



Projet mise en œuvre d'améliorations des services d'assainissement adaptés

Station décentralisée de traitement anaérobie des boues de
vidange

Note descriptive
20 Septembre 2013



BIOECO SARL
bioecosarl@yahoo.fr
www.bio-e-co.fr

Bioeco – Sté au capital de 10 000€ RCS BLOIS 51278327 - TVA FR 08512758327

6, rue de la vallée des buis – Pontijou - 41500 MAVES Tél 02 54 87 32 41

ABREVIATIONS

ETM	Éléments Traces Métalliques
CTO	Composés Traces Organiques
DCO	Demande Chimique en Oxygène
MES	Matière En Suspension

BIBLIOGRAPHIE

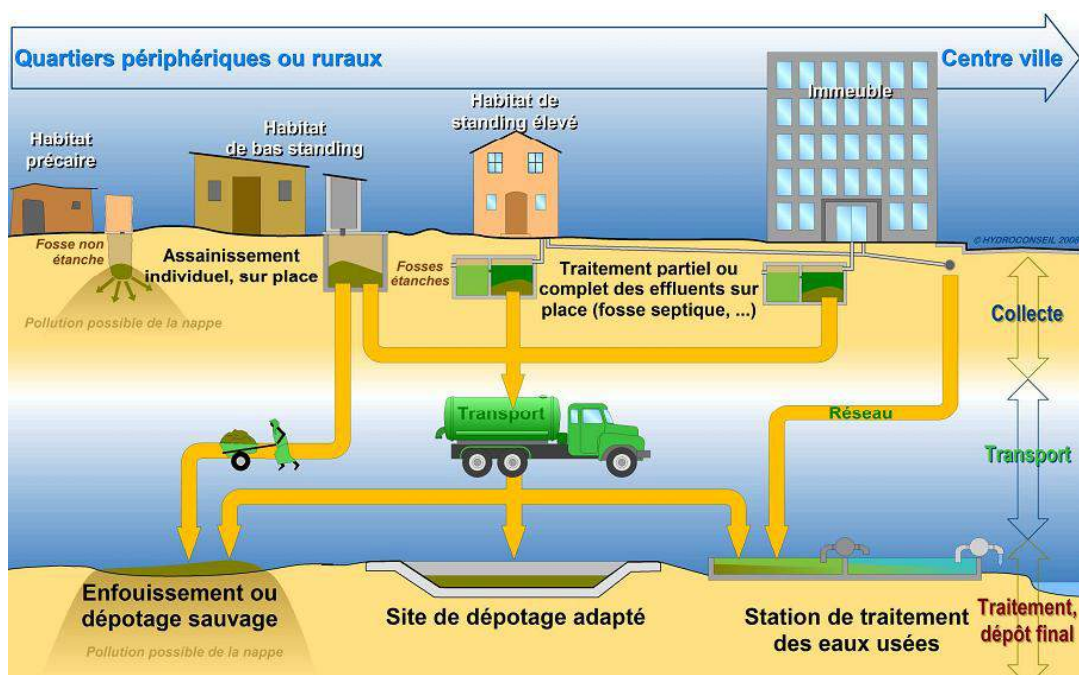
Agence de l'eau Méditerranée/Corse	Méthanisation des boues de stations : Règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse
Couturier	Effets de la digestion anaérobie sur les micropolluants et germes pathogènes, SOLAGRO, 2002
Dudkowski	L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines , INRA-ME&S, 2010
Deporte, Brunet, Aupetitgendre, Cauchi, Gay, Denis, Delery	Évaluation des risques sanitaires des filières d'épandage des stations d'épuration, ADEME, INERIS, SYPREA, FP2E, 2007
APRIFEL	Les boues d'épuration : Document de synthèse, Comité Sécurité Alimentaire de l'Aprifel
Vivekanandan,Kamaraj	Effect of co-digestion of cow dung with rice chaff, rice straw and rice husk in biogas production using anaerobic digestion, Solar/Energy Laboratory, Annamalai University, India, 2011
Velly	La fertilisation en silice du riz à Madagascar, ORSTOM,1975
Sarr, Ganry	Apport de compost CIDR, ISRA,1983
Guillaume	Etudie la faisabilité de la gestion des boues de vidange dans le fokontany d'Andafiatsimo, commune de Tanjombato, Gret, 2013
Moletta, Rambaud	La fosse septique : le réacteur anaérobie, le plus répandu en France, ISAEU,2008 (présentation ppt assises nationales ANC)

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

Contexte et enjeux du traitement des boues

Près de 2,6 milliards de personnes sur Terre ne bénéficient toujours pas de toilettes améliorées. Actuellement, les efforts en matière d'assainissement sont concentrés sur l'équipement des ménages en latrines. Néanmoins, la construction de latrines n'est pas suffisante pour éloigner le péril fécal des habitats, car il faut aussi évacuer et traiter les boues fécales contenues dans les fosses de latrines.

L'assainissement autonome (avec vidange des boues) représente aujourd'hui la solution prépondérante qui se présente aux ménages. En effet, les réseaux d'assainissement collectif représentent des investissements très importants et sont délicats à entretenir et à gérer. Ils ne desservent donc qu'une partie des populations des grandes agglomérations (centres villes). Dans les petites villes et les périphéries urbaines, qui disposent de faibles capacités en termes de moyens techniques, humains et financiers pour implanter et gérer les réseaux d'égouts, ce sont les pratiques rurales d'assainissement autonome qui prédominent encore largement (latrines ou fosses septiques).



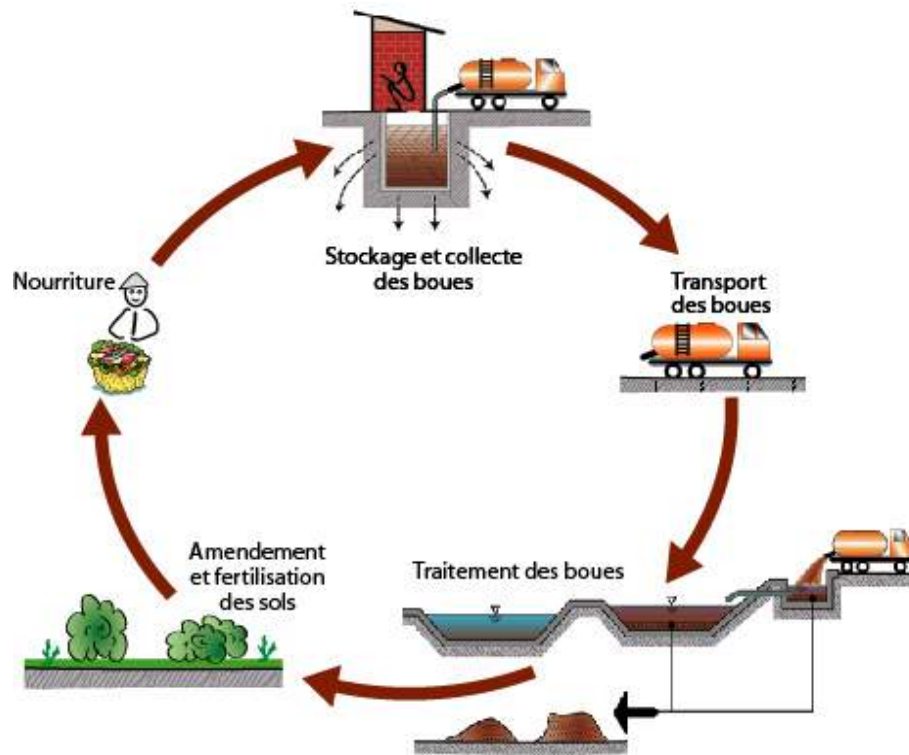
(GRET-J Gabert 2012)

De manière générale, un marché de la vidange des fosses de toilettes s'est développé dans de nombreuses localités, et la question se pose du traitement des boues de vidange. Les produits de vidange doivent être évacués et traités pour des raisons évidentes d'hygiène et de santé publique. Pour éviter que les problèmes ne soient simplement repoussés en aval, il importe donc de prendre en compte la filière d'assainissement dans sa globalité. Les solutions doivent porter aussi bien sur l'évacuation que sur le traitement des eaux usées. Les solutions techniques varient cependant en fonction de différents critères, par exemple des moyens financiers locaux, de la consommation d'eau des usagers, du statut foncier des terrains, de la densité de population, des compétences requises pour la gestion des infrastructures d'assainissement, etc. (GRET 2012)

Toutes les solutions de traitement des boues génèrent deux produits :

- Eaux usées traitées répondant aux normes sur les rejets. Ces eaux sont rejetées ou utilisées en irrigation.
- Boues ultimes

Un enjeu essentiel du traitement des boues est de pouvoir réutiliser les boues concentrées en agriculture. En effet ces boues sont riches en éléments nutritifs et permettent d'améliorer les caractéristiques des sols.



(Tilley 2008)

Le projet MIASA

Miasa (Mise en oeuvre d'améliorations des services d'assainissement adaptés à l'agglomération d'Antananarivo) est un programme qui a démarré en mars 2012. Ce programme, financé par l'Union européenne, vise à améliorer les conditions d'assainissement dans l'agglomération d'Antananarivo, en améliorant les conditions sanitaires et environnementales dans les quartiers défavorisés d'Antananarivo. Pour cela, il agit sur l'ensemble de la filière de l'assainissement, c'est-à-dire l'accès des ménages aux toilettes, la vidange et le traitement. Il appuie également les autorités locales dans leur rôle de maîtrise d'ouvrage des activités. Il accompagne les ménages défavorisés pour qu'ils puissent bénéficier de facilités de paiement.

Miasa intervient dans trois communes de la communauté d'agglomération d'Antananarivo, la Commune Urbaine d'Antananarivo, Tanjombato et Ampitatafika. Il se déroule dans cinq fokontany, ceux d'Ankazaomanga Atsimo, Antanjombe Avaratra et Anosipatrana Andrefana dans la CUA, Andafiatsimo à Tanjombato et Avaratetezana à Ampitatafika.

L'approche sur l'ensemble de la filière est innovante car il n'existe pas de site de traitement des boues de vidange dans la CUA et son agglomération. Des sites de traitement décentralisés, à l'échelle des fokontany seront mis en place. Leur proximité permettra de diminuer le temps de transport des boues de vidange, facteur déterminant pour un service de gestion des boues de vidange de qualité. Le premier site où sera installé le site de traitement se situe dans le fokontany d'Andafiatsimo, commune de Tanjombato.

Réglementation

Les rejets sont réglementé par **le Décret 2003-943 relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux superficielles ou souterraines**

« Pour les réseaux publics d'assainissement non pourvus à leur extrémité d'une station dépurative collective :

- débarrassés de matières flottables, précipitables
- ne doit pas contenir plus de 100 mg/l de matières en suspension
- la demande biochimique en oxygène doit être inférieure à 200 mg/l
- la concentration en azote ne doit pas excéder 60 mg/l
- le rejet ne doit pas renfermer de substances susceptibles d'entraîner la destruction et la dégradation de toute vie aquatique ou piscicole en aval du point de déversement. »

ETAT DES LIEUX

Suite à des études socio-économiques d'analyses des conditions de vie et des pratiques d'assainissement réalisées en juillet-août 2012, le **fokontany d'Andafiatsimo dans la commune de Tanjombato** a été sélectionné pour la phase pilote du projet.

La commune de Tanjombato appartient au district d'Antananarivo Atsimondrano, région de l'Analamanga. Elle se situe à 7 km au sud de la Commune Urbaine d'Antananarivo (CUA). Elle est notamment empruntée pour se rendre à Antsirabe. Elle compte plus de 46 000 habitants répartis entre 7 fokontany sur 5,35 km².

Le fokontany d'Andafiatsimo comptait 7 089 habitants divisés en 1 927 ménages en 2011.

Afin de connaître les conditions socio-économiques, les pratiques et habitudes des ménages en matière d'assainissement liquide, des études auprès des ménages et de personnes ressources ont été menées en 2013 dans dix fokontany défavorisés répartis dans la Commune Urbaine d'Antananarivo et de son agglomération. Nous reprenez ci-dessous les principaux éléments :

Le **taux d'équipement** en toilettes est assez élevé dans tous les fokontany d'étude et notamment à Andafiatsimo où il est de **89 %**. Le nombre total de toilettes dans le bourg est de **416** sur 1 927 ménages. Ce taux est élevé car les toilettes sont souvent partagées. En revanche, ils sont plus bas en ce qui concerne les toilettes hygiéniques puisque le taux d'équipement en toilettes hygiéniques est de 30 %. Seul 1 % des ménages n'a pas accès à des toilettes. 73 % des toilettes sont collectives à Andafiatsimo. Une toilette est utilisée en moyenne par 4,6 ménages, soit 19,8 personnes. **76 % des toilettes des ménages sont traditionnelles.**

Quant la fosse des toilettes est pleine 42 % des toilettes ont déjà été pleines à Andafiatsimo. **67 % des ménages construisent une nouvelle toilette**, 23 % vidangent la fosse, 5 % construisent une nouvelle fosse. La vidange n'est donc pas une pratique courante. Les ménages ayant une fosse en dur (béton, brique, ou fosse septique) la vidangent plus couramment Ceci peut s'expliquer par le fait que les ménages ayant investi dans une toilette veulent pérenniser leur investissement.

Il n'existe pas de tendance claire à propos du **moment de l'année** auquel les fosses sont pleines. La logique voudrait que ce soit de novembre-décembre à mars/avril, période humide. *Les toilettes sont pleines surtout en saison des pluies à cause des remontées de nappe, pendant la nuit.*

Les données qualitatives concernant **les causes de non-réalisation** de la vidange par les ménages sont analysées en combinant les 10 *fokontany* d'étude. Il n'existe pas de grandes disparités en général entre les *fokontany*. Les ménages ne réalisent pas la vidange car l'accès est difficile pour réaliser la vidange (21 %), ils estiment ne pas en avoir besoin (20 %), ils peuvent installer une toilette ailleurs (12 %), ils ne savent pas comment faire (11 %) ou n'ont pas de possibilités d'évacuer les boues (10 %). Ces données sont illustrées sur le graphique ci contre. Les ménages ayant une toilette hygiénique réalisent plus la vidange que ceux qui n'en ont pas.

Dans les 10 *fokontany* d'étude, **64 % des ménages qui ont réalisé la vidange ont fait appel à un artisan vidangeur**, 6 % l'ont faites eux-mêmes, 5 % l'ont faite faire par un membre de la famille et 2 % par des amis. Les vidangeurs viennent du *fokontany* et de *fokontany* alentours. Ils sont donc habitués à parcourir des distances importantes.

Actuellement, **65 % des vidanges sont réalisées manuellement** avec une pelle et un seau (les boues sont jetées dans un trou ou ailleurs), 15 % par un système de vase communicant et 15 % par un camion aspirant.

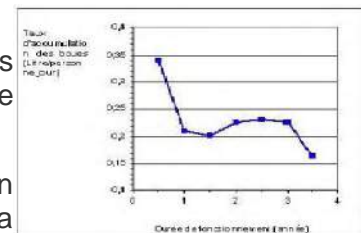
A propos du **dépôt des boues de vidange**, elles sont déposées dans un trou dans la cour dans 55 % des cas, comme illustré ci-contre. Les boues prélevées avec un camion aspirant sont déposées dans la rivière ou au moins loin de la cour. Les autres techniques respectent la tendance générale illustrée sur le graphique ci-contre.

Une vidange coûte en moyenne 38 720 Ar. Sur l'ensemble des *fokontany*, 18 % des ménages ont payé leur vidange au moins 50 000 Ar, 37 % au moins 30 000 Ar et 79 % au moins 10 000 Ar.

Les vidangeurs sont vus comme personnes comme les autres, fortes mais alcooliques. Leur métier est qualifié de difficile, sale et dégradant mais utile. Les personnes rencontrées n'en sont pas satisfaites à cause du manque de matériel et du transport qui entraîne de des débordements de boues et leur éparpillement dans le fokontany. Les personnes rencontrées pensent qu'il est important de déplacer les boues dans des terrains éloignés des fokontany.

La **quantité de boues** est évaluée sur l'étude a 0,06 m³/pers/an soit 425 m³/an pour le quartier. Ce chiffre semble sous évaluée :

- selon Moletta/Rambaud, le taux d'accumulation des boues est de 0,12 m³ après 6 mois et 0,08 après 12 mois. Il ne tombe à 0,06 qu'après 3 ans.
- Nous pouvons toutefois penser que les fosses sont vidées en saison des pluies suite a une remontée de la nappe qui va entraîner une dilution des boues



L'**amélioration du service de vidange** se fera par l'introduction de pompes manuelles de type Gulper qui permet de réaliser une vidange en 2h30 dans de bonnes conditions d'hygiène.

Le **stockage des boues** se fait dans des fûts de 100 à 150 l et la matière est transportée par diable/charrettes avec 400 l au maximum pour un transport manuel et 750 l pour un transport motorisé.

Le premier site sera implanté dans la commune rurale de Tanjombato, plus précisément dans le *fokontany* d'Andafiatsimo. Il est situé au bord de l'Ankady,



Le prévisionnelle économique retient les hypothèses suivantes

- deux vidangeurs réalisent la vidange et sont rémunérés au total à 22 000 Ar par vidange;
- le prix du transport est de 10 000 Ar par binôme de vidangeurs
- le paiement du traitement sur la vidange : il est de 28 000 Ar/vidange. Le site de traitement sera géré en régie ou en délégation. C'est bien sûr une responsabilité de la commune qui pourra ensuite choisir l'une ou l'autre de ces deux options. Le mode de gestion est aussi conditionné par la rentabilité du système ;Le traitement, même s'il est géré par un privé ne sera pas une source de revenus pour lui. Il pourra bénéficier par contre du gaz produit s'il y en a et du compost.

La gestion peut se faire sur la base d'un contrat de type régie intéressée à au moins 30% afin d'encourager la bonne gestion du site et la production de biogaz.

TRAITEMENT DES BOUES PAR METHANISATION

2.1 Contraintes et choix du traitement anaérobie

Les principales contraintes rencontrées dans le contexte urbain dense d'Antananarivo sont les faibles surfaces disponibles pour l'implantation des sites de traitement et la nécessité d'avoir un traitement sans odeurs pour être accepté par le voisinage.

Ces contraintes éliminent les technologies suivantes : lits de séchage solaires ou plantés 6 puisque pour 300 ménages la surface nécessaire est de 1 500 m², espace difficilement disponible à Antananarivo et son agglomération, lagunage (surface nécessaire importante, risques d'odeurs). Le co-compostage présente l'inconvénient de nécessiter des opérations fréquentes de retournement et de déplacement des tas de compost, ainsi qu'un risque de mauvaises odeurs. Les réacteurs à biogaz et les réacteurs UASB sont des technologies qui demandent une faible emprise au sol (≈ 200 m² pour les biodigesteurs dans le contexte des quartiers d'intervention) et pour lesquels le traitement a lieu en milieu fermé donc sans odeurs.

Les solutions de réacteurs UASB mises en œuvre dans les pays en développement sont rares et requièrent des compétences techniques importantes pour la construction et pour leur fonctionnement, et présentent des contraintes supplémentaires (besoin en électricité).

Les réacteurs anaérobies à biogaz répondent à tous les critères contraignant de mise en œuvre dans le cadre de Miasa (emprise au sol, absence d'odeurs, coûts d'investissement et de fonctionnement, compétences nécessaires pour le fonctionnement). (Gret 2013)

2.2 Principes de la méthanisation

Qu'est ce que le biogaz ?

Le Biogaz est un gaz composé à 50-70% de méthane CH₄, de gaz carbonique CO₂ et d'éléments traces (eau, soufre, hydrogène). Le méthane est le gaz principal consommé en Europe (gaz naturel) provenant de gisements fossiles en mer du Nord ou en Russie.

Le Biogaz contient de 6 kWh/m³ d'énergie brute.

En utilisation cuisson ce gaz est équivalent à :

- 0,5 kg de gaz propane/butane
- 2 kg de charbon
- 6 kg de bois

En utilisation carburant 1 m³ de biogaz = 0,6 l de gasoil ou essence

Comment produire le biogaz ?

Le biogaz est produit par la fermentation anaérobie

sans oxygène de tous déchets de la vie animale

ou végétale contenant de la cellulose et des sucres.

Quelle matière première ?

Déjections animales, fraction organique des déchets urbains, sous produits d'abattoirs etc, toutes les matières contenant de la cellulose et du sucre peuvent être méthanisés. Cependant le rapport Carbone C sur Azote N ou C/N doit être équilibré pour garantir une bonne production. Le C/N doit être compris entre 20 et 30 .

Conditions essentielles d'une bonne fermentation

Les trois conditions essentielles à la bonne marche de la fermentation sont les suivantes :

- 1- Mise à l'abri de l'air
- 2- Maintien d'une température sur des plages de températures
- 3- Réaction du milieu légèrement alcaline

1- **Mise à l'abri de l'air** : la fermentation méthanique conduisant à la production de méthane doit se faire sans oxygène. La moindre entrée d'air va mettre en concurrence les bactéries et conduire à la formation de gaz d'autres gaz (gaz carbonique, ammoniac...). Dans le digesteur cette mise à l'abri de l'air se fait automatiquement.

2- **Maintien d'une température voisine de 35°** : La production de gaz est nulle au dessous de 6° et augmente ensuite avec l'augmentation de la température. A 48° l'activité des ferments diminue et à 75° ils sont détruits.

1 tonne de fumier donnera toujours la même quantité de gaz mais sur un temps plus ou moins long - en moyenne/jour :

À 15° - 0,15 m³/jour durant 1 an

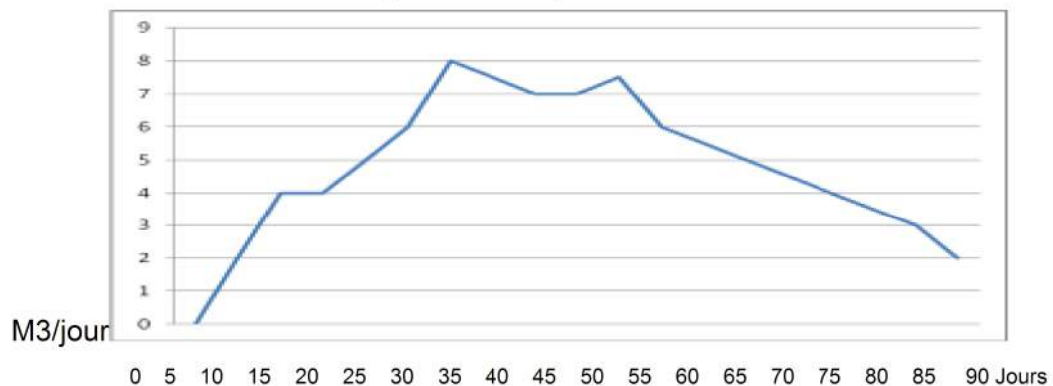
A 20° - 0,3 m³/jour durant 6 mois

A 25° - 0,6 m³/jour durant 3 mois

A 30° - 1 m³/jour durant 2 mois

A 35° - 2 m³/jour durant 1 mois

La production de biogaz n'est pas linéaire mais suit une courbe. Ainsi si on remplit une cuve de 8 m³ de fumier on obtiendra les productions /jour suivantes durant 3 mois :



Si on apporte la matière de façon continue (chaque jour à chaque semaine) la production va se « lisser » et être régulière.

3- **Réaction du milieu légèrement alcaline** : ce facteur s'exprime par le PH. En milieu acide (PH 4 ou 5) ou en milieu trop alcalin (PH 9-10) le processus sera contrarié. Le PH doit rester aux alentours de 7 à 8. En utilisant de la matière courante (déjections) on obtient ce PH.

2-3 Méthanisation des boues en France

Selon les résultats d'une étude de l'ADEME, en 2008 près de 70 stations d'épuration pratiquaient la méthanisation en traitement complémentaire des boues, produisant 145 millions de m³ de biogaz. La capacité nominale installée était de 21 millions EH. Ces résultats révèlent une stabilisation ces dernières années du parc de digesteurs installés. Ces installations concernent les stations d'épuration de plus de 30.000 EH, étant donné les coûts d'investissement nécessaires. La valorisation du biogaz est essentiellement thermique (88%) (avec utilisation de la chaleur pour le séchage des boues), mais s'oriente de plus en plus vers la cogénération d'électricité (6%) revendue à EDF. Cette étude révèle en outre que l'intérêt premier de la méthanisation des boues est d'en réduire le volume, et l'intérêt second de produire de l'énergie. Par rapport aux autres secteurs de méthanisation des déchets organiques, le secteur des boues est celui qui produit le plus d'électricité et qui, à la fois, a le plus de marge de valorisation possible : le biogaz produit est encore le plus souvent brûlé en torchère.

2-4 Avantages de la digestion anaérobie

Le principal objectif recherché par les gestionnaires de station en France par exemple est la réduction du volume des boues et la production d'énergie. Le traitement consiste à mettre les boues dans des réacteurs anaérobies, les digesteurs qui vont transformer une partie des boues anaérobie en méthane et gaz carbonique (le biogaz).

D'après les travaux de recherche bibliographique mené par l'ADEME , la digestion anaérobie ou méthanisation :

- Dégrade ou transforme en composés non ou peu toxiques la plupart des composés aliphatiques ou monoaromatiques, halogénés. Les composés polycycliques plus résistants forment en général des composés moins toxiques.

- Fixe les métaux lourds sous des formes inassimilables et non toxiques par les organismes vivants.

- Réduit de 100 à 10 000 les concentrations en bactéries, virus et pathogènes.

2.5 Dimensionnement

Le dimensionnement d'une station se base sur le temps de rétention hydraulique TRH. Ce temps dépend de la température et du taux de matière sèche à dégrader. Le TRH optimal est le

temps qui va permettre de dégrader le plus de matière et de réduire ainsi le taux de MS et les volumes des boues.

Le tableau ci-dessous présente le TRH optimal en jours.

MS %	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T°												
15	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360
20	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
25	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
30	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
35	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30

Pour le cas de la station à Antananarivo avec une température minimale sera de 15-20°C (sol) et un taux de MS moyen de 10% le TRH optimal est de 96 à 192 jours. Soit 3,2 à 6,4 mois. Une moyenne de 120 jours sera retenue soit 4 mois.

Avec un volume de 200 m³ de boues en entrée et 4 mois de TRH le volume de la station sera 66 m³.

L'ajout d'un support fixe permet d'augmenter la quantité de bactéries dans le digesteur. En effet ces bactéries trouvent un support pour se fixer et forment un film. Sur lisier porcins à 35°, le temps de séjour est divisé par 5 et passe de 10 jours à 2 jours.

La balle de riz utilisée en co-substrat pourrait jouer ce rôle de support fixe et accélérer la méthanisation. Le suivi de l'installation permettra de valider cette hypothèse.

Pour la phase pilote avec utilisation de balle de riz en co-substrat, le TRH est fixé à 3 mois soit un volume de digesteur de 40 m³.

VALORISATION DES BOUES ULTIMES EN AGRICULTURE

4-1 Valorisation des boues ultimes en France

Les stations de traitement génèrent des boues ultimes.

Actuellement en France 65% des 850 000 t de MS de boues issues des stations d'épuration sont valorisées en agriculture.

Le tableau ci-dessous présente la composition des boues :

Composition générale des boues d'épuration
(source ADEME)

Matière sèche (MS)	2 à 95 % selon la siccité
Matière organique	50 à 70 % de la MS (30 % si boues chaulées)
Azote	3 à 9 % de la MS
Phosphore	4 à 6 % de la MS
Potasse	< à 1 % de la MS
Magnésie	< à 1 % de la MS
Chaux	4 à 8 % de la MS (25 % si boues chaulées)
Carbone/azote	5 à 12

Par leur composition, les boues, une fois épandues, augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organiques et calciques pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Des micro-organismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines.

Les conclusions du rapport du comité sanitaire de sécurité alimentaire de l'Aprifel est repris ci-dessous :

« Le risque de nature biologique à court terme lié à la présence de bactéries, virus et parasites apparaît comme réduit ; Le simple respect des règles élémentaires d'hygiène, l'observation stricte des consignes et des prescriptions réglementaires à toutes les étapes de l'épandage permettent de maîtriser au mieux les risques microbiologiques.

Le risque de nature chimique est plus diffus et peut constituer un risque à long ou très long terme. Incontestablement si le risque microbiologique semble bien maîtrisé, le risque chimique, c'est à dire la contamination des boues par les éléments traces semble plus préoccupant et sa maîtrise plus aléatoire, d'autant plus que les effets d'intoxications à faibles doses de cette nature peuvent être très décalés dans le temps et ne manifester leurs effets que très tardivement rendant d'autant plus difficile les enquêtes épidémiologiques.

Le suivi dans le temps de la qualité des boues montre une diminution très nette des teneurs moyennes des éléments en traces les plus toxiques (> 50 % pour le cadmium et mercure, ~ 50 % pour le chrome, ~ 30 % pour le plomb) entre 1992 et 2000.

Quant aux composés traces organiques, le problème est encore différent, certains sont très rémanents et peuvent s'accumuler largement dans le sol mais à ce jour aucun exemple de transfert des boues vers les plantes n'a été démontré, le risque semble a priori mineur.

Les risques écotoxicologiques sont moins connus. Pour les éléments traces métalliques, les risques sont faibles si l'épandage des boues est réalisé sur des terres dont le pH est supérieur à 6 et à condition de maîtriser les paramètres physico-chimiques du sol ainsi que leur biodisponibilité et leur mobilité dans la colonne de sol.

Les données écotoxicologiques concernant les contaminants organiques restent encore très limitées car les préoccupations s'en sont jusqu'à présent trop souvent écartées. Ces contaminants, peu dégradables et persistants, sont nocifs en tant que tels, mais aucun impact toxique pour les plantes ou les organismes vivants n'a été mis en évidence à ce jour. Des études ont montré qu'il n'existe aucun transfert de ce type de contaminant dans la colonne de sol. »

La réglementation prévoit deux grandes périodes d'épandages : le printemps, de mars à avril, et à la fin de l'été, de août à octobre. L'épandage est interdit en dehors de ces périodes, mais les boues continuent d'être produites et il faut donc les stocker durant 6 à 9 mois.

Les normes sont reprises ci-dessous :

Concentration moyenne en ETM des boues d'épuration
(source ADEME)

Eléments traces (ETM)	Moyenne (mg/kg de MS)	Valeur-limite réglementaire (mg/kg de MS)
Cadium (Cd)	5,3	20
Chrome (Cr)	80	1 000
Cuivre (Cu)	334	1 000
Mercure (Hg)	2,7	10
Nickel (Ni)	39	200
Plomb (Pb)	133	800
Zinc (Zn)	921	3 000

Concentration moyenne des boues française en CTO
(source SYPREA, 2000)

Composés traces organiques (CTO)	Concentration (g/t de MS)	Valeur-limite réglementaire (g/t de MS)
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA)		
- Fluoranthène	0,53	5
- Benzo(a)fluoranthène	0,39	2,5
- Benzo(a)pyrène	0,31	2
Polychlorobiphényles (PCB)		
- Total des 7 PCB	0,19	0,8

Il n'existe pas de valeur limite pour les micro organismes pathogènes pour les boues. Une recommandation de l'OMS (1989) pour l'**irrigation** sans restriction fixe la pollution microbiologique des eaux usées utilisées au-dessous de 1 000 coliformes fécaux (CF)/100 ml et moins de 1 oeuf d'helminthe/l.

Le comité de sécurité alimentaire de l'APRIFEL recommande:

« Les eaux destinées à l'irrigation des plantes maraîchères et fruitières doivent répondre à des exigences encore plus grandes en plus des E.coli qui ne doivent pas dépasser 10 000 par litre, il sera nécessaire de s'assurer de l'absence d'œufs d'Helminthes dans un litre et de l'absence de *Salmonella* dans un litre. Ces microorganismes sont choisis comme indicateur, et leur absence est sensée indiquer l'absence d'autres pathogènes. Il faut cependant observer que si ce raisonnement est vrai pour les pathogènes d'origine intestinale, il ne l'est pas pour les pathogènes d'autre origine : autrement dit l'absence de *Salmonella* dans un litre d'eau ne garantit pas l'absence de *Listeria monocytogenes* par exemple. De même l'absence des indicateurs choisis ne garantit absolument pas l'absence de virus. »

Différents pays ont procédé à une analyse nationale de la question sanitaire afin d'asseoir le débat concernant l'épandage sur des bases objectives et orienter les décisions publiques. Ces analyses ont toutes conclu à une maîtrise satisfaisante des risques de l'épandage des boues urbaines sous réserve de respecter un certain nombre de précautions.

Les Etats de l'Union Européenne interdisent l'utilisation de boues sur les herbages 30 jours avant le pâturage. Pour les cultures maraîchères, il est interdit d'épandre pendant toute la période de culture. Sur les sols destinés à la culture maraîchère ainsi que pour la production de fruits et légumes consommés à l'état cru, il est interdit d'épandre 18 mois avant la mise en culture (norme française).

Le comité de sécurité alimentaire de l'APRIFEL :

- Seules les boues traitées et hygiénisées peuvent être épandues sur les champs de culture de produits maraîchers, et produits consommés crus et en contact du sol.
- L'épandage de boues non hygiénisées interdit l'utilisation de ces terres pour les activités citées précédemment et ce pendant 12 mois.
- L'épandage est permis si le pH est ≥ 6 .
- Respecter les flux maximum admissibles et les teneurs limites définies

4-2 NORME NFU 44-095

Titre : Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux.

Matière organique (% sur MB)	Matière sèche (% sur MB)	Matière organique / azote organique	Matière organique (% sur MS)	Éléments majeurs (% sur MB)
≥ 20	≥ 50	< 40	≥ 30	$N_{\text{total}} < 3^{(3)}$; $P_2O_5 < 3$; $K_2O < 3$ $(N_{\text{total}} + P_2O_5 + K_2O) < \frac{7}{7}$

Flux et teneurs limites en éléments et composés traces

°	Élément ou composé	Valeur limite (mg/kg de MS)	Flux maximal annuel moyen sur 10 ans (g/ha/an)	
Éléments traces métalliques	As	18	90	
	Cd	3	15	
	Cr	120	600	
	Cu	300	1000	
	Hg	2	10	
	Ni	60	300	
	Pb	180	900	
	Se	12	60	
	Zn	600	3000	
Composé traces organiques	Total des 7 PCB	PCB 28 + 52 + 101 + 118 + 153 + 180	0,8	1,2
	HAP	Fluoranthène	4	6
		Benzo(b)fluoranthène	2,5	4
	Benzo(a)pyrène	1,5	2	

Valeurs limites en microorganismes d'intérêt sanitaire

°	Toutes cultures sauf cultures maraîchères	Cultures maraîchères
Agents indicateurs de traitement :		
<i>Escherichia coli</i>	10^4 /g MB	10^3 /g MB
<i>Clostridium perfringens</i>	10^3 /g MB	10^2 /g MB
Entérocoques	10^5 /g MB	10^5 /g MB

<p>Agents pathogènes : Oeufs d'helminthes viables <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella</i></p>	<p>Absence dans 1 g MB Absence dans 1 g MB Absence dans 1 g MB</p>	<p>Absence dans 25 g MB Absence dans 25 g MB Absence dans 25 g MB</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------

4-3 Valorisation des boues ultimes à Madagascar – cas de la station décentralisée

La station décentralisée de traitement va générer des boues ultimes. La méthanisation aura les effets suivant :

- Forte réduction de l'intensité odorante
- Réduire le taux de MS de 20 à 40%
- Dégradation des CTO
- Fixation des métaux lourds sous des formes inassimilables
- Réduction de 99% des concentrations en bactéries et pathogènes

Les boues peuvent être valorisées en riziculture. Pour 200 m³ de boues brutes (22 t de MS), les boues ultimes vont représenter environ 1 t d'azote, 1 t de phosphore et 100 kg de Potassium. En riziculture il est recommandé un apport de 70 unités d'azote, 50 unités des Phosphore et 36 unités de Potassium. La valorisation des boues concerne donc 15 ha de rizicultures. La valeur économique en se basant sur l'équivalent en engrais chimique de ces boues est de 4 millions MGA.

Il semble nécessaire pour l'acceptation de ne pas proposer des boues sous une forme de gadoue. Nous proposons donc d'apporter dans les digesteurs des co-produits. Ces co-produits vont permettre d'épaissir les boues, d'augmenter la surface de fixation des bactéries méthanogènes dans le digesteur accélérant ainsi la dégradation. Les co-produits peuvent être de deux types :

- Fraction organique des déchets ménagers du quartier
- Balle de riz

L'utilisation de la fraction organique des déchets est intéressante car elle permet d'apporter une solution au traitement des déchets. Cependant cela nécessite un travail de sensibilisation dans le quartier et la mise en place d'un système de collecte sélective ou de tri sélectif au niveau des bennes. Le quartier produit chaque année plus de 600 t de déchets organiques.

La balle de riz est aussi un co-produit intéressant car il est facilement disponible.

L'apport de balle de riz peut être intéressant. Les conclusions de Vely sont reprises ci-dessous :

« La médiocrité des rendements et le mauvais aspect sanitaire de certaines rizières de Madagascar ont conduit à l'étude de la fertilisation en silice. L'expérimentation a été menée sur des sols hydromorphes tourbeux et minéraux, pour la côte Est, sur des sols hydromorphes organiques à gley et sur des colluvions, pour les Hauts Plateaux.

La silice était apportée, soit sous forme de silicate de chaux, soit sous forme de balles de paddy (3t/ha).

L'apport de silice améliore beaucoup les rendements, sur les sols de la zone côtière, où les carences sont les plus fortes. La silice contenue dans les balles est très vite utilisée, tandis que l'effet du silicate de chaux est plus prolongé, pour les sols hydromorphes tourbeux. »

Les travaux de Vivekanandan et Kamaraj sur la méthanisation de mélange bouse-silice ont indiqué un effet favorable de la balle de riz comme support pour les bactéries mais une production relativement faible de biogaz dû au C/N élevé (70).

Les travaux de Sarr et Ganry ont aussi montré une augmentation des rendements sur tomate de 30% avec un apport de balle de riz compostée.

Teneur en éléments	N	P	K
Balle de riz compostée	0,7	0,37	1

Les essais de terrain devront déterminer l'apport optimal pour disposer d'une matière présentant des caractéristiques physiques intéressantes pour les agriculteurs.

On estime que l'apport en balle de riz ne devrait pas dépasser 30 kg/m³ de boues brutes (MS moyenne de 11%) ou 6 kg/200 l. Cela représente 6 t/an pour 200 m³ de boues.

Pour les déchets organiques urbains le C/N étant de 10-25 il n'y a pas de limite.

Le digestat ne sera pas composté sur site pour ne pas compliquer la gestion de l'installation mais sera livré brut aux agriculteurs qui pourront le composter en « bout de champ ».

PRODUCTION ET VALORISATION DU BIOGAZ

Le biogaz sera un sous produit du traitement. Une étude de la ville de Laval au Québec a évalué le potentiel méthanogène de boues à 3,5% de MS à 8m³ de biogaz/m³ pour des boues de 2 ans.

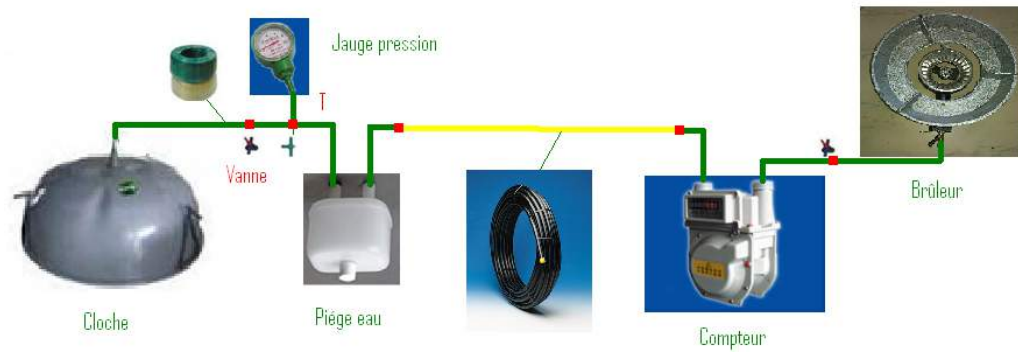
Les boues collectées sur la quartier auront de 6 mois à 1 an et un taux de MS moyen de 11%. Le potentiel méthanogène serait donc proche de 20 m³ de biogaz/m³ de boues brutes soit 4000 m³ pour 200 m³ de boues/an. L'ajout de co-produits va augmenter le potentiel de biogaz puisqu'on ajoute de la matière sèche. L'ajout de 6 t de balle de riz va augmenter la production de 30% soit un total d'environ 5000 m³.

Le potentiel méthanogène reste à vérifier durant la phase pilote.

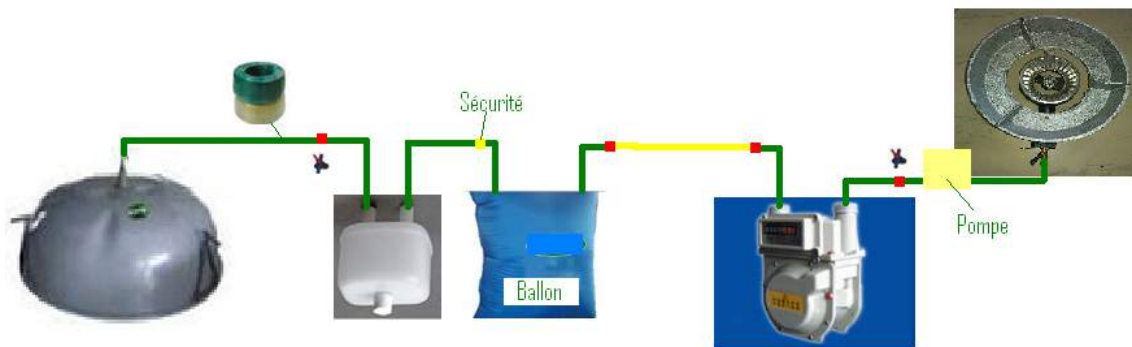
Le biogaz doit être revendu à des clients professionnels ou particuliers. 1 m³ de biogaz représente 0,5 kg de gaz bouteille. Le gaz est acheminé par un tuyau polyéthylène (même que pour l'eau). Si le gaz est stocké uniquement dans les cloches il peut être acheminé et utilisé sans pompe. Si le gaz est stocké en ballon le client doit disposer d'une pompe (80 w/h) pour aspirer le gaz lors de l'utilisation des équipements de cuisson.

Pour ne pas augmenter les capacités de stockage il faut compter une journée de stockage soit si l'hypothèse de 5000 m³ de biogaz est atteint une capacité de 15 m³ soit un besoin d'environ 10 m³ en plus des cloches intégrées aux digesteurs.

Le gaz est ensuite utilisé pour la cuisson principalement.



Montage sans ballon



Montage avec ballon

Le montage se fait avec des outils de base (tourne vis, clé multiples...).

Équipement	Budget *	Durée de vie	Note
Cloche gazomètre + réservoir béton 1 m3	370,00 €	>20 ANS	Réparable sur place
Filtre à eau	10,00 €	>20 ANS	
Tuyau gaz souple	0,5€/ml	> 20 ANS	
Tuyau gaz réseau	3€/ml	>20 ANS	
Compteur	100,00 €	>20 ANS	
Ballon 5 m3 (2,5 x 1,8 H 1,2)	300,00 €	> 20 ANS	Doit être protégé du soleil
Réchaud	17,00 €	> 3 ANS	
Pompe biogaz	60,00 €	> 10 ANS	

- INCLUS LES TAXES ET MARGES D'UN REVENDEUR LOCAL

Pour une capacité de stockage de 10 m³ en plus des cloches intégrées aux digesteurs et 10 clients il faut :

Option 1 : 10 cuves béton gazomètre avec cloche soit un budget d'environ 3700 EUR

Option 2 : 2 ballons de stockage + 10 pompes + local technique de 10 m² 1800 EUR

La solution avec ballon présente l'avantage de « voir le gaz » ce qui rend la gestion plus simple et permet de voir rapidement un dysfonctionnement. L'inconvénient étant que les équipements sont plus fragiles (pompe, ballon).

RISQUES ET PRECAUTIONS

Les risques sont inférieurs à du gaz butane ou propane car le biogaz est un gaz plus pauvre dont la température d'inflammation est plus élevée et la rapidité de propagation de la flamme plus lente. Le gaz n'est pas stocké sous pression et les quantités stockées sont faibles ; 1 m³ de biogaz = 0,5 kg de gaz bouteille soit une 10 m³ de stockage l'équivalent d'une petite bouteille de gaz.

Le risque principal se trouve au niveau des ballons de stockage qui doivent être protégés et sécurisés pour ne pas permettre un accès de personnes non autorisées. L'inflammation des ballons est possible si un feu venait à percer les ballons. Il faut donc interdire le feu et interdire de fumer sur le site. Un panneau indiquera cette mesure.

Les cloches gazométriques stockent le gaz sous eau donc il n'y a pas de risque.

Les ballons sont équipés de soupapes de sécurité et le gaz est évacué en hauteur avec un tuyau PVC de faible diamètre. Les volumes restent très faibles ce qui limite considérablement le risque.

Pour les usagers les précautions sont les mêmes que pour du gaz bouteille. La flamme étant plus « fragile » il ne faut pas l'exposer au vent au risque d'être soufflée. Le gaz ne sera volontairement pas épuré pour garder une forte odeur de soufre très facile à détecter en cas de fuite. Quant le gaz brûle il n'a plus d'odeur.

La vente du gaz implique son comptage donc la pose de compteur pour chaque usager. Les compteurs sont relevés pour établir les factures.

DESCRIPTIF DE LA TECHNOLOGIE

La technologie brevetée PUXIN a été retenue :

- 1- Le système de construction permet la formation rapide des maçons et garantit la bonne exécution des digesteurs. La construction 100% béton vibré permet de disposer d'un ouvrage très robuste avec une longévité importante (+50 ans).
- 2- La technologie permet de faire fonctionner le digesteur avec tous types de matières solides ou liquides.
- 3- Le digesteur est simple à vidanger et à réparer grâce à la possibilité de l'ouvrir en soulevant la cloche.

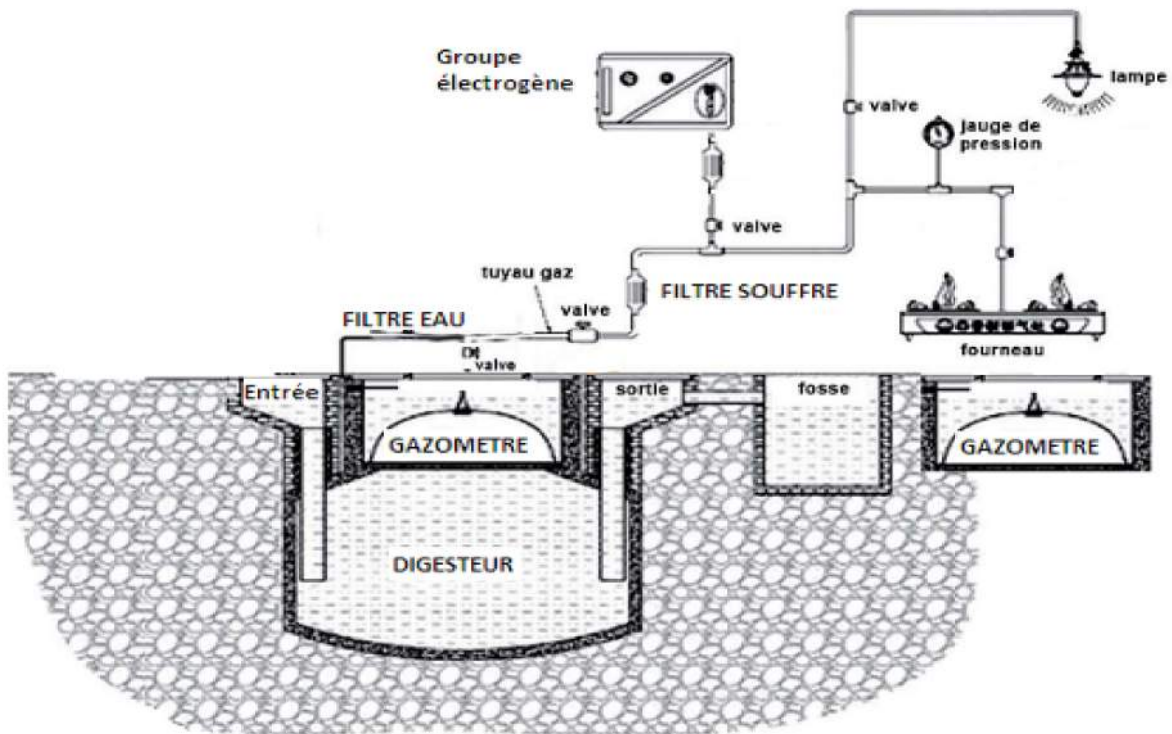
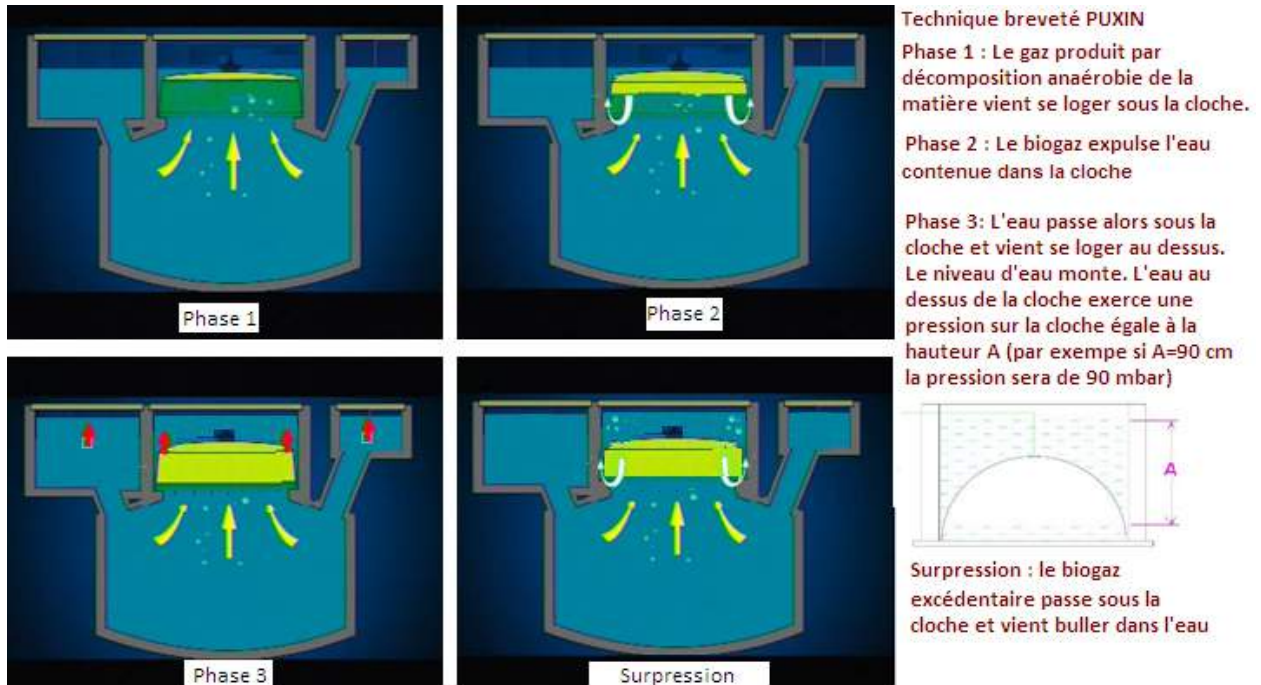


Schéma installation complète



La technologie retenue a hérité des principaux avantages des digesteurs à dôme fixe existant mais a résolu les principales contraintes : difficile à construire, difficile à entretenir et mauvaise étanchéité aux gaz. Comparé avec les systèmes traditionnels, le procédé a les avantages suivants :

1/Simple à construire avec 100% de taux de réussite. L'usage du moule permet une étanchéité parfaite à l'air et à l'eau et réduit considérablement le temps de fabrication. Aucune compétence n'est nécessaire. Le constructeur doit simplement apprendre en 1 journée comment monter et démonter le moule.



Construction des digesteurs

Les équipements sont produits industriellement ce qui permet un vaste développement des unités dans tous les pays.



Cloches gazomètre

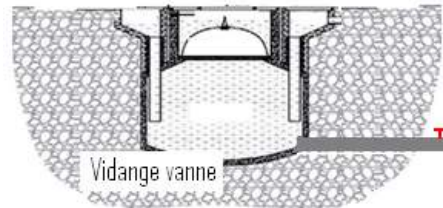


Moule

3/Le digesteur accepte aussi bien de la matière liquide en fonctionnement continu que de la matière solide (paille, balle de riz...) en fonctionnement discontinu. Le gazomètre ne pèse que 30 kg et il est facile à enlever. Le trou de 1,5 m laisse un accès facile pour placer et enlever la matière solide.



Vidange manuelle d'un digesteur enterré



4/Facile à entretenir avec une longue durée de vie. Lorsque le gazomètre fuit, la fuite est facilement repérée et réparée sur place. Le digesteur a une durée de vie de plus de 50 ans et le gazomètre de plus de 20 ans.

5/ Parfaite étanchéité à l'air et importante production de gaz du fait du recouvrement complet de la matière et du gazomètre avec de l'eau. Sécurité totale pour les utilisateurs et la maintenance. La large ouverture permet de réparer le digesteur sans risque, de remplir et vider le digesteur sans problème. En cas de montée en pression, le gaz s'évacuera automatiquement sans risque de dommages.

Données techniques

	Système traditionnel	Technologie BIOECO
Capacité du digesteur	8 m3	10 m3
Capacité utile du gazomètre	1 m3	1,2 m3
Pression du gaz	Faible – tout le gaz stocké ne peut pas être utilisé	OUI –100% du gaz utilisé -
Périodicité de remplissage	Chaque jour	Jusqu'à 1 fois/semaine, voir discontinue
Coût construction (hors formation, marges et SAV)	900 €	900 €

Comparaison du niveau de compétence des maçons :

	Système traditionnel	Technologie BIOECO
Etanchéité aux gaz	Fortement recommandé (l'étanchéité est fonction des compétences du maçon)	Pas nécessaire (l'étanchéité est assurée par la cloche en fibre garantie par le fabricant)
Capacités à construire un dôme	Fortement recommandé (construit à la main)	Pas nécessaire (moule)
Contrôle des dimensions et mesures	Fortement recommandé (construit à la main)	Pas nécessaire (moule)
Juger et réparer les fuites de gaz	Fortement recommandé : difficile de juger des fuites de gaz – il faut de plus vider le digesteur pour entrer à l'intérieur et réparer	Faiblement requis : une fuite de gaz est visible (bulle dans l'eau). La cloche est alors enlevée et réparée hors du digesteur.
Juger et réparer les fuites d'eau	Fortement recommandé : difficile à réparer à cause de la petite entrée	Nécessaire : facile à voir mais la grande ouverture rend le travail facile
Temps de formation	3 mois	5 jours
Période pour être expérimenté	1 à 2 ans	1 mois
Compétence des constructeurs	Certaine éducation et très bonnes compétences techniques	Sans éducation, sans compétences
Taux de réussite	Moins de 100%	100%

Comparaison du temps de construction

	Système traditionnel	Technologie BIOECO
Construire le digesteur en briques	7 jours	3 jours
Temps pour assurer étanchéité	3 jours	0 jours pas nécessaire
Terminer les tests d'étanchéité	2 jours	0 jours pas nécessaire
Réaliser entrée/sortie	1 jour	1 jour
TOTAL	13 jours	4 jours

Comparaison du type de matière première

	Système traditionnel	Technologie BIOECO
Matière liquide	OUI	OUI
Matière solide (paille)	NON – digesteur difficile à vidanger	OUI – vidange complète en 1/2 jour

Comparaison de l'entretien

	Système traditionnel	Technologie BIOECO
Réparation des fuites de gaz	Difficile et dangereux : doit être réparé à l'intérieur du digesteur ce qui peut causer des intoxications à cause de la petite ouverture (0,5m) – doit être complètement vidangé, l'enduit enlevé et refait	Facile – la cloche est enlevée et réparée sur le sol

Réparation des fuites d'eau	Dangereux : doit être réparé dans le digesteur avec une petite ouverture et une mauvaise ventilation – intoxications	Sûr : l'ouverture mesure plus de 1,3 m risqué nul
-----------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------

Un autre atout de la technologie est de pouvoir réaliser des installations de plusieurs centaines de m3 avec un moule de même type.



Construction d'un digesteur de 100 m3



Schéma installation 800 m3

TECHNIQUE DE CONSTRUCTION DES DIGESTEURS ET BUDGET

7.1 Technique de construction

Les digesteurs sont construits à l'aide d'un moule de coffrage réutilisable. Le moule est composé de plaque manu portable reliées entre elles par attaches rapides et/ou boulon.

Les matériaux nécessaires à la construction sont repris ci-dessous :

Poste	Unité	Qt
Ciment	Kg	1 700
Sable	m3	4
Graviers	m3	3
Briques	u	200
Tuyau PVC 160	m	4

Le béton est dosé à 350 kg/m3 soit le mélange suivant : 1 sac de 50 kg de ciment + 60 litres de sable + 130 litres de graviers + 25 litres d'eau

Le béton n'est pas armé mais vibré. Compte tenu des faibles poussées (équilibre des poussées entre le digesteur et le sol) le ferrailage n'est pas préconisé.

Les principales étapes de la construction sont :

-Excavation d'un trou de 4x4 m sur 3 m de profondeur (3 jours pour 4 personnes)

Montage du moule (demi journée à 2)

- Réalisation et coulage du béton dans les banches avec vibration (1 journée à 6)

-Décoffrage après 24h de prise pour la partie haute et 48h pour la partie basse (demi journée à 2)

Construction des regards entrée/sortie (1 journée à 2)



Pose de la cloche, pose des équipements finition (demi journée à 2)

7.2 Budget

Le tableau ci-dessous présente les postes de dépenses pour 1 digesteur :

Poste	Unité	Qt	PU	TOTAL EUR	TOTAL MGA
Ciment	Kg	1 700	0,13	221	618 800
Sable	m3	4	5	20	56 000
Graviers	m3	3	15	45	126 000
Briques	u	100	0,3	30	84 000
Tuyau PVC 160	m	4	7	28	78 400
MO excavation HJ	hj	20	4	80	224 000
MO construction HJ	hj	10	4	40	112 000
Macon qualifié	hj	7	7	49	137 200
Cloches gazomètre	u	1	290	290	812 000
Ingénierie et marges	%			96	269 808
TOTAL				899	2 518 208

DESCRIPTIF D'UNE STATION DÉCENTRALISÉE DE TRAITEMENT

Résultats attendus d'une installation de traitement des boues :

- Le volume des boues ultimes est réduit de plus de 50% par rapport aux boues brutes
- Le liquide en sortie de station est conforme à la réglementation et est rejeté ou recyclé
- Les boues résiduelles « hygiénisées » sont valorisées en agriculture
- Le biogaz produit est valorisé
- Le site ne produit pas de nuisances pour le voisinage (odeurs)

Les boues ne seront pas diluées à l'entrée donc globalement le volume entrée et sortie sera identique. Le liquide sera principalement rejeté vers la rivière, la matière sèche étant digérée ou stockée dans le digesteur.

Données de base site pilote :

- 7089 habitants environ 416 toilettes, production évaluée à 700-850 m³/an
- Intervalle entre les vidanges des fosses 6 mois à 1 an dans la majorité des cas. Les vidanges sont plus importantes durant la saison des pluies car la fosse se remplit, il y a donc un pic de production durant cette saison.
- Production à traiter 200 m³/an
- Taux de MS moyen des vidanges : 11% avec des variations de 2,6 à 33 %.
- DCO moyenne estimée à 550 mg/l (d'après données MISS 2007)
- Températures extérieures 10 à 20°C durant le mois le plus froid et 15 à 26°C durant le mois le plus chaud.

Le digesteur étant enterré la température sera de 15 à 20°C en permanence.

Compte tenu des éléments de base, nous proposons une installation composée des éléments suivants :

- 1– **Fosse « entrée »** (1) de 100 x 50 et 50 de profondeur pour une capacité de 0,25 m³. La fosse sera réalisée en brique enduite sur la partie intérieure. Cette fosse ne stockera pas de boues.
- 2– **Digesteurs de 10 m³** (4) réalisés en béton vibré non armé. En fonction de la nature du sol une couche de remblai pourra être nécessaire sur une épaisseur de 10 à 20 cm. Le biogaz produit sera stocké dans les cloches intégrées aux digesteurs. Un digesteur sera rempli d'un support composé de fils plastiques montés sur un support ;

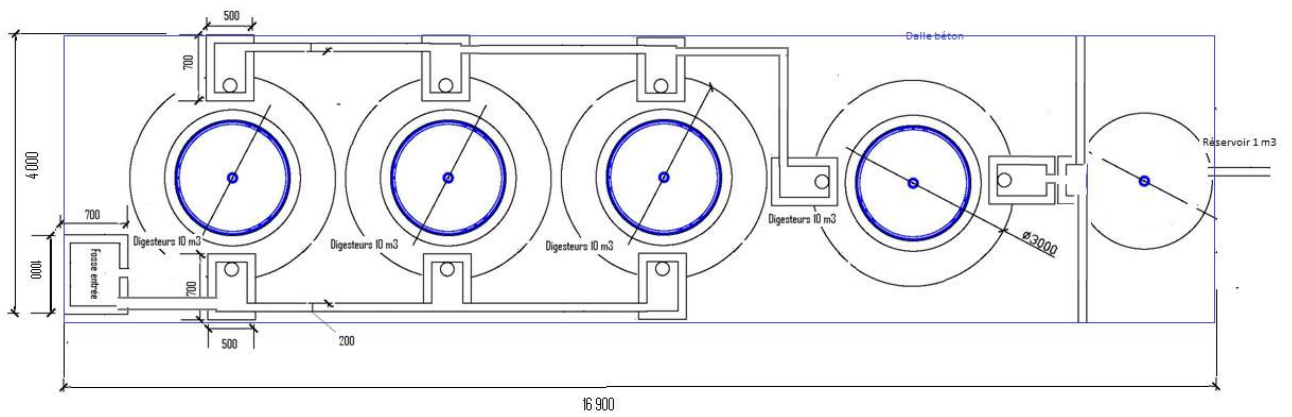
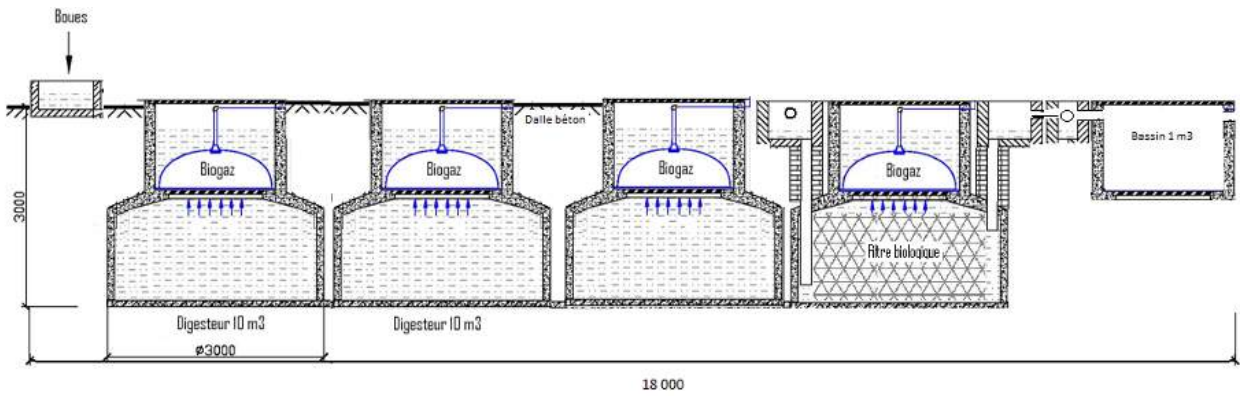


Matière pour le filtre

Sur ce support va se développer un biofilm bactérien. Ce filtre va permettre d'affiner le traitement du liquide en sortie des digesteurs. En effet, en se fixant sur le support, les bactéries vont former un film qui va augmenter leur masse. Cela va permettre d'accélérer le traitement des liquides à faible teneur en MS.

- 3- Un **bassin** de 1 m³ servira au stockage d'eau en sortie de station pour réceptionner les jus d'égouttage des vidanges. Le bassin sera réalisé avec le coffrage supérieur.
- 4- L'ensemble de pourtours de l'unité sera bétonné pour servir de plate-forme d'égouttage des vidanges. Les digesteurs seront vidangés sur cette plate-forme en béton disposant d'une pente de 0,5% dirigeant les eaux d'égouttage soit dans les regards des digesteurs soit vers le bassin de stockage. Le digestat sera stocké quelques heures sur cette plate-forme avant évacuation avec une charrette. La matière ne sera pas compostée sur place.
- 5- Les liaisons entre les regards seront réalisées avec des tuyaux PVC de 160 mm enterrés. La pente sera de 0,5% pour permettre l'écoulement des jus.

PLANS DE L'INSTALLATION



BUDGET

Poste	Qt	PU	Total
Digesteurs	4	850	3400
Cuve queue de station	1	100	100
Fosse entrée des boues	1	150	150
Tuyaux PVC raccords	18	7	126
Dalle 18 x 4	5	80	400
Filtre biologique	8	70	560
Ballons 5 m3	2	300	600
Tuyaux et raccords station	1	50	50
Piège à eau	1	10	10
Local ballon 10 m2	1	400	400
Tuyau conduite	200	3	600
Compteurs	10	90	900
Pompes	10	60	600
Réchaud	10	17	170
Raccordement, fournitures et pose	1	400	400
Cloture	50	8	400
			8866
Divers		5,00%	443,3
Ingénierie		10,00%	886,6
TOTAL			10195,9

On peut estimer le budget d'une installation à environ 10 000 EUR pour une capacité de traitement de 200 à 300 m3.

EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

La particularité de la technologie est d'être très robuste et de ne nécessiter aucune pièce électrique ou mécanique ce qui réduit l'entretien au minimum.

Les composants principaux sont :

- Les digesteurs et composants en béton vibré de 11 à 14 cm d'épaisseur. Ces composants n'ont pas de limite de durée de vie. Ils ne nécessitent pas d'entretien régulier. Une couche d'enduit doit être remise chaque 3-5 ans.
- La cloche en fibre de verre a une durée de vie de plus de 20 ans. Elle est peut être réparée facilement avec de la colle qu'on trouve localement. Elle ne nécessite aucun entretien

L'entretien de l'unité comprend :

- Livraison des boues et versement dans le bac d'entrée. Le co-produit doit être ajouté autant que possible lors de la livraison. Le co produit est versé en même temps que des boues liquides. La simple pression fait entrer la matière sans ajout d'eau Les boues vont d'écouler et se répartir entre les digesteurs. Si la répartition ne se fait pas de façon régulière il faut prévoir des bouchons et alterner le remplissage entre les 3 entrées.



Exemples de remplissage avec contenu de panse et déchets de cantine

- Nettoyage de la fosse entrée et canaux après chaque livraison avec de l'eau puisée dans le bassin de sortie pour éviter le dégagement d'odeurs.
- Vidange du piège à eau (chaque semaine) en ouvrant le bouchon
-
- Vidange des digesteurs chaque 6 mois à 1 an. La vidange se fait en l'ouvrant et en l'évacuant au sseau. Il faut environ une demi journée à 2 pour vidanger un digesteur de 10 m3. 1 m3 sera toujours laissé dans le digesteur pour servir d'inoculum. L'objectif est d'obtenir une matière pâteuse. La matière est mise à égoutter sur la plate forme 15 minutes puis évacuée par une charrette.



Vidange manuelle d'un digesteur enterré

Ouverture du digesteur et vidange

Budget de fonctionnement d'une installation (évaluation)

DEPENSES					RECETTES				
Personnel :									
Gestionnaire (1)	12	mois	150000	1800000	Vente du gaz	5000	m3	500	2 500 000
Vidange et transport des boues	6	u	50 000	300 000					
Réparations				120 000	Redevance	20 000	200		4 000 000
					Engrais	100	t	0	0 000
				2220000					6500000

Pour les dépenses il faut compter :

- Le revenu du gestionnaire à mi temps. Le gestionnaire est en charge de :
 - réception des matières de vidange
 - nettoyage du site
 - approvisionnement en co produit (recherche des co produits, livraison...)
 - vente du biogaz, évacuation du digestat et encaissement des recettes
 - entretien général (, entretien des clôtures, nettoyage...)
- La vidange et l'évacuation des digestats (une journée pour 2 personnes + transport des digestats)
- Les réparations, petit entretien

Pour les recettes il faut compter :

- Vente du gaz : le volume théorique est de 5000 m3. un pouvoir calorifique de 6 kWh/m3 et un prix du gaz bouteille de 6000 MGA/kg. Le prix est 20% inférieur au butane.
- Vente des digestats : pour ce cas la valeur des digestats n'est pas prise en compte
- Redevance sur chaque vidange de 20 000 Mga/mois. Le prix a été ramené a 20 000 MGA afin de réduire le cout des vidanges.

Dans un contrat de régie intéressée à 30%, le paiement se base sur un fixe qui pourrait être de 1,5 millions/an + 30% des recettes soit 1,5 millions sur la base du calcul. Le solde des recettes estimé à 3 500 000 MGA pourraient permettre à la commune de prévoir la construction de nouvelles unités.

Par rapport à l'investissement d'environ 25 millions MGA la rentabilité est supérieure à 10%.

