ventilé, activement ou passivement, afin de permettre l'évacuation de l'air saturé en eau. Le séchage sous serre est également une technologie reconnue pour les boues de station d'épuration aux États-Unis, souvent associée à un mélangeur et à une soufflerie (Huber Technology, 2013). Des chercheurs travaillent actuellement à l'adaptation d'options à moindre coût pour les BV, comme par exemple à travers le projet FaME (figure 7.7).

7.7.3 Tamis métallique

Une autre piste consiste à utiliser un tamis inox comme surface de support pour améliorer le séchage et le drainage des boues, permettant de réduire également la quantité de sable évacuée avec les boues lors du curage (Tchobanoglous *et al.*, 2002). Bien que cela soit opérationnel pour le séchage des boues de station d'épuration, son efficacité pour le séchage des BV n'a pas encore été expérimentée.



Figure 7.7 : Installation pilote à la station de traitement de Cambéréne, Dakar, Sénégal, pour évaluer la déshydratation possible avec ventilation passive et active, sous serre (photo : Linda Strande).

7.7.4 Additifs

Pescod (1971) fait référence à une étude menée par Luong à Bangkok, en Thaïlande, où du sulfate d'aluminium et de potassium (alun) est ajouté aux BV pour améliorer leur capacité de déshydratation. Cette étude a montré que l'ajout d'alun est intéressant en saison des pluies seulement, aucun avantage significatif n'ayant été observé en saison sèche. Des recherches sur l'intérêt des coagulants pour le séchage des BV sont menées dans le cadre du projet FaME.

7.8 CONCLUSIONS

Ce chapitre a présenté l'état des connaissances sur les lits de séchage non-plantés utilisés pour le traitement des boues de vidange. Le développement des connaissances à venir permettra de préciser les recommandations pour leur conception, leur exploitation-maintenance et aidera à comprendre et à surmonter les problèmes.

7.9 BIBLIOGRAPHIE

- Badji K. (2008). *Traitement des boues de vidange : éléments affectant la performance des lits de séchage non-plantés en taille réelle et les mécanismes de séchage*. Engineer degree, Génie des Procédés, École supérieure polytechnique, Dakar, Sénégal.
- Badji K., Dodane P.-H., Mbéguéré M., Koné D. (2011). *Traitement des boues de vidange : éléments affectant la performance des lits de séchage non-plantés en taille réelle et les mécanismes de séchage*. Actes du symposium international sur la Gestion des boues de vidange, Dakar, 30 juin - 1^{er} juillet 2009, Eawag/Sandec.
- Bux M., Baumann R., Quadt S., Pinnekamp J., Mühlbauer W. (2002). *Volume Reduction and Biological Stabilization of Sludge in Small Sewage Plants by Solar Drying*. Drying Technology 20 (4-5), p. 829-837.

- Cofie O., Agbottah S., Strauss M., Esseku H., Montangero A. (2006). *Solid-Liquid Separation of Faecal Sludge Using Drying Beds in Ghana: Implications for Nutrient Recycling in Urban Agriculture*. Water Research 40 (1), p. 75-82.
- Cofie O., Koné D. (2009). *Case Study of Sustainable Sanitation Projects: Co-composting of Faecal Sludge & Organic Solid Waste*. Kumasi, Ghana. Disponible sur <http://www.susana.org/fr/>, consulté en mars 2017.
- Diener S., Reiser J.-C., Murray A., Mbéguéré M., Strande L. (2012). *Recovery of Industrial Waste Heat for Faecal Sludge Drying*. Sandec News no. 13, p. 16.
- Duchène P. (1990). *Les Systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités*. Documentation technique FNDAE 09, ministère de l'Agriculture et de la Forêt, France. Disponible sur <http://www.fndae.fr/archive/PDF/fndae09-a.pdf>.
- HPCIDBC (2011). *Status and Strategy for Faecal Sludge Management in the Kathmandu Valley, High Powered Committee for Integrated Development of the Bagmati Civilization, Kathmandu, Nepal*.
- Heinss U., Larmie S.-A., Strauss M. (1998). *Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics*. Sandec Report No.5/98 Second Edition, Eawag/Sandec, Dübendorf Switzerland.
- Huber Technology (2013). *Huber Solar Active Dryer SRT* (PDF). Disponible sur <http://www.huber-technology.com/>, consulté en mai 2013.
- Koné D., Cofie O., Zurbrügg C., Gallizzi K., Moser D., Drescher S., Strauss M. (2007). *Helminth Eggs Inactivation Efficiency by Faecal Sludge Dewatering and Co-composting in Tropical Climates*. Water Research 41 (19), p. 4397-4402.
- Kuffour A.-R., Awuah E., Anyemedu F.O.K., Strauss M., Koné D., Cofie E. (2009). *Effect of Using Different Particle Sizes of Sand as Filter Media for Dewatering Faecal Sludge*. Desalination 248, p. 308-314.
- Montangero A., Strauss M. (2002). *Faecal Sludge Management*, Sandec/Eawag. Notes de cours.
- Pescod M.-B. (1971). *Sludge Handling and Disposal in Tropical Developing Countries*. Journal of Water Pollution and Control Federation 43 (4), p. 555-570.
- Radaidah J.-A., Al-Zboon K. K. (2011). *Increase the Efficiency of Conventional Sand Drying Beds by Using Intensive Solar Energy: A Case Study from Jordan*. Presented at the 2011 2nd International conference on environmental science and technology. IPCBEE vol. 6, IACSIT Press, Singapore.
- Strauss M., Montangero A. (2002). *FS Management – Review of Practices, Problems and Initiatives*. DFID Engineering Knowledge and Research Project - R8056. Consultancy report to GHK, the United Kingdom, 73 p.
- Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th edition / revised. McGraw-Hill Engineering and Computer Science Books.
- Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R., Zurbrügg C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland. Édition française (2016) disponible sur www.sandec.ch/compendium_fr

Questions pour l'autoévaluation

1. Décrire le fonctionnement des lits de séchage et les principaux éléments les constituant.
2. Citer les deux mécanismes clés en jeu dans la déshydratation des boues sur les lits de séchage non-plantés.
3. Citer quatre facteurs clés à prendre en compte pour la conception de lits de séchage non-plantés.
4. Présenter les niveaux de qualité qui peuvent être atteints avec les lits de séchage non-plantés.