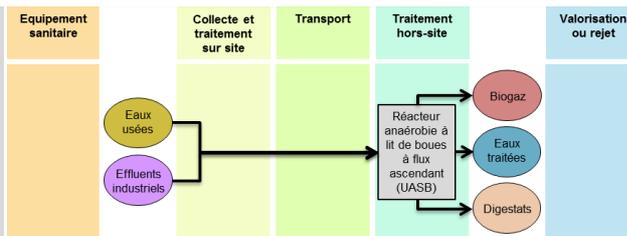


19 Réacteur anaérobie à lit de boues à flux ascendant (UASB)

Traitement hors-site

Juin 2015



Informations générales

Le digesteur anaérobie à flux ascendant (UASB) consiste en bassin profond de section rectangulaire ou circulaire. Le réacteur UASB a été mis au point dans les années 70 à l'Université de Wageningen au Pays-Bas. Il est de loin le système anaérobie à haut rendement le plus largement utilisé pour le traitement des eaux usées agroalimentaires. A partir des années 1980s, l'UASB a été introduit comme technologie de traitement pour les eaux usées domestiques dans les zones tropicales.

Autres noms: Digesteur anaérobie à lit de boue à flux ascendant

En anglais: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor

Technologies apparentées: Réacteur à Flux Ascendant à Deux Etages (RAFADE), Réacteur Anaérobie Compartmenté (RAC)

Impacts et durabilité

| Critères de durabilité | Appréciation* |
|---|---------------|
| Protection de la santé | ++ |
| Protection de l'environnement | +++ |
| Facilité de mise en œuvre | ++ |
| Robustesse de la technologie | +++ |
| Facilité d'exploitation, d'entretien et de maintenance | ++ |
| Coûts et bénéfices | +++ |
| Facilité d'intégration dans le contexte socioculturel et institutionnel | +++ |

* +++: Point fort de la technologie, ++: moyen, +: faible

Principes de base

- L'eau usée prétraitée est uniformément répartie au fond et l'effluent quitte le réacteur par la surface. Un lit de boues (biomasse) en suspension filtre et traite l'eau usée pendant son ascension vers la sortie.
- La partie la plus importante du réacteur est le séparateur des phases gaz/solides/liquide (GSL). Il s'agit d'un ouvrage conique et dont le sommet permet la collecte des gaz produits dans le réacteur.
- Le séparateur GSL est placé au sommet du réacteur qu'il divise en une partie inférieure appelée « zone de digestion », et une partie supérieure appelée « zone de décantation ».
- Etant donné que la paroi du séparateur est inclinée vers le bas, la section de passage s'agrandit au fur et à mesure que l'eau monte dans le réacteur d'où une diminution de la vitesse d'ascension de l'effluent (zone de décantation). Ceci a pour résultat le dépôt des granulats bactériens sur la face supérieure du séparateur GSL.
- Sous son propre poids, les granulats finissent par glisser puis par rejoindre la zone de digestion. Ce retour de cette boue vers le fond est une procédure importante de conduite du réacteur car elle permet d'augmenter la concentration de la biomasse et d'accélérer la vitesse de digestion.

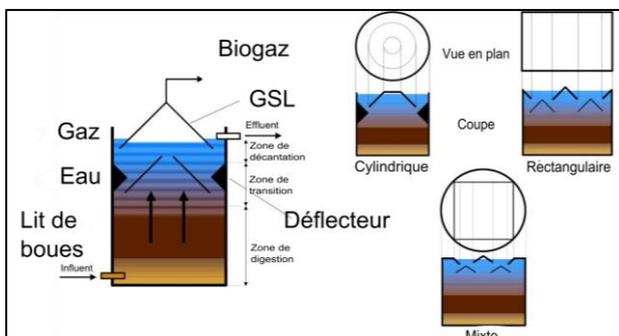
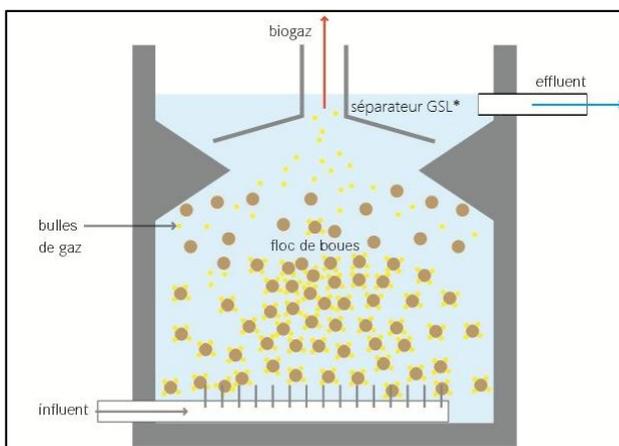


Figure 1: Coupe transversale d'un réacteur UASB (source: Tilley et al., 2008) et différentes versions.



Figure 2: Avant plan: Réacteur UASB de 15.000 EH pour le traitement des eaux usées domestiques. Arrière plan: lits de séchage des boues. Localité de San Juan del Sur, Nicaragua (source: PROATAS/GIZ – AKUT).



Figure 3: UASB avec torchage de l'excès de biogaz en Afrique du Sud (source: Talbot & Talbot).

- Dans le traitement des eaux agroalimentaires, le lit de boues est composé de granules ayant entre 0,5 et 2 mm de diamètre constitués d'une association de microorganismes anaérobies agglomérés (granulats) pour des raisons de complémentarité métabolique. Ceux qui craignent le plus l'inhibition par l'oxygène sont situés au centre du granulat.
- Dans le traitement des eaux usées domestiques beaucoup moins concentrées, la boue est souvent sous forme floculée et non granulaire.
- Dans leur ascension, les bulles de gaz provoquent un brassage des eaux usées ce qui favorise le contact entre la biomasse et l'eau usée.
- Les bulles de gaz entraînent dans leur ascension les granules ou les boues flocuées; le choc contre les parois inclinées du séparateur GSL bloque les boues qui retombent alors que les gaz s'échappent vers le sommet du séparateur GSL.
- L'effluent clarifié est récupéré à la surface du réacteur à l'aide de déversoirs ou tuyaux latéraux.
- Une vitesse d'ascension de 0,7 m/h ne doit pas être dépassée pour garder la couche de boues en suspension et assurer un brassage adéquat du réacteur.
- Le processus de digestion conduit à l'émission de biogaz composé de méthane (CH_4), qui est une source d'énergie renouvelable, de dioxyde de carbone (CO_2), d'azote moléculaire (N_2) et du sulfure d'hydrogène (H_2S).
- En cas de réutilisation non restrictive en irrigation ou de rejet en rivière, une étape de traitement complémentaire et une élimination des pathogènes s'avère nécessaire au minimum.
- Le traitement complémentaire en aval peut être par exemple: bassin de maturation, filtre planté, lit bactérien, plantation de biomasse etc. selon que l'on s'oriente vers une réutilisation ou que l'on envisage un rejet.

Conditions d'application

- Le réacteur UASB est d'abord un procédé de traitement à grande échelle pour les eaux résiduaires agroindustrielles: brasseries, distilleries, industries alimentaires, déchets de pulpe et de papier. Plus tard, il a été adapté au traitement des eaux usées domestiques.
- L'UASB est capable d'éliminer 85% à 90% de la demande chimique en oxygène (DCO) en un temps de séjour inférieur à 1 jour.
- Les basses températures réduisent fortement l'efficacité de l'UASB ainsi que les faibles charges.
- Le réacteur UASB fonctionne mieux avec des concentrations élevées en matières organiques. La concentration en demande chimique en oxygène (DCO) doit être supérieure à 400 mg/L sans limite supérieure connue. La limite de 400 mg/L ne posera pas de problèmes étant donné que la DCO de l'eau usée domestique brute en milieu rural marocain est très élevée (900-1200 mg/L).
- Le réacteur UASB est indiqué pour des villages peuplés, à densité d'habitation forte comprenant une ou plusieurs unités agroindustrielles.
- La commune rurale ou un sous-traitant doit être en mesure d'assurer l'entretien et la maintenance des ouvrages pour garantir leur durabilité.
- Il est recommandé que la capacité d'un UASB ne descende pas en dessous de 10.000 ou même 15.000 équivalent-habitants afin d'assurer un débit assez constant; dans certains cas, une pompe assurera un débit plus régulier, même pour des capacités plus petites.

Options possibles de valorisation

- Le biogaz (riche en méthane) collecté peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable ou au minimum brûlé pour réduire les émissions des gaz à effet de serre.
- Le réacteur UASB permet la valorisation de l'eau épurée en irrigation (effluent de catégorie B de la norme marocaine (voir SEEE, 2007)).
- La boue extraite du réacteur nécessite un traitement de stabilisation.



Chiffres clés

| | |
|---|---|
| Élimination de matière organique | <ul style="list-style-type: none">• Peut éliminer 85% à 90% de la DCO et 60 à 80% des matières en suspension (MES) en conditions tropicales.• Performances réputées réduites en conditions méditerranéennes (été chaud / hiver froid). |
| Élimination des pathogènes | Faible élimination des pathogènes: une unité logarithmique en général |
| Temps de séjour hydraulique | Généralement de 6 à 8 h en conditions tropicales |
| Durée de vie | 25 à 50 ans pour ouvrages en béton armé |
| Efficacité | Elevée (réduction rapide et importante de la charge organique) |
| Vitesse d'ascension | La vitesse dans la zone de digestion ne doit pas dépasser 0,7 m/h. Les valeurs typiques vont de 0,2 à 1 m/h. |
| Coûts d'investissement | Les coûts donnés pour le RAFADE testé au Maroc peuvent être renseignés à titre indicatif (voir fiche technique sur le RAFADE). |
| Coûts d'exploitation | Les coûts donnés pour le RAFADE testé au Maroc peuvent être renseignés à titre indicatif (voir fiche technique sur le RAFADE). |

Conception et construction

- Le dimensionnement du réacteur UASB est basé sur le temps de séjour et sur la vitesse d'ascension de l'influent au sein du réacteur. Il y a trois valeurs-clés de la vitesse d'ascension du liquide dans le réacteur:
 - La vitesse du liquide dans la zone de digestion qui est définie, à un débit donné par la section de cette zone.
 - La vitesse dans les ouvertures situées entre le séparateur GSL ou entre les séparateurs et les murs des réacteurs qui représentent les sections les plus petites du réacteur.
 - La vitesse du liquide à la surface du réacteur définie par la section de cette zone et qui conditionne la décantation des granulats sur la surface des parois du séparateur GSL.
- Le principal paramètre de dimensionnement étant la vitesse dans la zone de digestion qui ne doit pas dépasser 0,7 m/h pour maintenir la boue dans le réacteur et d'empêcher sa sortie avec l'effluent.
- La masse de boue à maintenir en permanence au sein du réacteur est calculée selon les coefficients de cinétique des populations bactériennes anaérobies.
- Le matériau de construction conseillé pour les ouvrages de l'UASB est le béton armé ou tout autre matériaux capable d'assurer les mêmes fonctions; la fabrication du séparateur de phase GSL représentant la partie la plus délicate.

- L'effluent est récupéré en surface par débordement à l'aide de déversoirs triangulaires placés le long d'un canal d'évacuation de section rectangulaire.
- Le niveau de complexité des travaux en béton est moyen à compliqué. La durée de réalisation dépend de beaucoup de facteurs mais l'on peut penser que douze mois sont suffisants pour achever et mettre en eau un réacteur UASB pour 10.000 habitants.



Figure 4: UASB traitant 860 m³/j des eaux usées à l'Université UNITRAR à Lima, Pérou (source: LeAF, 2010).



Figure 5: Vue en plan de l'UASB de la figure 4 montrant la surface de l'ouvrage avec au centre le séparateur de phase et la collecte du biogaz ainsi que les déversoirs d'évacuation de l'effluent situés de part et d'autre en longueur. Arrière plan: bassins de post-traitement (source: LeAF, 2010).

Entretien et maintenance

- Principales opérations d'exploitation: évacuation des boues excédentaires sur la base du calcul de la quantité de boues recommandée pour un fonctionnement à l'état stationnaire.
- L'opérateur doit régulièrement contrôler les niveaux des boues et procéder à l'évacuation régulière des boues excédentaires à l'aide de vannes placées à différentes hauteurs sur le côté du réacteur.
- Les boues évacuées sont en fait un mélange de boues anciennes stabilisées et d'autres, récentes, non stabilisées. Elles nécessitent par conséquent un



traitement additionnel pour assurer leur stabilisation complète.

- Suivi de la qualité de l'effluent et de la production de biogaz.
- Un technicien qualifié est nécessaire avec deux heures par jour de travail pour la conduite du réacteur.

Aspects sanitaires et environnementaux

- L'UASB est une technologie de traitement centralisé qui doit être gérée et entretenue par des professionnels.

Acceptabilité

- Le réacteur UASB est une technologie hors-site et centralisée. Son acceptation ne devrait pas poser un problème aux utilisateurs.
- L'installation doit être située à une distance suffisante pour éviter le désagrément en cas d'émanations d'odeurs accidentelles.



Figure 6: Réacteur UASB pour les eaux usées de 36.000 EH à Boaco, Nicaragua (source: PROATAS/GIZ – AKUT).

Avantages et inconvénients

Avantages

- Forte réduction de la matière organique en un temps court.
- Accepte des taux de charge organique élevés.
- Faible production de boues (vidange peu importante en quantité).
- Utilisation du biogaz comme source renouvelable d'énergie est possible.
- Faible emprise au sol.
- Absence d'équipements mécaniques à l'intérieur du réacteur.
- L'effluent est de catégorie B, selon la norme marocaine; il peut être utilisé pour l'irrigation de fourrages, céréales, oliviers et production de biomasse.
- Après un traitement adéquat de stabilisation et de séchage, les boues sont utilisables en tant que fumure organique pour les sols agricoles moyennant les précautions d'usage (voir fiche relative aux boues).

Inconvénients

- Requier une expertise pour la conception et la construction.
- Complexité et coût de construction du séparateur de phases liquide/solides/gaz
- Maîtrise de la gestion du biogaz.
- Odeurs possibles.

Exemples au Maroc

A notre connaissance, il n'existe pas encore de réacteur UASB en fonctionnement au Maroc. Plusieurs projets pilotes devraient être mis en place pour déterminer les paramètres de conduite et de dimensionnement applicables pour les conditions climatiques et les caractéristiques des eaux usées rurales au Maroc.

Bibliographie

Les sources suivantes ont été prises en considération:

- (1) Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R. (2008). Compendium des systèmes et technologies d'assainissement. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Duebendorf, Switzerland, <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1156>
- (2) SSWM (2013). Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox, <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/u>
- (3) SEEE (2007). Normes de Qualité - Eaux destinées à l'irrigation. Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (MEMEE), chargé de l'Eau et de l'Environnement, Maroc. http://www.water.gov.ma/userfiles/file/3_Irrigation.pdf ou <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1836>
- (4) TU Delft : Notes de cours sur l'UASB (Prof. J. B. van Lier, The Netherlands): <http://ocw.tudelft.nl/courses/watermanagement/wastewater-treatment/lectures/8-anaerobic-treatment-introduction-uasb-design-base/>
- (5) Discussion sur le Forum de discussion SuSanA incluant: <http://forum.susana.org/forum/categories/35-biogas-sanitation-systems-and-dewats/3042-instructions-for-building-uasbs>
- (6) SuSanA base de données photo: <http://www.flickr.com/photos/qtzecosan/collections/>

Mention légale:

- Auteurs: B. El Hamouri, M. Wauthélet, E. von Muench, M. E. Khayati, C. Werner
- Mise en forme: L. Herrmann, A. Schroeder
- Dernière mise à jour: Juin 2015, © GIZ/Programme AGIRE

Le présent document fait partie du guide d'assainissement rural et de valorisation des sous produits au Maroc, disponible sur: <http://www.agire-maroc.org> et www.susana.org/library

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.