



ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE TOAMASINA



Guide d'exploitation Lits d'humification plantés

Version du 26 janvier 2016

SOMMAIRE

1	PRINCIPES GENERAUX ET CONCEPTION.....	4
1.1	1 ^{er} étage : traitement des boues	4
1.1.1	Principe.....	4
1.1.2	Fonctionnement	4
1.2	2° étage : traitement supplémentaire du percolat	5
1.2.1	Bassin de lagunage aérobic	5
1.3	CONCEPTION ET FONCTIONNEMENT A TAMATAVE	6
2	Indicateurs et repères de gestion.....	7
2.1	Synoptique de la station et repérage des lits.....	7
2.2	Classification des boues reçues.....	7
2.3	Indicateurs de suivi.....	11
3	PHASES D'EXPLOITATION	12
3.1	Phase d'acclimatation	12
3.2	Phase de montée en charge	13
3.2.1	Calendrier	13
3.2.2	Stress hydrique	14
3.3	Phase de croisière.....	14
3.4	Phase de curage	15
4	MONITORING	16

LISTES DES FIGURES

Figure 1. Schéma de principe d'un lit planté.....	4
Figure 2. Lits de séchage plantés de la station d'Andancette, France	4
Figure 3. Photo lagunage France (Photo Cemagref)	5
Figure 4. Schéma de fonctionnement d'un bassin de lagunage aérobie	5
Figure 5. Schémas synoptiques de la station réalisée.....	7
Figure 6 : Schéma synoptique de la division en carrés sur un lit (exemple du lit A).....	7
Figure 7. Indicateurs de bon fonctionnement.....	11
Figure 8. Indicateurs de stress avancé (ici stress hydrique).....	11
Figure 9. Système racinaire présentant 2 noeuds de racelles.....	12

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Flux de matières théoriquement prévus à la station.....	6
Tableau 2 : typologies des boues recevables à la station	9
Tableau 3 : Calendrier prévisionnel du démarrage et redémarrage des lits.....	14
Tableau 4 : Calendrier d'alimentation (cycle court).....	15
Tableau 5 : Calendrier de curage (cycle long) et des hauteurs d'humus prévus	15
Tableau 6 : Paramètres pour le suivi	17

GLOSSAIRE & DEFINITION

Boue : matière fécale plus ou moins digérée arrivant à la station

Bio-solide : boues après traitement

Charge massique : charge en masse de boue par unité de surface de lit de séchage

Charge nominale : charge correspondant à la capacité de traitement théorique de la station

Charge volumique : charge en volume de boue par unité de surface de lit de séchage

MS : matière sèche

MV : matière volatile



« L'utilisation des éléments de cette publication est autorisée avec mention claire de l'auteur" »

1 PRINCIPES GENERAUX ET CONCEPTION

1.1 1^{er} étage : traitement des boues

1.1.1 Principe

Les lits de séchage plantés sont des massifs drainants dans lesquels sont plantées et se développent des macrophytes (plantes robustes de zones humides). Les boues de vidange sont dépotées à leur surface. La déshydratation s'opère par filtration et drainage gravitaire à travers le massif filtrant et par évapotranspiration. La couche de boue accumulée assure elle-même une fonction de filtration et permet d'augmenter le rendement initial de filtration du matériau filtrant. La perméabilité globale du système est maintenue par le système racinaire des végétaux et par les périodes de séchage (i.e. sans alimentation) cycliques des boues permettant leur aération et la transformation des matières.

La longue durée de rétention des solides favorise leur transformation en composés assimilables par les plantes (humus) et l'élimination naturelle des pathogènes.

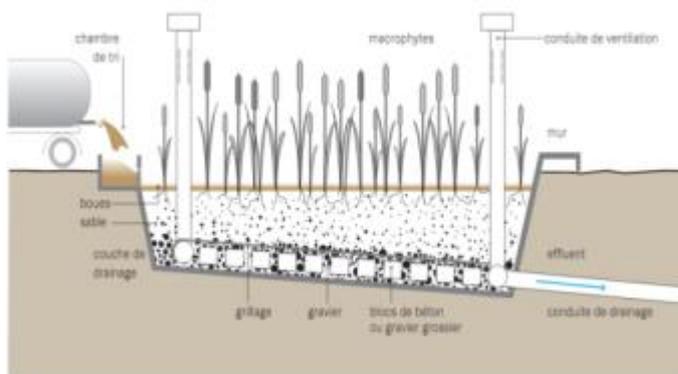


Figure 1. Schéma de principe d'un lit planté



Figure 2. Lits de séchage plantés de la station d'Andancette, France

1.1.2 Fonctionnement

Le traitement fonctionne donc selon 2 cycles :

- un cycle court dépotage-séchage : les boues sont dépotées sur un lit où elles se déshydratent pendant plusieurs jours, ce qui implique plusieurs lits. En contexte tropical, un rythme d'1 jour d'alimentation suivi de plusieurs jours de séchage est préconisé
- un cycle long d'accumulation-extraction : les boues s'accumulent progressivement au fil des mois et des années, jusqu'à remplir la totalité du volume alloué. Les racines des macrophytes se développent pendant ce remplissage progressif et la boue continue de se déshydrater, s'humifie et se désinfecte. Le remplissage peut atteindre une hauteur de 1 à 2 mètres en plusieurs années. A l'issue, une opération de curage doit être effectuée pour vider les bassins et recommencer un nouveau cycle d'accumulation.

A la différence des lits non plantés, les boues séchées à la surface des lits plantés ne sont pas retirées avant chaque cycle d'alimentation : les boues de vidange nouvelles sont dépotées sur la couche de boues déshydratée déjà accumulée lors des applications précédentes.

Cette technique permet ainsi de réaliser dans un même temps la déshydratation, la stabilisation et une hygiénisation des boues. D'une utilisation simple et avec une performance de traitement élevée, elle permet d'obtenir des bio-solides suffisamment désinfectés et humifiés pour en faire un engrais pour l'agriculture.

1.2 2° étage : traitement supplémentaire du percolat

La fraction liquide des boues de vidange percolée à travers les lits plantés, bien que de faible volume, présente des concentrations résiduelles en matières en suspension et en matières oxydables. Afin d'assurer la meilleure protection du milieu naturel, le traitement de ce percolat est complété par une lagune aérobie de faible profondeur permettant la décantation des matières résiduelles et un abattement de finition des polluants et des organismes pathogènes. L'eau issue de la lagune sera appliquée sur un système de filtration/infiltration (dispositif zéro rejet)

1.2.1 Bassin de lagunage aérobie

Ce procédé réputé robuste permet d'atteindre des rendements satisfaisants sur la DBO₅ et de décanter une fraction résiduelle de MES. Le fonctionnement du traitement supplémentaire du percolat par lagunage est avantageux de par ses faibles coûts d'exploitation.



Figure 3. Photo lagunage France (Photo Cemagref)



Figure 4. Schéma de fonctionnement d'un bassin de lagunage aérobie

Le traitement supplémentaire par lagunage fonctionne en continu. Il reçoit le percolat filtré à travers l'étage de traitement des boues. Cette fraction liquide y séjourne pendant une durée définie pour permettre l'abattement de la pollution et la décantation des matières résiduelles en suspension. Ces matières décantées formeront un dépôt au fond du bassin, qui doit être vidangé lorsqu'il atteint 20% de la hauteur d'eau du bassin. Cette opération pourra être effectuée par un camion de vidange, et le dépôt sera appliqué sur les lits plantés du traitement des boues de vidange.

1.3 CONCEPTION ET FONCTIONNEMENT A TAMATAVE

Les tableaux ci-dessous synthétisent :

- Les flux de matières prévus en théorie, en entrée station et en sortie
- Le fonctionnement théorique global des lits

On peut retenir les bases de fonctionnement théorique suivantes en fonctionnement pleine charge (après phase de démarrage):

- Alimentation d'un même lit par 5 m³ de boue tous les 7 jours (1 fois par semaine)
- Utilisation de 4 lits
- Alimentation en boues d'un volume de 5 m³ par lit et par semaine, (soit 20 m³/semaine pour la station entière)
- Minimum de 8 zones d'aspersion par lit à chaque alimentation (partition de chaque lit en carrés de 6*6 m²)

	Entrée station	Sortie station
	Boues de vidange	Bio-solides à extraire :
	<ul style="list-style-type: none"> - MS = 110 g/L - MV = 65 % MS 	<ul style="list-style-type: none"> - 110 t bio-solides / an - 360 m³/an
1er étage	par an : 114 400 kg MS/an et 1 040 m ³ /an par semaine : 2200 kg MS/s et 20 m ³ /s 5 jours / 7 soit 260 jours /an	Siccité attendue : 50% Etat organique : humifié Désinfection ~ 1 œuf d'helminthe / g MS
	Eau usée	Eau traitée
2° étage	Par an : 5 700 kg MS/an et 730 m ³ /an Par semaine : 110 kg MS/s et 14 m ³ /s	2 m ³ /j en moyenne, hors pluie

Tableau 1 : Flux de matières théoriquement prévus à la station

2 INDICATEURS ET REPERES DE GESTION

2.1 Synoptique de la station et repérage des lits

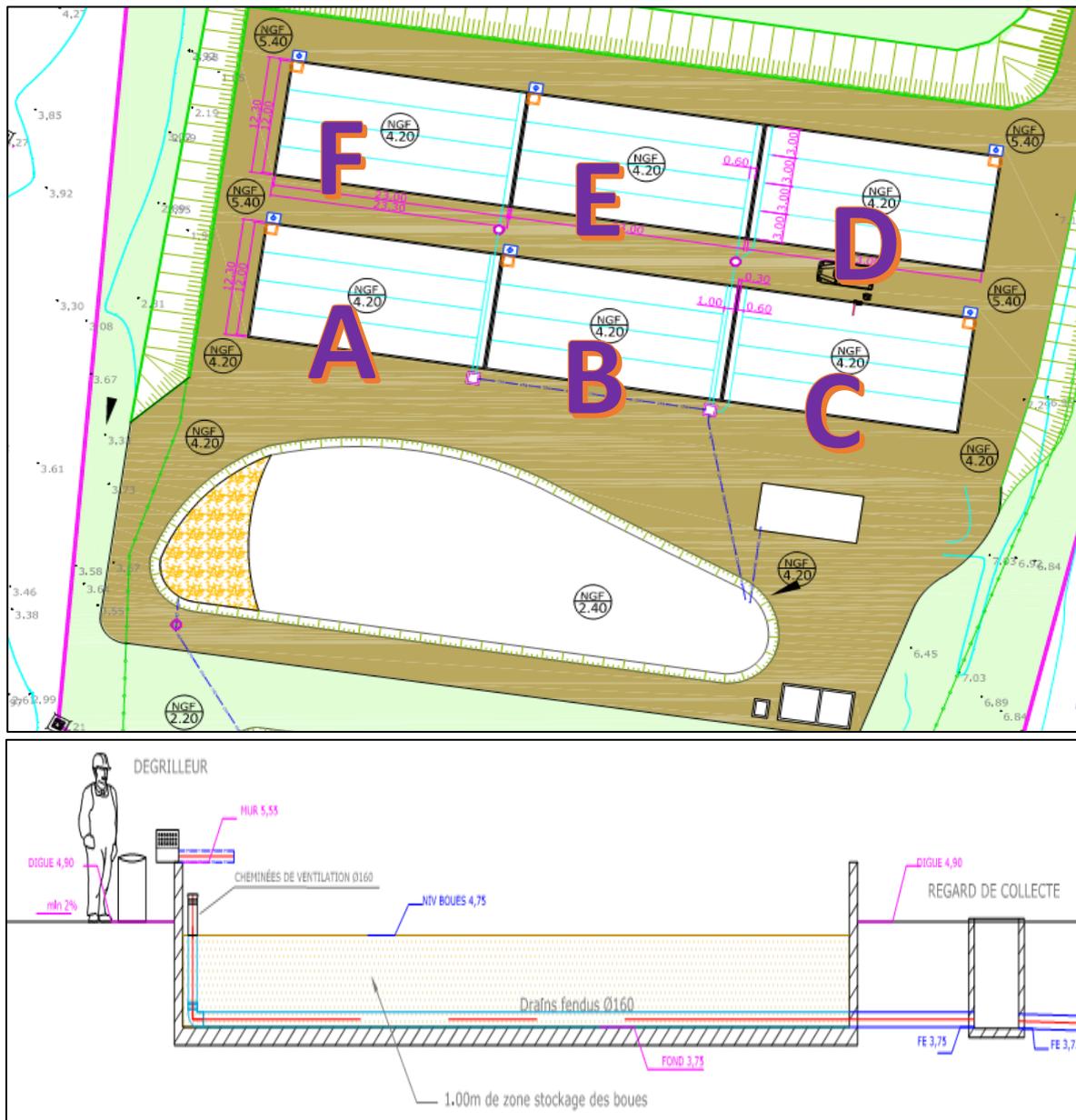


Figure 5. Schémas synoptiques de la station réalisée

A5	A6	A7	A8
A4	A3	A2	A1

Lit A

Figure 6 : Schéma synoptique de la division en carrés sur un lit (exemple du lit A)

2.2 Classification des boues reçues

	Type de boue	Couleur	Odeur	Viscosité	Origine probable	% reçu*	Appellation choisie
	Digérée liquide	Marron	Faible	Liquide -> Onctueuse	Fosse septique MILIEU	10 %	LIQUIDE
	Digérée liquide concentrée	Marron	Faible	Onctueuse	Fosse septique en BAS	50 %	ONCTUEUSE (CONCENTREE)
	Très digérée pâteuse	Noire	Faible	Nettement Pâteuse (sortie à la pelle)	Fosse septique en BAS	15 %	TRES CONCENTREE

	Fraiche pâteuse	Jaune - verdâtre	Forte	Pâteuse	Tinette	Latrine simple en HAUT	25%	FRAICHE
	Croute (chapeau)	Grise Noire	/	Faible	Solide	Fosse septique En HAUT	peu	CROUTE

* : indicatif, à confirmer avec le prestataire chaque trimestre

Tableau 2 : typologies des boues recevables à la station

On distingue les types de boues reçues à la station selon leur impact possible sur le traitement, à partir de 2 paramètres majeurs : le degré de concentration et le degré de digestion. Cette catégorisation amène à distinguer les 5 grands types de boues suivants curées par les prestataires de Tamatave (détails dans le tableau suivant) :

- Liquides
- Concentrées, mais toujours liquides
- Pâteuses mais digérées
- Pâteuses et fraîches
- Croute

Les boues digérées liquides ne posent pas de problème majeur pour le traitement. Les boues pâteuses, digérées et fraîches, sont susceptibles de gêner le traitement en raison de :

- Difficulté à déverser
- Potentiel de colmatage plus important, en particulier les boues fraîches, en particulier en pleine saison des pluies

Ces derniers types de boues pourront être déversés après avoir été mélangées de la manière suivante. Le mélange peut avoir lieu dans une cuve prévue à cet effet ou bien directement dans les lits.

- Des boues pâteuses digérées après dilution
- Des mélanges de boues liquide et pâteuses digérées (mélange 1)
- Des mélanges de boues liquides et pâteuses fraîches (mélange 2)

2.3 Indicateurs de suivi

Les principaux indicateurs à utiliser quotidiennement pour le pilotage du traitement sont visuels :

- La bonne santé des plantes, observée à travers :
 - o Le développement de nouvelles tiges
 - o La couleur verte
 - o Les variations en couleur, aspect et densité
- La couche de boue, observée à travers :
 - o L'existence de craquelures avant nouvelle alimentation
 - o Couleur progressant vers le marron
 - o Aspect pulvérulent (comme un terreau)

Des indicateurs quantifiables sont aussi utiles pour suivre les évolutions. Il s'agit de :

- Longueur des tiges
- Densité des tiges
- Hauteur de la couche de boue



Densité et couleur des plantes



Inflorescence



Couche de bio-solides

Figure 7. Indicateurs de bon fonctionnement



Figure 8. Indicateurs de stress avancé (ici stress hydrique)

3 PHASES D'EXPLOITATION

On peut distinguer 4 grandes phases dans le fonctionnement des lits plantés.

3.1 Phase d'acclimatation

Après la plantation des roseaux, une période d'acclimatation avec très peu d'apport de boue est recommandée. En effet, avant de recevoir des apports de boues, les végétaux doivent s'acclimater à leur environnement nouveau.

Durant cette période l'alimentation des macrophytes pour favoriser leur développement peut être réalisée :

- Par mise en charge des lits (ponding) avec une eau légèrement claire et l'apport de boues digérées liquides de manière sporadiques. Selon l'étanchéité des lits, des alimentations complémentaires peuvent être réalisées pour compléter le niveau d'eau dans le bassin.
- Par arrosage régulier par aspersion avec de l'eau légèrement usée ou de courtes alimentations ponctuelles en boues pour apporter des nutriments et habituer la plante à son futur milieu.

Cette phase implique :

- La disponibilité d'une ressource en eau claire (ici l'étang voisin) à proximité
- La possibilité de la mobiliser avec une moto-pompe
- Un autre endroit pour dépoter les éventuelles boues pendant cette période

Elle sera menée de préférence en saison des pluies, et pourra durer un mois.

Note sur la plantation

Les racines des plants doivent présenter 2 nœuds de radicule au moins, pour une longueur de racine d'environ 0.3-0.5 m. Toutes les informations doivent être fournies sur l'origine des plants, la date d'extraction du milieu et de transport, ainsi que leurs dénominations commune et latine. Les plantes seront plantées le lendemain de leur prélèvement en zone naturelle et transporter dans des conditions garantissant leur hydratation.

Les racines comportent une motte de terre originale afin de faciliter la reprise. Elles sont plantées dans la couche de sable en surface des lits.



Figure 9. Système racinaire présentant 2 nœuds de radicules



Inflorescence typique de l'espèce *Echinochloa Pyramidalis*

3.2 Phase de montée en charge

3.2.1 Calendrier

La pleine charge prévue au dimensionnement (charge « nominale ») ne peut pas être appliquée dès le démarrage des lits. Pendant cette phase, une montée en charge progressive de l'alimentation est préconisée pour permettre aux plantes de se développer jusqu'à une densité suffisante pour recevoir la totalité de la charge prévue.

La période de montée en charge a pour objectif d'atteindre une densité de tiges d'environ 250-300 tiges par m². Elle pourra durer 4 mois, de préférence en saison des pluies, et être organisée de la manière suivante :

- Mois 1 : charge reçue à 25% de la charge nominale prévue, soit 25 kg MS/m²/an, soit 5 m³/mois par lit, répartis en 2 dépotages hebdomadaire de 0.625 m³ de boues par lits.
- Mois 2-3 : charge reçue à 50% de la charge nominale prévue, soit 50 kg MS/m²/an, soit 10 m³/mois par lits répartis en 2 dépotages hebdomadaire de 1.25 m³ de boues par lits.
- Mois 4 : charge reçue à 75% de la charge nominale prévue, soit 80 kg MS/m²/an, soit 15 m³/mois par lits répartis en 2 dépotages hebdomadaire de 1.875 m³ de boues par lits.

Pendant cette phase, les volumes de boue sont répartis 2 fois par semaine afin de fournir de l'eau à la plante. Pour faciliter leur répartition sur le lit, une dilution au préalable avec de l'eau claire pourra être nécessaire).

Cette phase implique :

- La disponibilité d'une ressource en eau claire (ici l'étang voisin) à proximité
- La possibilité de la mobiliser (moto-pompe) pour la dilution des boues, en particulier le premier mois
- Un autre endroit pour dépoter les éventuelles boues excédentaires pendant cette période

Durant les phases d'acclimation et de montée en puissance, les lits pourront nécessiter un désherbage manuel d'autres plantes qui trouveraient un environnement favorable mais nuiraient au développement des macrophytes.

Mois	Semaine	Lit X	Lit Y	Type de boue	Phase
1*	1	Ponding	Ponding	Eau claire avec quelques apports de boues digérées chaque semaine	Acclimatation
	2	Ponding	Ponding		
	3	Ponding	Ponding		
	4	Ponding	Ponding		
2	5	1.25 m ³	1.25 m ³	Boues digérées liquides	Montée en charge
	6	1.25 m ³	1.25 m ³		
	7	1.25 m ³	1.25 m ³		
	8	1.25 m ³	1.25 m ³		
	9	1.25 m ³	1.25 m ³		
3	10	2.5 m ³	2.5 m ³	Boues digérées liquides	
	11	2.5 m ³	2.5 m ³		
	12	2.5 m ³	2.5 m ³		
	13	2.5 m ³	2.5 m ³		
4	14	2.5 m ³	2.5 m ³	Boues mélangées	
	15	2.5 m ³	2.5 m ³		
	16	2.5 m ³	2.5 m ³		

	17	2.5 m ³	2.5 m ³	
	18	2.5 m ³	2.5 m ³	
5	19	3.75m ³	3.75 m ³	Boues mélangées
	20	3.75m ³	3.75 m ³	
	21	3.75m ³	3.75 m ³	
	22	3.75m ³	3.75 m ³	

* : Ou passer directement à l'alimentation en boue après une phase de curage

Tableau 3 : Calendrier prévisionnel du démarrage et redémarrage des lits

3.2.2 Stress hydrique

Durant cette phase, les plantes ne sont pas encore fortes et installées. Il convient donc de limiter autant que possible les fauteurs de stress.

Le stress hydrique a été noté comme impactant à Tamatave, pendant les mois d'octobre et de novembre. Les phases de démarrage de lits et de reprise après curage seront organisées préférentiellement en saison des pluies.

En cas de stress hydrique, la conduite à tenir est la suivante :

- Augmentation de la fréquence de déversement et de la dose
- Si l'état de stress persiste, mise en eau des bassins à partir d'une source d'eau extérieure (pounding)

3.3 Phase de croisière

Cette phase est la plus longue en durée mais aussi la moins contraignante : elle consiste en l'alimentation des lits avec les boues brutes. Les lits peuvent à priori être alimentés en boues mélangées, dont les proportions sont encore à préciser.

	Rythme d'alimentation, phase de croisière					
	Lit A	Lit B	Lit C	Lit D	Lit E	Lit F
Lundi	5					Curage & reprise
Mardi		5				
Mercredi			5			
Jeudi				5		
Vendredi						
Samedi						
Dimanche						
Lundi	5					
Mardi		5				
Mercredi			5			
Jeudi				5		
Vendredi						
Samedi						
Dimanche						
Lundi	5					
Mardi		5				
Mercredi			5			
Jeudi				5		
Vendredi						

Samedi				
Dimanche				
Lundi	5			
Mardi		5		
Mercredi			5	
Jeudi				5
Vendredi				
Samedi				
Dimanche				

Tableau 4 : Calendrier d'alimentation (cycle court)

3.4 Phase de curage

Chaque fois qu'un lit est rempli (hauteur d'humus atteignant la revanche), il doit être curé. Afin de ne pas avoir à curer tous les lits en même temps (ce qui nécessiterait une rupture de fonctionnement de la station et un dépotage de boue ailleurs), il faut prévoir des curages alternatifs des lits, tels que prévus en théorie au chapitre 3.

Un curage a besoin de :

- Une période de séchage au préalable, sans alimentation en boue, qui pourrait être de 2 mois compte tenu de la forte pluviométrie de Tamatave
- Un curage des bassins en coupant les racines à environ 5-10 cm au-dessus de la couche de sable
- Une reprise progressive de l'alimentation comme décrite au 4.2 jusqu'à reprise des plantes à la densité recherchée de 250-300 tiges par m².

On peut donc compter approximativement et de manière à priori sécuritaire 12 mois pour cette phase de curage, avec une couche d'humus atteinte de 20 cm.

		Hauteur d'humus (cm) / opérations de curage					
Année		Lit A	Lit B	Lit C	Lit D	Lit E	Lit F
1	Cycle 1	20	20	0	0	0	0
2		50	50	20	20	0	0
3		80	80	50	50	20	20
4	Cycle 2	Curage +20	Curage +20	80	80	50	50
5		50	50	Curage +20	Curage +20	80	80
6		80	80	50	50	Curage +20	Curage +20
7	Cycle 3	Curage +20	Curage +20	80	80	50	50
8		50	50	Curage +20	Curage +20	80	80

* année de démarrage lits A et B

Tableau 5 : Calendrier de curage (cycle long) et des hauteurs d'humus prévus

4 MONITORING

L'objectif du monitoring est triple :

- 1- Pouvoir réagir dans les meilleurs temps pour solutionner un problème : la station étant « vivante », le délai de réaction doit être adapté. Les indicateurs doivent être suivis afin de baser la réaction sur une bonne compréhension de l'origine d'un problème
- 2- Avoir une bonne gestion (contrôle, anticipation ...) de la station, ce qui concerne notamment :
 - Quantités déversées
 - Taux d'accumulation réel des bio-solides
 - Qualité de l'humus accumulé
- 3- Continuer de mettre au point de manière plus optimisée les différentes phases des lits plantés : aujourd'hui ces phases sont encore insuffisamment renseignées pour des boues de vidange et climat tropicaux. Elles sont d'autant moins prédictibles que les boues de Tamatave sont très concentrées, et épandues via un système de répartition qui doit faire ses preuves. Concerne notamment :
 - Durée de chaque phase
 - Quantité de boue (charges) et proportions des mélanges entre boue
 - Fréquence d'alimentation optimale et durée de repos selon la boue et le climat

Le monitoring s'organise à travers 3 axes :

- Connaissance des flux de boue entrants dans la station
- Connaissance des tâches accomplies (calendrier des déversements par lit, répartition des boues sur les lits ...)
- Indicateurs de bonnes conditions de traitement (aérobie), à travers l'observation des plantes (couleur, densité ...) et des boues en transformation (odeurs, stagnation d'eau, présence de lombrics)

Moyens nécessaires :

- Cahier de station (version papier et informatique)
- Appareil photo
- Mètre, marqueur ... et tout élément local permettant l'évaluation des volumes déversés

Le tableau suivant dresse une liste des paramètres à suivre et à archiver.

Fréquence	Information
A chaque alimentation	<ul style="list-style-type: none"> - Référence du lit et du carré alimenté - Date - Volume de boue brute injecté - Type de boue ou de mélange (avec les proportions) - Photographie des zones arrosées lors de l'injection des boues
Une fois par semaine	<ul style="list-style-type: none"> - Photographie des plantes sur tous les lits - Constat de présence ou absence d'eau stagnante dans les lits - Photographie de la surface des boues avant nouveau déversement
Une fois par mois	<ul style="list-style-type: none"> - Dénombrement des plantes par zone : estimation des densités, tailles, couleurs - Météo - Hauteur des boues dans les lits (à l'aide d'un mètre au début, puis d'un marquage gradué sur les murs par la suite)
Une fois par semestre	<ul style="list-style-type: none"> - Carottage de boue : constat de présence de lombric, couleur, humification

Tableau 6 : Paramètres pour le suivi