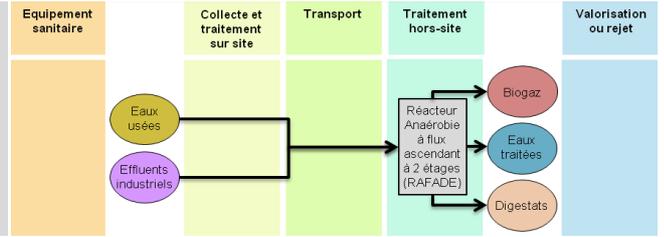


18 Réacteur Anaérobie à Flux Ascendant à Deux Etages (RAFADE)

Traitement hors-site et sur site

FINAL DRAFT du 30 avril 2015



Informations générales

Le RAFADE comporte deux réacteurs en série complètement couverts. L'eau usée est appliquée par le fond et quitte par le haut des réacteurs. Le décanteur externe piège la boue et le filtre à gravier bloque les particules légères. La boue éliminée est dirigée vers les lits de séchage.

Autres noms: Néant

En anglais: Two stage Upflow Anaerobic Reactor (TSUAR)

Technologie apparentée: Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB), fosse Imhoff, réacteur anaérobie compartimenté (voir fiche « RAC »).

- La digestion des matières organiques, particulaires et solubles, a lieu en même temps dans les réacteurs.
- Un filtre à gravier pour retenir les particules trop légères pour être retenues par le décanteur.
- La boue digérée, excédentaire au sein des réacteurs est entraînée par l'effluent, puis piégée au niveau du décanteur. Elle est évacuée vers les lits de séchage par écoulement gravitaire.
- Les coupoles empêchent la vision désagréable des eaux usées brutes, les émanations d'odeurs, la pullulation des insectes et permettent de collecter le biogaz.
- Principales différences avec l'UASB: réacteurs entièrement couverts; deux réacteurs en série au lieu d'un seul et remplacement du séparateur interne des phases par un décanteur externe.

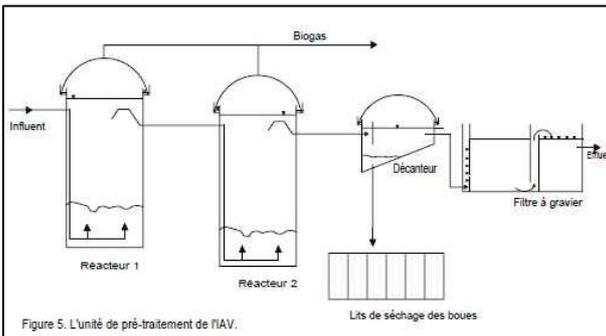


Figure 1: Coupe et circuit de l'eau dans le RAFADE (source: B. El Hamouri).

Conditions d'application

- Les techniques anaérobies type RAFADE sont robustes et peuvent s'avérer les plus durables dans le traitement des eaux usées rurales fortement chargées.
- Le RAFADE peut accepter les eaux mixtes ou séparées (grises ou noires). Il est capable de traiter, en même temps, les boues de vidange des regards ou fosses de décantation ainsi que celles des fosses septiques situées hors couverture du réseau.

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

Principe de fonctionnement

- Deux réacteurs anaérobies à flux ascendant en série.
- Un décanteur externe avec lits de séchage des boues.



Figure 2: RAFADE en exploitation à Casablanca pour traiter les eaux usées d'une habitation privée (source: B. El Hamouri, 2004).

Options possibles de valorisation

Le RAFADE permet la valorisation de: i) l'eau épurée (effluent de catégorie B de la norme nationale), ii) la boue stabilisée et iii) le biogaz collecté.

**Chiffres clés**

Temps de rétention hydraulique	48 h sous climat Méditerranéen (24 h par réacteur)
Vitesse d'ascension	< 0,7 m/h
Rapports diamètre/profondeur testés	0,6 à 1,25
Charge volumique	0,76 à 3 kg DCO/(m ³ .j)
Performances	Abattement: 80% de la DCO et 80% des MES
Coûts d'investissement	Exemple de valeurs au Maroc: 600 mad/EH* à 670 mad/EH** (en 2003) (55 à 61 euro/EH).
Coûts d'exploitation/an	37 mad/EH/an** (in 1999) (3,5 euro/EH/an)
Coûts en comparaison avec d'autres techniques	Investissement comparable au lagunage naturel. Mais, avantage au niveau du coût d'exploitation.
Durée de vie	<ul style="list-style-type: none"> • 30 ans (ouvrages en béton armé) • 20 ans (coupoles en fibre de verre)

* Unité de 1000 Equivalent-Habitants (EH) (sans station de relevage). **Unité de 1000 EH (avec station de relevage en fonction de la hauteur des réacteurs par rapport à l'arrivée de l'eau usée).

Conception et construction

- Le RAFADE digère en même temps la matière organique de l'eau et les boues primaires (DCO soluble et particulaire). L'alimentation ascendante favorise le contact entre la boue et l'influent pour en assurer la digestion; elle permet également d'éviter l'hydrodynamique déficiente et la stratification thermique constatées sur les bassins anaérobies.
- Le RAFADE dispense du curage de la boue, opération compliquée et onéreuse nécessitée par les bassins anaérobies et les fosses septiques.
- Les performances d'épuration du RAFADE équivalent à celles d'une unité de traitement secondaire soit, une élimination de 80% de la DCO et 80% des MES sans aucune dépense d'énergie.
- La constante, k, de premier ordre de biodégradation de la matière organique est l'élément de dimensionnement des réacteurs. Cette constante a été déterminée par traçage chimique au lithium réalisé sur les réacteurs du RAFADE de l'IAV. Le traçage a montré que le l'écoulement dans les réacteurs du RAFADE tend vers un piston. Les valeurs de k, déterminées pour le réacteur R1 et R2 sont utilisables moyennant les corrections de température nécessaires et pourvu que le rapport diamètre/profondeur, (d/p) soit situé entre 0,6 et 1,25.
- Pour le filtre de gravier, il est nécessaire de connaître les caractéristiques du gravier (taille, porosité, d10, d60) et de déterminer sa conductivité selon la relation de Darcy.

- Pour le dimensionnement des lits de séchage, l'expérience de l'IAV a permis de déterminer les paramètres de dimensionnement: production spécifique des boues: 0,22 kg MES/kg DCO éliminée; productivité du lit: 1,5 kg MES/ (m²*j); charge appliquée: 10 kg MES/ m²; cycle de séchage typique à Rabat: 7 j (5 jours à El Attaouia) en saison chaude; >10j en saison pluvieuse.
- Un fichier Excel peut être téléchargé à partir d'un site web (voir bibliographie, p. 4, (6)) pour permettre le dimensionnement du RAFADE connaissant le débit, (ou la population et la consommation par habitant). Les caractéristiques de l'eau usée à traiter doivent être déterminées, notamment la DCO et les MES, ou évaluées à partir des documents nationaux de références. L'alcalinité est suffisante et ne pose pas de problème dans les eaux usées rurales.
- Le matériau de construction des ouvrages du RAFADE est le béton armé et la fabrication des coupoles amovibles en fibres de verre (polyester) résistant à la corrosion et aux UV.
- Le niveau de complexité des travaux est à la portée d'une petite entreprise bien outillée. La durée de réalisation dépend de beaucoup de facteurs mais l'on peut penser que six à huit mois sont suffisants pour achever et mettre en eau un RAFADE de 10.000 habitants.



Figure 3: RAFADE d'El Attaouia extension en 2011. L'unité comporte: 2 réacteurs en série; 1 décanteur, 1 filtre à gravier et une batterie de lits de séchage (premier plan). Notez la couverture des réacteurs avec des coupoles en polyester (source: B. El Hamouri, 2011).

Entretien et maintenance

- Intervention quotidienne de nettoyage de la grille et l'évacuation des sables du prétraitement à intervalles réguliers (prétraitement nécessaire: dégrillage et dessablage). D'ailleurs cette action est nécessaire quel que soit le système de traitement choisi.
- Evacuation quotidienne des boues du décanteur vers les lits de séchage par simple ouverture de vanne.
- Evacuation des boues sèches des lits de séchage et leur mise en stockage.
- Vérifications de routine de l'étanchéité des coupoles et des conduites de collecte de biogaz.



Figure 4: RAFADE de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan I, Rabat (IAV) avec unité de valorisation du biogaz (source: B. El Hamouri, 2003).

Aspects sanitaires et environnementaux

- Le RAFADE confine les eaux usées brutes dans les réacteurs couverts ce qui élimine les risques liés à la pullulation des insectes, à la toxicité du H₂S et l'émission des gaz à effet de serre.
- Ce confinement protège également contre les émanations des mauvaises odeurs et évite de devoir éloigner les installations d'épuration du village.



Figure 5: RAFADE d'El Attaouia début du projet Phase 1 (2003). Réacteur N°2 couvert à l'aide de PEHD: (polyéthylène à haute densité). En arrière plan: le chenal algal et les deux bassins de maturation en série (source: B. El Hamouri, 2003).

Acceptabilité

Cette technologie est bien acceptée par la population car elle empêche l'émanation des mauvaises odeurs et qu'elle ne nécessite pas un changement de comportement, par exemple, le RAFADE de l'IAV est situé dans l'enceinte de l'Institut à moins de 100 m des lieux de travail. Il fonctionne depuis 1997 sans protestations du personnel de l'Institut.

Avantages et inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Système robuste capable d'absorber les fortes charges consécutives à l'admission des boues des regards de décantation ou des fosses septiques. • Technique durable car la biomasse produite est éliminée sous forme de boue séchée. • Aucune consommation d'énergie, si dénivelée existante. • Faible emprise au sol. • Faible demande en entretien et maintenance. • Récupération du biogaz pour usage culinaire ou pour chauffage d'eau de Hammam et protection contre les gaz à effet de serre. • Pas de pertes d'eau épurée par évaporation ou évapotranspiration et conservation des nutriments permettant une valorisation de l'eau et des nutriments en agriculture. • 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. • Les boues sont stabilisées, elles sont réutilisables en tant que fumure organique pour les sols agricoles. • S'accommode d'arrêts accidentels ou programmés pouvant durer jusqu'à deux mois avec reprise de l'activité biologique dès réalimentation.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Précautions de restriction de l'accès et protection habituelles des zones de production de produits inflammables, explosifs (méthane). • Construction en matériaux coûteux (béton armé et coupoles en fibres de verre). • Corrosion du béton due à la production d'acide sulfurique similaire à celle décrite pour les conduites d'assainissement des réseaux urbains. • Manque à gagner par rapport à un effluent de catégories A pouvant permettre une réutilisation sans restriction.

Exemples au Maroc

Quatre unités RAFADE sont actuellement en utilisation dont le prototype de l'IAV. Dans chacune des applications, l'effort de la mise en œuvre de la technologie était supporté par des projets de recherches internationaux ou par l'implication directe de la coopération internationale comme l'USAID dans le cas d'El Attaouia.

L'ONEP (actuellement ONEE) ainsi que les autres opérateurs se limitent à appliquer les systèmes recommandés par le Schéma Directeur National d'Assainissement Liquide publié en 1998. A cette période, le RAFADE était encore en période de test.

Exemple 1: RAFADE prototype de l'IAV Hassan II (1000 Equivalent Habitant ou EH)

- Date de mise en eau: Décembre 1996
- Capacité: 60m³/jour (deux unités en parallèles de 30 m³) ou 1000 EH
- Composition:



- 1 Réacteur R1
- 1 Réacteur R2
- 1 Décanteur (agrandi en 2004)
- 6 lits de séchage de boue
- 1 Filtre à gravier (ajouté en 2002).

Exemple 2: RAFADE à grande échelle à El Attaouia (15 400 EH)

Les suivis effectués sur l'effluent de la STEP d'El Attaouia ont montré qu'il est conforme à la catégorie B de la norme marocaine destiné à l'irrigation des denrées consommées après cuisson, à l'irrigation de l'olivier et de la luzerne ou du maïs fourrage.

Un effluent de « catégorie B » doit correspondre à la qualité suivante: absence des œufs d'helminthes, et une concentration en coliformes fécaux (CF) supérieure à 1000 CF/100 mL. Alors qu'un effluent A doit avoir une absence des œufs d'helminthes et une concentration en CF inférieure ou égale à 1000 (norme marocaine, 2002).



Figure 6: RAFADE de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan I, Rabat (IAV): élimination quotidienne des boues excédentaires (source: B. El Hamouri, 2012).



Figure 7: RAFADE du projet El Attaouia: lit de séchage des boues (source: El Hamouri, 2005).



Figure 8: RAFADE du projet El Attaouia; réacteurs couverts à l'aide de coupoles en polyester (source: El Hamouri, 2005).

Bibliographie

Les sources suivantes ont été prises en considération:

- (1) El Hafiane, F., El Hamouri, B. (2002). Performances d'un système anaérobie à deux étapes dans le traitement des eaux usées domestiques sous climat méditerranéen. *Actes Inst. Agron. Vet.* 22 (3) 133-141. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1840>
- (2) El Hamouri, B. (2004). Réacteur anaérobie et chenal à haut rendement pour l'épuration des eaux usées des petites communautés: Réalisation, exploitation et performances. Monographie préparée avec le soutien de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), Centre Régional des Activités pour la Santé de l'Environnement (CEHA), Amman, Jordanie. <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1840>
- (3) Melkaoui, A. (2006). i) Performances du RAFADE de l'IAV Hassan II. ii) Performances et dimensionnement de l'extension du RAFADE de la station d'épuration d'El Attaouia. (Mémoire, génie Rural IAV Hassan II). <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1840>
- (4) Camara, A., Kpeli, M.K. (2010). Station d'épuration de l'IAV Hassan II treize années après sa mise en fonctionnement: performance du RAFADE et devenir de l'azote dans le chenal algal à haut rendement. (Mémoire génie Rural IAV Hassan II). <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1840>
- (5) Serhane, N. (2005). Etude de l'impact du système de distribution de l'influent et de collecte de l'effluent sur le régime hydraulique et les performances épuratoires des réacteurs anaérobies à flux ascendant et à deux étages. (Mémoire génie Rural IAV Hassan II). <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1840>
- (6) Exemples de dimensionnement RAFADE (deux fichiers Excel). <http://www.susana.org/en/resources/library/details/1840>
- (7) 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>

Mention légale:

- Auteurs: B. El Hamouri, E. von Muench, M. Wauthélet, M. E. Khyati, C. Werner
- Mise en forme: L. Herrmann, A. Schroeder
- Dernière mise à jour: Avril 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.