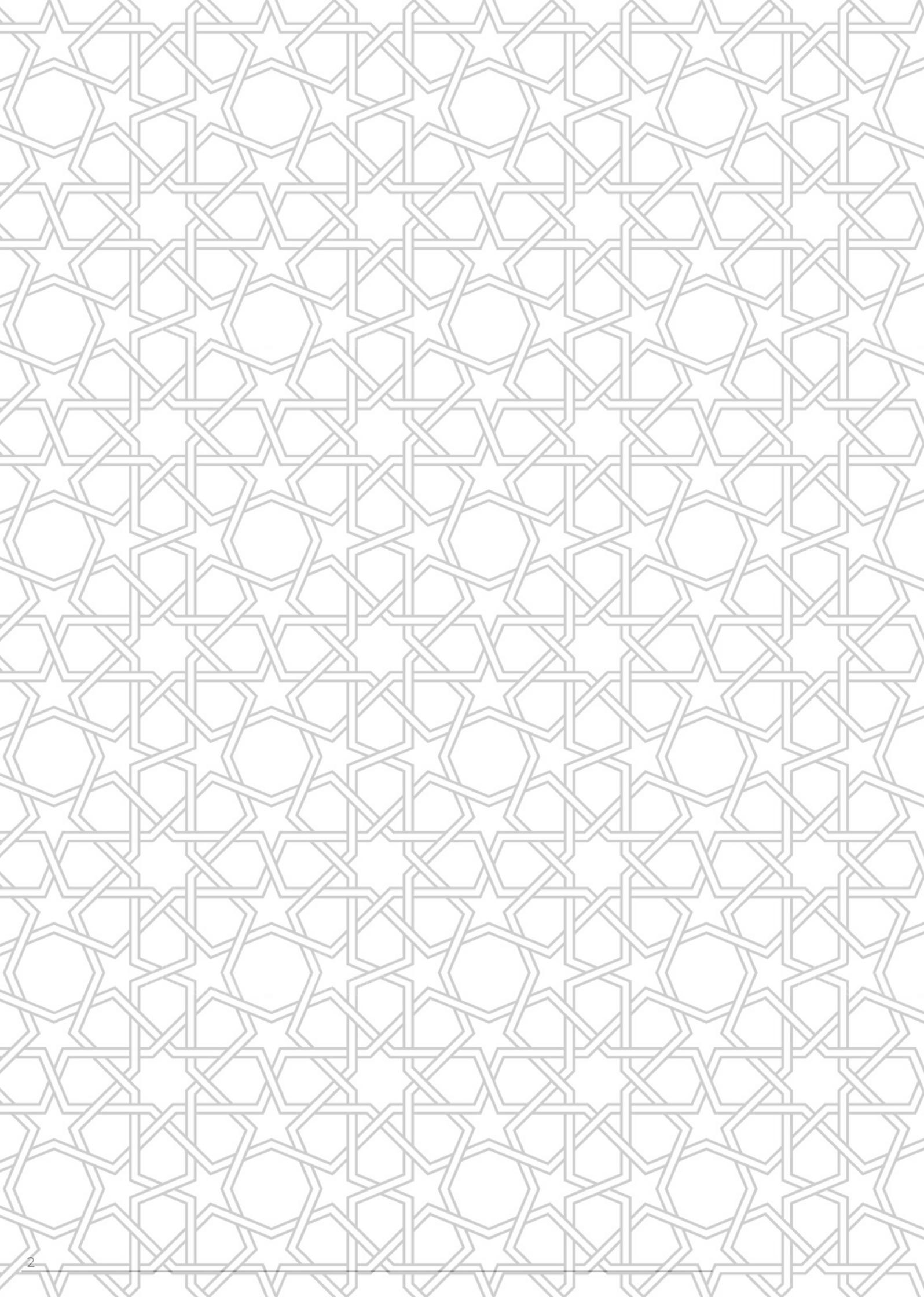
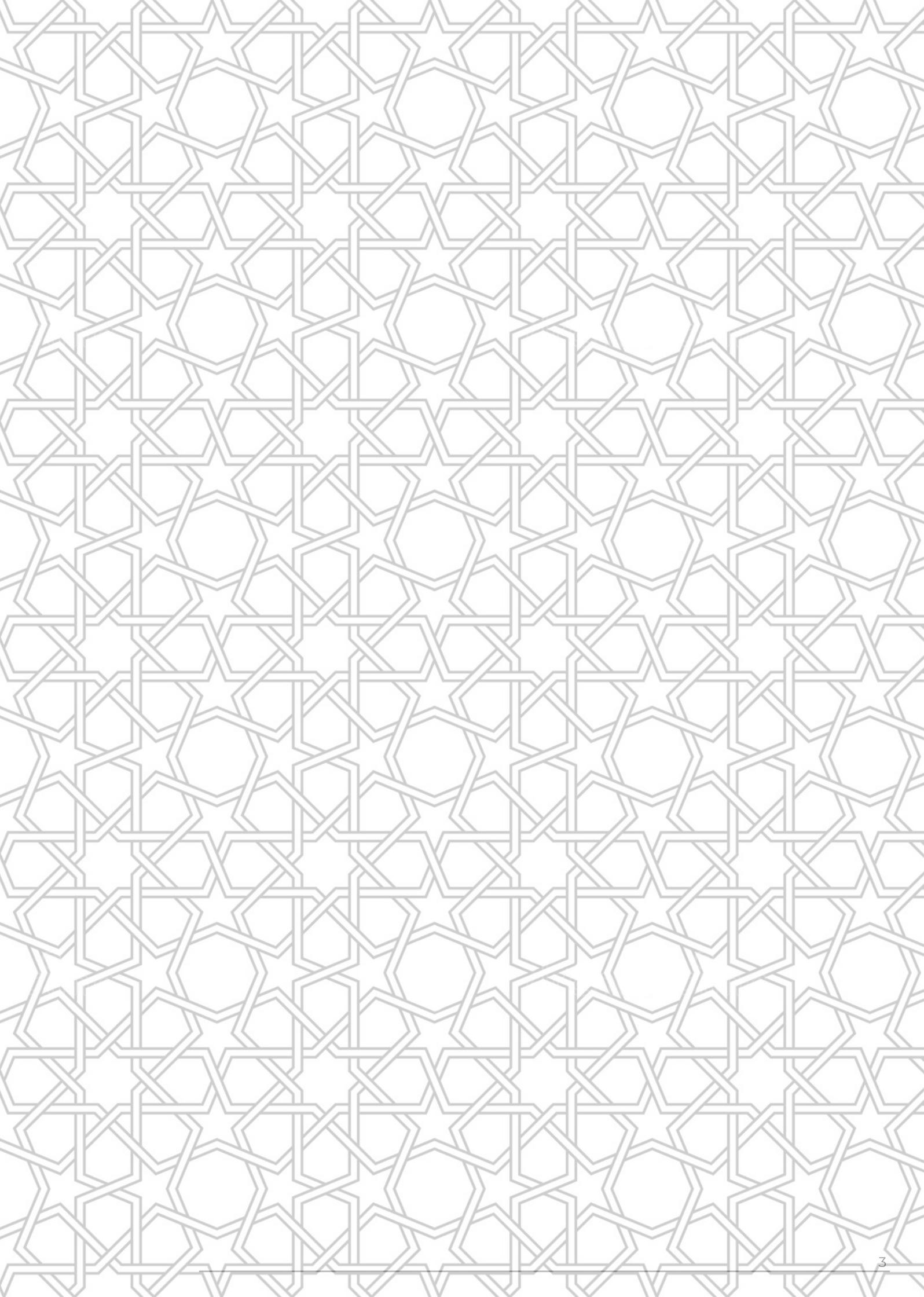




# GUIDE DE DIMENSIONNEMENT ET DE CONSTRUCTION

Le réacteur anaérobie compartimenté et ses variantes







## Introduction

Le présent guide est destiné à toute personne au Maroc qui souhaite comprendre l'épuration des eaux usées par technologie du Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC) ou qui souhaite s'engager dans la construction d'un système épuratoire écologique et peu coûteux.

Il rassemble des informations générales sur les types des digesteurs anaérobies et leur fonctionnement mais il se focalise uniquement sur la technologie du réacteur anaérobie compartimenté. Le RAC est présenté par le GIZ est inspiré des normes européennes et de l'expérience dans les pays méditerranéens, dont le Maroc.

Vous trouverez également des informations sur la méthodologie du dimensionnement du RAC en fonction du débit d'alimentation, du temps de rétention hydraulique, du volume de réacteur et du nombre de compartiments. De même vous trouverez les informations nécessaires à la construction du modèle RAC classique 100 EH (modèle « DEWATS » 17 m<sup>3</sup>), le modèle RAC classique à compartiment descendant tubulaire ainsi que modèle RAC simplifié tubulaire. Ces informations sont basées sur la littérature scientifique et ont été adaptées pour tout un chacun.

Ce guide fournit également des feuilles de calculs RAC présentées sous formes d'études de cas.



Introduction	5
Sommaire	6
Table des illustrations	7
Liste des Abréviations :	8
Liste des tableaux	8
<b>Chapitre 1 : Présentation du processus de la digestion anaérobie</b>	<b>10</b>
1. Principe de base de la digestion anaérobie	10
2. Étapes de la digestion anaérobie :	10
3. Typologie des digesteurs :	10
<b>Chapitre 2 : Principe de fonctionnement d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC)</b>	<b>12</b>
1. Principe:	12
1.1. Alimentation :	12
1.2. Sous -produits :	13
1.2.1. Utilisation du biogaz :	13
1.2.2. Valorisation des eaux usées traitées :	13
1.2.3. Valorisation des boues de vidanges :	13
2. Composantes :	13
3. Avantages et limites :	15
4. Aspects sanitaires :	16
5. Mode de gestion :	16
6. Coût :	17
<b>Chapitre 3 : Méthodologie de dimensionnement du RAC</b>	<b>18</b>
1. Historique et étapes de l'évolution du RAC :	18
2. Concepts généraux du dimensionnement :	19
3. Méthode de dimensionnement :	20
3.1. Paramètres critiques de fonctionnement et de dimensionnement :	20
3.1.1. Température :	20
3.1.2. Compositions des eaux usées :	20
3.2. Principe de conception :	22
3.2.1. Nomenclature et paramètres de dimensionnement des RAC :	22
3.2.2. Collecte et utilisation du biogaz :	27
3.2.3. Calcul des consommations de biogaz :	27
3.2.4. Calcul des tuyauteries de biogaz :	27
3.3. Dimensionnement pour adaptation / valorisation du biogaz :	28
3.3.1. Stockage et pression du biogaz :	28
3.3.2. Matériaux :	29
<b>Chapitre 4 : Mode et critères de construction d'une installation</b>	<b>30</b>
1. Critères du choix du site de construction :	30
2. Mode de construction de quelques modèles :	30
2.1. Modèle de RAC classique de 100 EH (modèle « DEWATS » 17 m <sup>3</sup> ) :	30
2.1.1. Emplacement et préparation des excavations :	31
2.1.2. Imperméabilisation :	32
2.1.3. Dimensions de construction simplifiées :	32
2.2. Autres modèles et alternatives de conception / construction :	32
2.2.1. Modèle du RAC classique à compartiment descendant tubulaire :	32
2.2.1.1. Emplacement et préparation des excavations :	33
2.2.1.2. Imperméabilisation :	33
2.2.1.3. Dimensions de construction simplifiées :	33
2.2.1.1. Construction par étapes d'un RAC simplifié tubulaire de 1,5 m <sup>3</sup> :	33
2.2.3. Modèle du RAC adapté à la production de biogaz :	36
2.2.3.1. Emplacement et préparation des excavations :	36
2.2.3.2. Dimensions de construction simplifiées :	36
2.3. Tests d'étanchéité de l'installation :	38
2.3.1. Etanchéité à l'eau :	38
2.3.2. Etanchéité au gaz :	38
<b>Chapitre 5 : Maintenance du RAC et quelques propositions d'amélioration et de gestion</b>	<b>41</b>
1. Utilisation et maintenance :	41
2. Amélioration du fonctionnement de l'installation RAC :	41
2.1. Rétention des matières en suspension :	41
2.2. Dispositif de vidange avec lits de séchage des boues :	41
<b>Annexe 1</b>	<b>45</b>
Rappel du principe de fonctionnement des fosses septiques traditionnelles	45
Exemples d'utilisation de la feuille de calcul RAC – Etudes de cas	48
Construction du RAC	56
<b>Bibliographiques</b>	<b>62</b>

## Table des illustrations

Figure 1 : Différentes étapes du processus de digestion anaérobie.....	9
Figure 2 : Différents types de digesteur.....	11
Figure 4 : Flux d'eaux usées à l'intérieur d'un RAC.....	15
Figure 5 : Unité de traitement décentralisé avec traitement secondaire (filtre planté).....	17
Figure 6 : Unité de traitement centralisée avec production de Biogaz.....	17
Figure 7 : Différentes variations du RAC (Barber & al. 1999).....	21
Figure 8 : Choix du temps de séjour en fonction des normes de rejet et des moyens disponibles. (Modifié d'après Foxon & al. 2006).....	30
Figure 9 a : Pertes de charge dans les conduites de biogaz.....	36
Figure 9 b : Exemple de la composition du biogaz à la Station de Ben Sergao.....	37
Figure 10 : Niveaux entrée et sortie d'un RAC.....	39
Figure 11 : Vue générale d'une installation RAC classique.....	40
Figure 12 : Limites de l'excavation vue de haut.....	41
Figure 13 : Limites de l'excavation vue de profil.....	41
Figure 14 : Vue générale d'une installation RAC classique à compartiment descendant tubulaire.....	43
Figure 15 : Limites de l'excavation vue de haut.....	43
Figure 16 : Limites de l'excavation vue de profil.....	44
Figure 17 : Agencement linéaire d'un RAC simplifié de 10 EH.....	45
Figure 18 : Agencement compact d'un RAC simplifié de 10 EH.....	45
Figure 19 : Vue générale d'une installation RAC simplifié tubulaire.....	46
Figure 20 : Limites de l'excavation vue de haut.....	47
Figure 21 : Limites de l'excavation vue de profil.....	47
Figure 22 : Cubi 1m <sup>3</sup> converti en décanteur (vue profil) : assemblage des passes paroi.....	48
Figure 23 : RAC simplifié: Configuration linéaire (vue profil).....	48
Figure 24 : Limites de l'excavation vue de haut.....	50
Figure 25 : Limites de l'excavation vue de profil.....	50
Figure 26 : Fabrication du couvercle de la couronne en brique.....	51
Figure 27 : Fabrication du couvercle des regards.....	52
Figure 28 : Construction de la couronne au-dessus de l'ouverture dans la cuve du digesteur.....	53
Figure 29 : Façonnage des briques pleines.....	54
Figure 30 : Abri pour gazomètre: vue de profil.....	54
Figure 31 : Abri pour gazomètre : vue de de haut.....	55
Figure 32 : Schéma d'une soupape à eau – vue en plan.....	55
Figure 33 : Purge d'eau.....	56
Figure 36 : Test d'étanchéité au biogaz.....	58
Figure 34 : RAC simplifié avec support de biomasse.....	60
Figure 35 : Rac avec dispositif de vidange avec lits de séchage des boues.....	61
Figure 37 : Digestion anaérobie ; Production et élimination des gaz d'une fosse septique .....	63
Figure 38 : Exemple de fosse septique.....	66
Figure 39 : Principe de fonctionnement d'un UASB.....	69
Figure 40 : Abattement de la DBO dans le cas de surcharge organique des RAC.....	75
Figure 41 : Abattement de la DBO par rapport à la concentration dans des RAC .....	75
Figure 42 : Effet de la température sur le taux d'abattement de la DBO dans des RAC.....	76
Figure 43 : Effet du nombre des compartiments sur le taux d'abattement de la DBO <sub>5</sub> .....	76
Figure 44 : Abattement de la DBO par rapport au TRH dans les réacteurs anaérobie compartimentés.....	77
Figure 45 : RAC (d'après DEWAT) : Vue de profil.....	80
Figure 46 : RAC (d'après DEWAT) : coupe frontale A du premier compartiment.....	81
Figure 47 : RAC (d'après DEWAT) : coupe frontale B compartiment à flux ascendant.....	81
Figure 48 : RAC (d'après DEWAT) : coupe frontale C compartiment à flux ascendant.....	73
Figure 49 : RAC à compartiment descendant tubulaire : Vue de profil.....	74
Figure 50 : RAC à compartiment descendant tubulaire : coupe frontale A compartiment à flux ascendant.....	75
Figure 51 : RAC à compartiment descendant tubulaire : coupe frontale C compartiment à flux ascendant.....	76
Figure 52 : RAC simplifié: Configuration linéaire (vue générale).....	76
Figure 53 : Dimensions des éléments à flux ascendant.....	77
Figure 54 : Assemblage des éléments à flux ascendant .....	77
Figure 55 :.....	78
Figure 56 :.....	79
Figure 57 : RAC adapté à la production de biogaz: coupe frontale A compartiment à flux ascendant.....	80
Figure 58 : RAC adapté à la production de biogaz : coupe frontale B compartiment à flux ascendant.....	80

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Différents types de digesteur et leurs spécificités .....	10
Tableau 2 : Historique des étapes de développement du RAC (Barber & al. 1999) .....	22
Tableau 3 : Paramètres de conception critiques .....	32
Tableau 4 : Consommations moyennes de biogaz de différent appareil .....	34
Tableau 5 : Avantage et inconvénients des fosses septiques .....	67
Tableau 6 : Feuille de calcul pour réacteur anaérobie compartimentée avec décanteur intégré .....	73
Tableau 7 : Valeurs recommandées par le calcul initial .....	59
Tableau 8 : Variante avec 0,6 m de largeur de compartiment .....	59
Tableau 9 : Solution retenue .....	61
Tableau 10 : Feuille de calcul pour réacteur anaérobie compartimentée avec décanteur intégré (finale) .....	63
Tableau 11 : Feuille de calcul pour réacteur anaérobie compartimentée avec décanteur intégré (pour petite collectivité de 100 EH) ..	67
Tableau 12 : Correspondances entre les dimensions de construction simplifiées (tableau 12) et la Feuille de calcul (tableau 10) ..	81
Tableau 13 : Dimensions de construction simplifiées d'un RAC (d'après Sasse 2009 ; DEWATS) .....	82
Tableau 15 : Dimension de construction d'un RAC à compartiment descendant tubulaire .....	84
Tableau 16 : Correspondances entre les dimensions de construction simplifiées (tableau 14) et la Feuille de calcul (tableau 10) ..	90
Tableau 17 : RAC Simplifié tubulaire : Dimensions et rendements .....	91
Tableau 18 : RAC adapté à la production de biogaz ; dimensions et rendements.....	92

## Liste des Abréviations :

<b>RAC</b>	: Réacteur anaérobie compartimenté
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Méthane
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dioxyde de carbone
<b>H<sub>2</sub>S</b>	: Sulfure d'hydrogène
<b>pH</b>	: Potentiel hydrogène (mesure l'acidité ou la basicité d'une solution)
<b>DCO</b>	: Demande chimique en oxygène
<b>DBO</b>	: Demande Biochimique en oxygène
<b>UASB</b>	: Digesteur anaérobie à flux ascendant (Upstream Anareobic Sludge Blanket en anglais)
<b>J</b>	: Jour
<b>MES</b>	: Matières En Suspension
<b>TRH</b>	: Temps de Rétention Hydraulique
<b>TRH</b>	: Temps de Rétention Solide
<b>AGV</b>	: Acide Gras Volatils
<b>Q</b>	: Débit volumique journalier
<b>V</b>	: Volume du réacteur
<b>L</b>	: Litre
<b>Ø</b>	: Section / diamètre
<b>Ht</b>	: Hauteur intérieure de la fosse
<b>Hu</b>	: Profondeur utile de la fosse
<b>Lt</b>	: Longueur des compartiments
<b>Vh</b>	: Volume de la rétention hydraulique
<b>Q<sub>w</sub></b>	: Débit volumique des déchets solide du système
<b>X<sub>x</sub></b>	: Concentration des MES dans Q <sub>w</sub>
<b>V<sub>ss</sub></b>	: Solide en Suspension Volatile
<b>X<sub>v</sub></b>	: Concentration moyenne de solide en suspension (V <sub>ss</sub> ) dans le réacteur
<b>V<sub>asc</sub></b>	: Vitesse Ascensionnelle
<b>S<sub>comp</sub></b>	: Surface de chaque compartiment en dehors du premier



# Chapitre 1 : Présentation du processus de la digestion anaérobie

## 1. Principe de base de la digestion anaérobie

La digestion anaérobie est une dégradation bactérienne de substrats organiques (eaux usées, déchets agricoles et effluents d'élevage) qui se réalise spontanément dans les milieux naturels pauvres en oxygène (marais, appareils digestifs des bovins, fosses d'eaux usées).

De par cette production gazeuse et son origine biologique, la digestion anaérobie est fréquemment dénommée « biométhanisation ». Ce processus se déroule dans un réacteur permettant la production du biogaz composé de 50 à 70% de méthane (CH<sub>4</sub>), de 30 à 50% de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et d'autres gaz en traces (vapeur d'eau, H<sub>2</sub>S) en plus des effluents de sortie, appelé digestat.

## 2. Étapes de la digestion anaérobie :

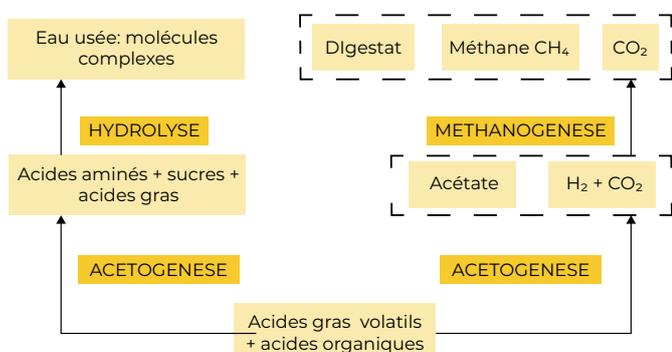


Figure 1 : Différentes étapes du processus de digestion anaérobie

Les dysfonctionnements du procédé se traduisent par une accumulation des intermédiaires, en particulier les acides gras volatils, et une inhibition de la méthanogénèse.

## 3. Typologie des digesteurs :

Il existe de nombreux modèles de digesteurs qui diffèrent selon le mode d'alimentation (discontinu, semi-continu ou continu), la méthode de stockage du biogaz ou la teneur en matières sèches du substrat. Cette grande variété de procédés permet de s'adapter aux caractéristiques du substrat à traiter.

Système	Spécificités
Batch (alimentation discontinue)	La cuve est alimentée en une seule fois puis vidangée lorsque la digestion est complète
Réacteurs « infiniment mélangés »	Ils sont approvisionnés en continu.
Réacteurs à piston	Traitent des substrats dont le pourcentage en matières sèches est élevé.
Réacteurs à culture microbienne fixée	Il s'agit de filtres bactériens anaérobies, ces modèles permettent un temps de séjour plus court et le traitement d'intrants plus dilués.
Réacteurs à culture libre (comme l'UASB)	Dans ces lits de boue à flux ascensionnel (UASB) les granulats sont maintenus en suspension par le flux d'alimentation.

Tableau 1 : Différents types de digesteur et leurs spécificités

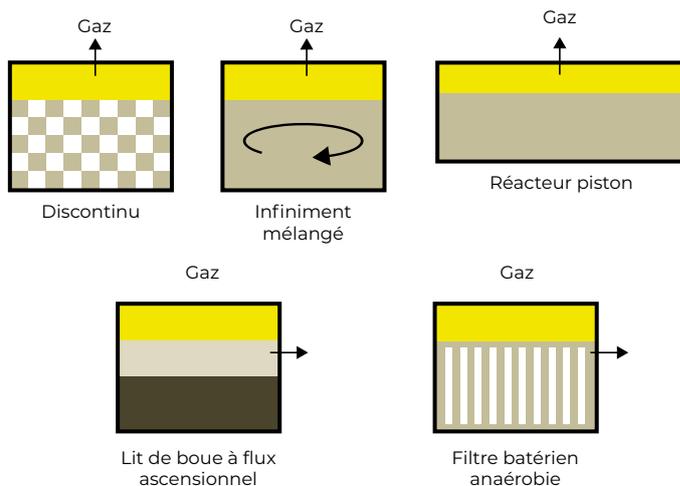


Figure 2 : Différents types de digesteur

Chaque technologie possède ses avantages et ses limites. Il convient donc de déterminer la meilleure solution en fonction des exigences technologiques imposées par la situation. Des informations complémentaires se trouvent dans les guides précédemment publiés concernant le digesteur classique à dôme et le digesteur parallélépipédique.

Dans cet ouvrage nous allons traiter uniquement le Réacteur anaérobie compartimenté (RAC) dont le principe de fonctionnement peut être assimilé à un compromis entre la fosse septique et les lits de boue à flux ascensionnel (UASB).



## Chapitre 2 : Principe de fonctionnement d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC)

### 1. Principe:

Un réacteur anaérobie compartimenté (ou réacteur anaérobie à chicane) est une technologie qui se base principalement sur le processus de la biométhanisation. Il s'agit d'une fosse septique améliorée, équipée d'une série de chicanes à travers lesquelles l'écoulement des eaux usées est forcé.

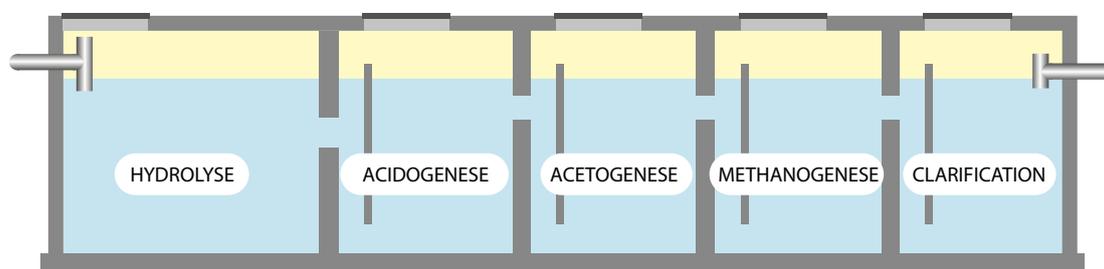


Figure 3: Séparation des étapes de la digestion anaérobie au sein d'un RAC

Le Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC) est une technologie qui allie :

- les caractéristiques des fosses septiques, c'est-à-dire la relative simplicité d'installation et le faible coût
- aux performances et à la production de biogaz élevés des systèmes à lits de boue « Mis en suspension » (Nguyen & al 2010).

Il s'agit d'un système qui consiste en une série de réservoirs reliés par des chicanes. Ces chicanes verticales forcent les eaux usées à diffuser à travers des lits de boues actives. Ce contact intime entre les eaux usées et les agents biologiques contenus dans les boues permet la retenue et la digestion anaérobie des matières organiques dissoutes et en suspension de manière performante. Ce système doit présenter au moins une chambre de sédimentation (type fosse septique ou digesteur) et 2-6 chambres à flux ascendant.

Ce système est adapté au traitement des eaux chargées (DCO/DBO) de ménages, de petites collectivités ou pour l'industrie agro-alimentaire avec une réduction de 70-95% de DBO; 80% - 90% MES; mais une faible réduction des agents pathogènes pour une TRH de 1 à 3 jours. Les RAC peuvent être installés dans chaque type de climat, bien que l'efficacité augmente en climat chaud.

#### 1.1. Alimentation :

L'accélération du flux d'eaux usées occasionne la mise en suspension des boues riches en bactéries épuratrices. L'augmentation du temps de contact entre les eaux polluées et la biomasse active génère une amélioration du traitement.

#### Remarque importante

Dans ces réacteurs, Le déplacement vertical des boues se produit à une vitesse relativement lente. Cela permet d'obtenir des temps de rétention des boues (SRT) très élevé (100 jours) avec un temps de séjour hydraulique (TRH) relativement court (2 à 3 jours). Le mouvement lent permet aux eaux usées d'entrer en contact intime avec la biomasse active lorsqu'elle passe à travers les boues. Il faut éviter des flux trop importants qui auront pour conséquence de faire déborder les boues à la sortie du RAC.

- Précautions relatives à l'alimentation (Gestion des solides inertes)

Le RAC doit être alimenté par les eaux usées (et éventuellement d'autres matières fermentescibles) sans solides inertes. Il donc faut veiller à l'élimination des solides inertes, tels que les déchets d'emballages ou le sable du système d'assainissement pour en éviter l'obstruction



ou l'accumulation de matières non digérables qui diminuent le volume de matières pouvant subir le traitement. Les installations individuelles seront accompagnées d'informations de sensibilisation et de recommandations de gestion du système.

- Pour les grandes installations, il est difficile de compter sur un respect strict des consignes d'utilisation. Il peut donc être nécessaire de placer un dégrilleur/décanteur avant le RAC. Et de déterminer de manière précise les responsables de l'entretien de l'installation.

## 1.2. Sous-produits :

Les eaux usées riches en substrats organiques sont digérées dans le RAC grâce à l'action bactérienne. Ils fournissent trois produits utiles :

- Le biogaz riche en énergie ;
- Les eaux usées partiellement épurées riches en éléments nutritifs ;
- Les boues de vidanges aussi riches en éléments fertilisants (mais également en bactéries pathogènes).

### 1.2.1. Utilisation du biogaz :

Le biogaz est utilisé en tant que combustible et peut être d'une grande utilité. Il remplace avantageusement le bois et le charbon pour la cuisson (cuisinières, fours à pain) et peut alimenter des réfrigérateurs, des lampes, des chauffe-eau et des moteurs.

1,000 litres (1 m<sup>3</sup>) de biogaz contenant 60% de méthane (CH<sub>4</sub>) correspond à :

- 0,5 l de diesel
- 1,39 kg de charbon
- 4,34 kg de bois sec
- 0,42 kg de butane
- 2 kWh d'électricité

### 1.2.2. Valorisation des eaux usées traitées :

Puisque l'élimination des agents pathogènes n'est pas totale, le système doit être confiné et les utilisateurs ne doivent pas entrer en contact direct avec les eaux usées, les boues et les agents pathogènes qu'elles contiennent. La manipulation directe des effluents ou des boues lors de l'entretien doit être évitée. En général, la qualité des effluents des RAC permet l'irrigation de culture à usage industrielle ou l'irrigation souterraine. En effet, le traitement par le RAC permet l'élimination des substances organiques (par exemple, la DCO ou la DBO) mais ne diminue pas le taux de nitrate et de phosphate qui sont valorisables en agriculture. Ces eaux ne sont donc pas utilisables dans l'état

pour la décharge dans les eaux de surface ou l'infiltration vers la nappe. De plus, l'élimination des agents pathogènes n'est généralement pas satisfaisante pour la réutilisation dans l'agriculture. Il est donc souvent nécessaire de faire appel à un traitement supplémentaire adapté à la réutilisation désirée.

### 1.2.3. Valorisation des boues de vidanges :

Comme les boues retirées d'un RAC ont une valeur fertilisante élevée, la réduction des agents pathogènes est un facteur important car les agents pathogènes présents dans les boues représentent un risque pour la santé. La température du réacteur affecte également le taux d'élimination des agents pathogènes. Les réacteurs fonctionnant dans la plage thermophile permettent d'obtenir des réductions plus importantes d'agents pathogènes. Ces boues peuvent subir un traitement supplémentaire tel que le séchage ou le compostage pour favoriser leur utilisation.

- le biogaz produit dans un réacteur anaérobie compartimenté de petite taille

En général, ce gaz n'est pas recueilli du fait de sa faible quantité. La fosse doit être ventilée pour une libération contrôlée des gaz odorants et potentiellement nocifs. Cette technologie est facilement adaptable et il est possible de l'appliquer au niveau des ménages, dans de petits quartiers, voire dans des regroupements plus importants. La biomasse du RAC est sensible au lessivage provoqué par de trop grandes variations de débits. Le RAC est, par conséquent, bien approprié lorsque le débit d'eau usée est relativement constant.

## 2. Composantes :

Le Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC) se compose de (figure 4):

- Une fosse de décantation
- Une série de compartiments à flux ascendant dans lesquels les eaux usées sont contraintes de s'écouler à travers la biomasse active (boues).
- Et d'un éventuel traitement tertiaire : En fonction des résultats à atteindre imposés par la législation ainsi que du type d'utilisation ultérieure, une étape supplémentaire (traitement tertiaire) peut être ajoutée en aval du RAC (Sasse, 2009 ; Singh & al, 2009 ; Jamshidi & al 2014) (Voir figure 5).

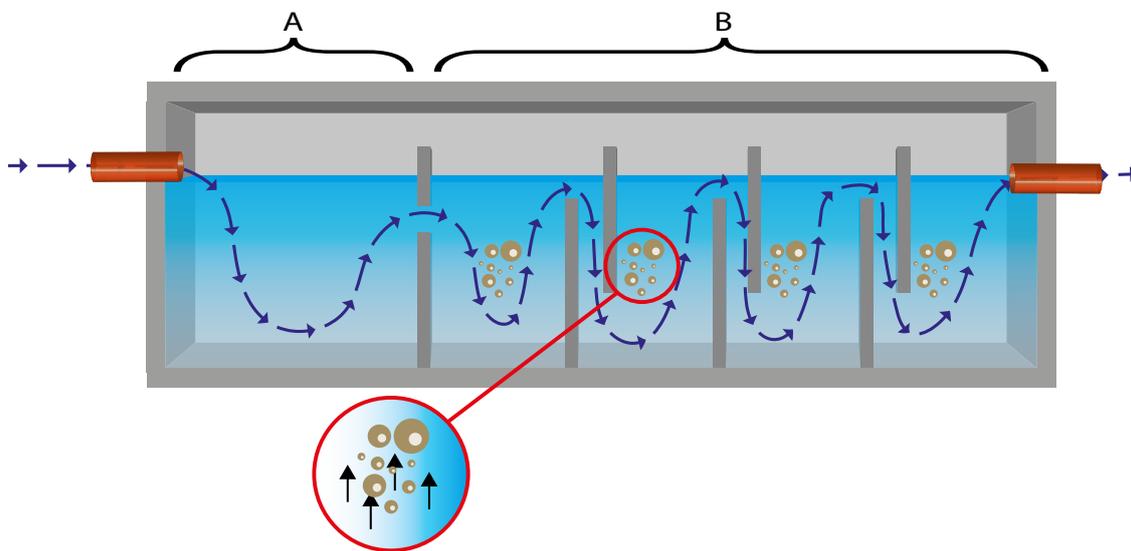


Figure 4 : Flux d'eaux usées à l'intérieur d'un RAC

#### Partie 1 : La fosse de décantation (Tronçon A, Figure 4)

Dans une installation RAC, la majorité des matières décantables sont d'abord éliminées dans la fosse de décantation. Cette décantation peut aussi être réalisée dans un ouvrage de décantation séparé, ou par le biais d'une autre technologie (par exemple, des fosses septiques existantes). C'est pour cette raison qu'on peut assimiler son fonctionnement à une fosse septique (voir Annexe 1 pour plus de détails sur le principe de fonctionnement d'une fosse septique, son dimensionnement, son fonctionnement et son entretien et les précautions particulières relatives à l'installation et l'usage).

#### Partie 2 : Les compartiments à flux ascendants (Tronçon B, Figure 4)

Il s'agit d'unités autonomes de petite taille possédant un compartiment de décantation. Dans cette série de compartiment suivis de chicane, l'écoulement est à flux ascendant dans lesquels les eaux usées sont contraintes de s'écouler à travers la biomasse active (boues). Ce fonctionnement peut être ainsi assimilé à un digesteur anaérobie à flux ascendant, Pour plus de détails sur ce digesteur, voir annexe 1, Rappel sur le digesteur anaérobie à flux ascendant (UASB).

- Cette disposition, permet de diminuer le lessivage des bactéries présente dans les boues et de ce fait de conserver une masse biologique active sans utiliser de support fixe. Ces bactéries prolifèrent et produisent du biogaz dans chaque compartiment.
- Les conceptions sans compartiment de décantation présentent un intérêt particulier pour des stations de traitement (semi-) centralisées qui combinent le réacteur anaérobie compartimenté à une autre technologie pour la décantation principale, ou dans le cas où l'on utiliserait des unités modulaires préfabriquées.
- Le raccordement entre les compartiments peut être réalisé par des conduites verticales ou des chicanes (voiles) en béton, en briques ou plastiques. L'accessibilité à tous les compartiments (par des regards de visite) est nécessaire pour l'entretien.

Dans la partie inférieure de chaque compartiment du RAC se trouve un lit de boues composé de microorganismes anaérobies traversé de bas en haut par le flux d'eaux usées. Ce mouvement permet aux eaux usées d'entrer en contact intime avec la biomasse active et d'accélérer la dégradation anaérobie.



### Partie 3 : Traitement tertiaire (Tronçon 3, Figure 4)

Ce guide proposera le filtre planté comme traitement tertiaire standard (figure 7, 8) et envisagera d'autres possibilités dans la section (2.2. Autres modèles et alternatives de conception / construction). La plantation de biomasse est aussi une alternative lorsque la quantité d'eau est insuffisante pour être réutilisée.

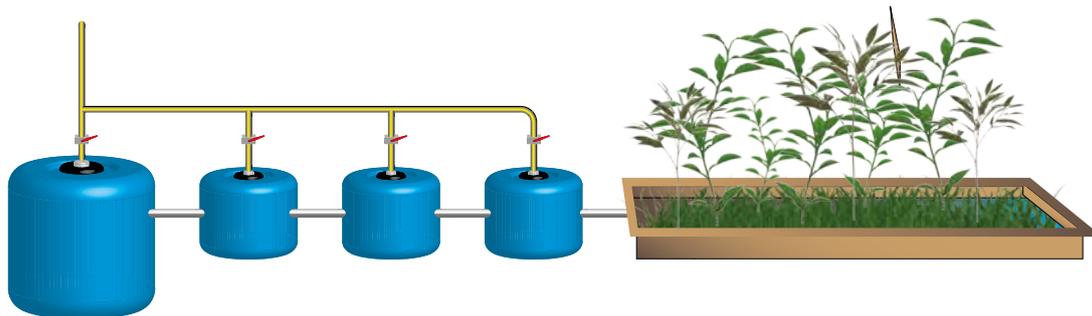


Figure 5 : Unité de traitement décentralisée avec traitement secondaire (filtre planté)



Figure 6: Unité de traitement centralisée avec production de Biogaz

### 3. Avantages et limites :

#### a. Avantages du RAC par rapport aux fosses septiques et aux digesteurs classiques :

Le design particulier du RAC apporte de nombreux avantages par rapport aux fosses septiques et aux digesteurs classiques :

- La conception des RAC permet une mobilisation des boues. Les différents composants des boues dispersées s'assemblent et forment des granulates denses permettant une rétention efficace des solides et le développement d'une couverture de boue épaisse au fond de chaque compartiment ;
- De plus, le passage du flux d'eaux usées à traiter et les micro-organismes qui assurent le traitement. Cette configuration, permet d'assurer un taux de traitement élevé ;
- Résiste aux surcharges de matières organiques et hydrauliques ;
- Robustesse ;
- Résistance élevée aux chocs et à la modification de la température, du pH ou du produit chimique
- construit à partir de matériel local;
- Economie d'espace (système enterré) ;



- Haute performance de traitement pour un temps de séjour court ;
- Le RAC est adapté à l'utilisation de système d'égout simplifié ;
- Le biogaz peut être récupéré ;
- Production lente de boues ;
- Stabilisation des boues.

Une configuration en plusieurs compartiments provoque le développement préférentiel spontané des populations bactériennes les mieux adaptées à dégrader le substrat contenu dans le compartiment concerné. Cette auto-sélection passive fait qu'à chaque type d'eaux usées entrant dans un compartiment il correspondra une biomasse (boue) particulière plus efficace que si cette biomasse était un mélange bactérien « généraliste » (Plumb & al 2001 ; Langenhoff et al, 2000).

Les principaux avantages d'un RAC en comparaison avec les fosses septiques ou les digesteurs anaérobies classiques sont donc :

- Taux de traitement anaérobie optimisé
- Un volume de traitement plus petit
- Une meilleure résistance aux changements de paramètres et aux composés toxiques

#### b. Limitations du RAC :

Il existe cependant des limites à l'application d'un RAC pour l'assainissement.

- Le traitement anaérobie seul ne permet pas d'éliminer tous les nutriments tels que l'azote et le phosphore des eaux usées. Il est donc nécessaire d'y ajouter un traitement tertiaire avant évacuation finale, ou (de préférence) d'utiliser ces eaux à capacité fertilisante (N & P) afin d'irriguer des cultures ;
- En outre, bien que le traitement par RAC permette une élimination significative d'agents pathogènes comme *Escherichia coli* (*E. coli*), les coliformes totaux (*T. coli*) et *Ascaris sp*, les effluents ne sont pas suffisamment sains pour ne présenter aucun risque sanitaire. La charge de *E. coli* peut ainsi être supérieure à  $1 \times 10^6$  cfu/100 ml après traitement ; ce qui limite le potentiel de réutilisation des eaux usées (Nasr & al ; 2009). Néanmoins, dans un contexte de pénurie d'eau, il est possible de solutionner cette limitation par l'ajout d'un traitement tertiaire.

L'irrigation avec ces eaux usées à concentration élevée en nutriments, dont l'azote et le phosphore, permet de réduire le besoin des cultures en engrais coûteux et en énergie pour traiter les eaux usées. Les eaux usées après traitement sont dès lors considérées comme une ressource plutôt qu'une contrainte. Cette valorisation des eaux usées pour l'irrigation doit cependant être réalisée dans le respect des normes de santé publique ;

- Longue phase de démarrage.

#### 4. Aspects sanitaires :

Dans des conditions de fonctionnement normales :

- Les utilisateurs doivent éviter tout contact avec les effluents entrants et sortants.
- Les effluents, l'écume (flottants) et les boues doivent être manipulés prudemment, car ils contiennent des niveaux élevés d'organismes pathogènes.

Etant donné que les effluents contiennent des composés odorants :

- Il faut veiller à concevoir et à positionner l'installation de sorte que les odeurs ne dérangent pas les membres de la communauté et éventuellement les éliminer lors d'une étape de traitement supplémentaire.

#### 5. Mode de gestion :

- Un réacteur anaérobie compartimenté nécessite une période de démarrage de plusieurs mois pour atteindre sa pleine performance de traitement, car le développement lent de la biomasse anaérobie doit d'abord être établi dans le réacteur (Bassuney D.M. & al; 2013).
- Afin de réduire le délai de démarrage, on peut inoculer le réacteur anaérobie compartimenté avec des bactéries anaérobies, par exemple en ajoutant de la bouse de vache fraîche, des boues de fosse septique ou des boues d'un autre RAC ou d'un digesteur.
- Le stock de bactéries actives qui est ajouté peut alors se développer et s'adapter aux eaux usées entrantes.
- Du fait de la présence d'agents biologiques sensibles, il faut veiller à ne pas déverser des substances chimiques puissantes dans le réacteur anaérobie compartimenté.
- Les niveaux d'écume et de boues doivent être surveillés pour assurer un fonctionnement adéquat.



- En général, l'ajustement du processus n'est pas nécessaire, et l'entretien se limite au retrait des boues et de l'écume accumulée, tous les 1 à 4 ans. Cette procédure est plus efficace à l'aide de technologies de vidange et de transport motorisées.
- La fréquence de soutirage des boues dépend des étapes de prétraitement choisies, ainsi que de la conception du réacteur anaérobie compartimenté. Les fosses de réacteur anaérobie compartimenté doivent être contrôlées de temps à autre pour en vérifier l'étanchéité.

#### 6. Coût :

Les technologies de ce type sont généralement peu coûteuses. Toutefois, les coûts varient en fonction de la disponibilité des matériaux et des économies d'échelle. Dans tous les cas, les RAC ont un potentiel élevé de rentabilité. Comme ils n'ont pas besoin d'électricité et sont simples à construire et à utiliser, ils sont généralement moins chers que des options technologiques plus mécanisée ou plus extensives. De plus, les RAC peuvent être construits avec de la main d'œuvre et du matériel local à condition que les modalités de conception de construction soient pleinement maîtrisées. Le coût de construction et d'entretien sont généralement faibles selon les qualifications de la main d'œuvre locale et de la disponibilité des matériaux. Dans ce contexte, il est important de faire appel à un bureau d'étude compétent dans le domaine.



## Chapitre 3 : Méthodologie de dimensionnement du RAC

### 1. Historique et étapes de l'évolution du RAC :

L'objectif de cette section, est de passer en revue les étapes qui ont permis d'aboutir aux modèles de RAC les plus fréquemment utilisés, en mettant l'accent sur les paramètres de dimensionnement et de construction tels que: l'hydrodynamique, les performances de traitements, les caractéristiques de la biomasse, le temps de séjour hydraulique (TRH) et le temps de rétention des matières solides (SRT) ceci permet une bonne compréhension des modes de conception alternatifs (Barber & al 1999).

Le concept général du RAC, est de forcer les eaux usées à circuler à travers les boues mises en suspension à l'aide d'une série de chicanes. Le but étant de maximiser la surface et le temps de contact entre les bactéries présentes dans les boues et les polluants organiques des eaux usées. A partir de ce principe, de nombreux modèles de RAC ont été mis au point afin de maximiser le rendement et de diminuer les coûts de fabrication. Un résumé des principales modifications est présenté sur la figure 7 et au tableau 2.

Le premier RAC représenté à la figure 7 A, est un réacteur à écoulement piston traitant les eaux usées à haute teneur en MES auquel a été ajouté des chicanes verticales afin de maintenir des populations élevées de méthanogènes à croissance lente. Cette modification a eu pour résultat d'améliorer la production de biogaz.

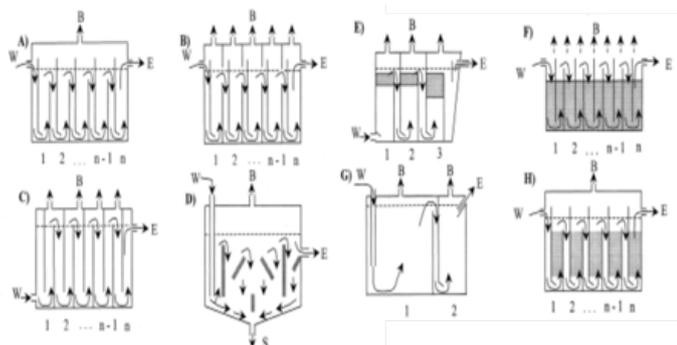


Figure 7: Différentes variations du RAC (Barber & al. 1999)

(A) Espace libre unique pour la circulation des gaz, (B) espace compartimenté pour les gaz, (C) système vertical, (D) système horizontal, (E) système hybride avec zone de décantation, (F) système à toit ouvert, (G) système élargi, (H) système classique.

Légende: W = Eaux usées, B = Biogaz, E = Effluent, S = Solides.

D'autres modifications ont consisté à compartimenter d'avantage les RAC pour isoler la production en gaz de compositions différentes et de retenir davantage les flottants.

D'autres expérimentations, ont permis de déterminer que l'ajout de compartiments supplémentaires et surtout l'ajout en amont d'un compartiment de dimension supérieure allonge le temps de rétention des solides, augmente le taux de rétention des petites particules et MES et fournit une performance de traitement globale supérieure.

Fig	Modification	Purpose	Fef.
I(C)	addition to vertical baffles to a plug-flow reactor	enhances solids retention to allow better substrate accessibility to methanogens	Fannimm et al., 1981
I(A)	(i) downflow chambers narrowed (ii) stanted edges on baffles (40-45°)	(i) encourages cell retention in upflow chambers (ii) routes flow towards center of compartment encouraging mixing	Bachmann et al., 1983
I(E)	(i) settling chamber (ii) packing positioned at top of each chamber (iii) separated gas chambers	(i) enhances solids retention (ii) prevents washout of solids (iii) ease and control of gas measurement, provides enhanced reactor stability	Tilche and Yang, 2987
I(G)	znlargement of first chgamber	better treatability of high solids wastewater	Boopathy and sievers, 1991

Tableau 2: Historique des étapes de développement du RAC (Barber & al. 1999)

De ces modèles, ont émergé des modifications plus modernes et des designs plus performants qui seront détaillés au chapitre 4. De manière synthétique, ces variantes permettent :

- Une meilleure élimination de la DCO et la production de biogaz grâce à l'augmentation du nombre de compartiments par la diminution du volume de chaque compartiment.
- Une meilleure élimination des MES en assurant une plus grande rétention des matières solides par l'augmentation du volume d'au moins 1 compartiment.

L'un des objectifs lors du dimensionnement et de la conception du RAC, sera de trouver l'équilibre entre la performance de traitement et les limites du projet (moyens techniques et



financiers). C'est pourquoi, beaucoup de modèles récents intègrent un grand réservoir en amont suivi d'une série de compartiments (de 3 à 6) plus petits qui jouent le rôle de chicanes.



## 2. Concepts généraux du dimensionnement :

- Les RAC sont une combinaison des principes des fosses septiques et des réacteurs anaérobies à flux ascendant. Contrairement à l'UASB, le RAC ne possède pas de cloches ou de déflecteurs pour rabattre les solides en suspension. Dans le cas des RAC, une partie des boues actives lessivées par le flux d'eaux usées est piégée dans les chambres successives. Le réacteur commence toujours par une chambre de décantation pour des solides et les flottants, suivi d'une série de chambres à flux ascendant. Les eaux usées pénètrent dans les chambres par le bas et doivent traverser les boues pour se déplacer vers le haut avant de pénétrer dans le compartiment suivant.
- À mesure que les eaux usées passent à travers les boues, les eaux usées entrent en contact intensif avec la biomasse active présente dans les boues. Pour distribuer le liquide entrant dans les chambres de manière uniforme les compartiments doivent être relativement courts, d'une longueur  $< 75$  cm de longueur et ne dépassant pas 50% de la hauteur utile de la cuve.
- Pour conserver les flottants formés dans les chambres, les sorties de chaque cuve ainsi que la sortie finale doivent être placées légèrement en dessous de la surface des eaux traitées.



- Les performances de traitement des RAC sont supérieures à celles d'une fosse septique conventionnelle et se situent entre 65% et 90% d'élimination de la DCO soit environ 70% à 95% de la DBO5.
- La majorité des solides sont retenus et potentiellement digérés dans la chambre de sédimentation au début du RAC, ce qui peut représenter 50% du volume total.
- La mise en série de réservoirs et l'auto sélection de biomasses bactériennes spécifiques dans chaque réservoir crée un gradient de digestion dans le RAC. C'est donc un système dans lequel la digestion des substances des eaux usées est progressive et spécialisée depuis les plus facilement dégradables dans l'unité amont jusqu'aux plus difficiles à dégrader dans l'unité aval.
- Les RAC peuvent être conçus pour un afflux quotidien allant de quelques m<sup>3</sup>/jour jusqu'à plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/jour avec un temps de rétention hydraulique (TRH) allant de deux ou quatre jours.
- La vitesse d'écoulement ascendant est le paramètre le plus important pour le dimensionnement, en particulier avec une charge hydraulique élevée. Celle-ci doit être comprise entre 0,3 m/h et 1 m/h. Sur la base d'un TRH donné, la vitesse d'écoulement ascendant augmente en relation directe avec la hauteur du réacteur.
- Par conséquent, la hauteur du réacteur ne peut pas servir de variable pour concevoir le réacteur pour un TRH requis. La vitesse d'alimentation limitée résulte d'un premier réservoir large mais peu profond. C'est pour cette raison que le RAC n'est pas économique pour les grandes installations.
- La charge organique doit être inférieure à 3 kg DCO/m<sup>3</sup>/jour. Il est néanmoins possible d'augmenter la charge organique si la température est plus élevée.

### 3. Méthode de dimensionnement :

#### 3.1. Paramètres critiques de fonctionnement et de dimensionnement :

L'efficacité du traitement au sein du RAC est influencée par quelques paramètres qui peuvent perturber le bon fonctionnement de la digestion anaérobie. Les paramètres les plus importants à prendre en compte sont la température, la composition des eaux usées, le pH, la présence de substances toxiques et le temps de rétention.

##### 3.1.1. Température :

La température dans le RAC est un facteur important contrôlant la vitesse de production de biogaz. La digestion anaérobie peut avoir lieu dans trois gammes de températures différentes, appelées respectivement :

- psychrophile : moins de 20°C,
- mésophile : 20 à 45°C,
- thermophile : plus de 45°C.

Plus la température au sein du digesteur est élevée, plus la digestion anaérobie est rapide. En dessous de 10°C, les bactéries deviennent moins actives et la production de biogaz est presque nulle. Par ailleurs, il est primordial de maintenir une température stable. En effet, les variations brusques de températures inhibent la prolifération des microorganismes méthanogènes et causent des défaillances du système. Néanmoins, des recherches sur le RAC ont prouvé qu'une diminution de la température de 35°C à 25°C avait peu d'effet sur la production de méthane et la qualité de traitement. Ceci ajoute de la stabilité au système car il permet des fluctuations de températures sans affecter négativement les performances du réacteur tant que les températures moyennes restent supérieures à 25°C.

##### 3.1.2. Compositions des eaux usées :

- Charge polluante :

De même que la température, la charge polluante joue un rôle critique dans le processus de digestion anaérobie. En effet, si la concentration d'influent est faible, la production de méthane ne sera pas énergétiquement favorable. Les eaux usées entrantes doivent présenter une teneur organique relativement élevée afin d'envisager l'utilisation d'un traitement anaérobie pour une production rentable de biogaz. Il est ainsi possible de traiter des eaux usées issues de l'industrie agroalimentaire (Ferraz & al ; 2009).

Bien que les systèmes anaérobies requièrent une teneur élevée en matières organiques pour produire des quantités valorisables énergétiquement de méthane, les taux de charge organique plus faibles offrent une meilleure efficacité d'élimination de la DCO.

- pH :

Idéalement, les substrats à digérer ne doivent être ni trop acides, ni trop basiques. En effet, au niveau de l'acidité, pour qu'il y ait formation de méthane, le pH doit être compris entre 6,5 et 7,5 avec un optimum aux alentours de 7. Dans cette optique, l'alimentation est très importante. Le bon fonctionnement de



la digestion anaérobie est régi par un équilibre entre les différents groupes de microorganismes impliqués. Or, cet équilibre est très sensible. Afin de stabiliser ce dernier, le RAC ne doit pas être soumis à de brusques changements des conditions opératoires. Lors d'un déséquilibre au sein du réacteur, il y a une accumulation des intermédiaires réactionnels que sont l'hydrogène et les acides gras volatils (AGV). L'accumulation des AGV fait chuter le pH et plonge le réacteur en « acidose ». Cela se traduit par une baisse ou un arrêt de la production de biogaz.

Cependant, le RAC peut être très résistant à des substrats acides, tant que l'alimentation est régulière et que le temps de séjour est suffisant (> 2 jours).

- Composés toxiques :

Enfin, les composés toxiques peuvent interférer avec le processus de méthanisation et altérer la qualité de traitement des eaux usées. Parmi ces composés, on distingue généralement les interférents et les polluants. Les interférents incluent le sable, le verre, les morceaux de métaux, les plastiques, le cuir, etc ; tandis que les polluants comprennent plutôt les désinfectants (javel), les métaux lourds, les antibiotiques, etc.

- Temps de séjour hydraulique et le temps de rétention :

Le temps de rétention est le temps de séjour des déchets solides tandis que le temps de séjour hydraulique (TRH) est le temps que passe en moyenne les eaux usées dans l'unité de traitement. Il est fonction de la température et du type d'eau usée et du taux de traitement attendu. Pour plus de détail voir la partie Temps de Rétention Hydraulique TRH, section 3.2.1.





### 3.2. Principe de conception :

Le concept principal d'un RAC, est de maximiser la durée de contact entre les contaminants en suspension ou dissous et la biomasse. Ceci est réalisé à la fois en maximisant le temps de rétention hydraulique (le temps de traitement) et la charge de biomasse, déterminée par la rétention des solides. Ceci en prenant en compte les contraintes d'espace et de coût. La rétention des solides est obtenue en minimisant la vitesse du liquide en amont de chaque compartiment pour éviter un lessivage de la cuve. En effet, lorsque la vitesse ascendante dépasse la vitesse de sédimentation des particules les particules solides à sédimentation lente sont entraînées de compartiment en compartiment vers la sortie.

Une faible vitesse d'écoulement ascendant peut être obtenue en sélectionnant une géométrie de réacteur adéquate. Par exemple, pour permettre un trajet d'écoulement court pour un temps de rétention hydraulique spécifié, il est nécessaire de tendre vers un réacteur large et bas. Il est également possible d'obtenir un résultat comparable en réduisant le débit par la mise en parallèle de plusieurs unités.

De ce point de vue, un réacteur à grande surface, de hauteur faible et possédant peu de compartiments, devrait fournir la meilleure rétention de solides pour un temps de rétention hydraulique spécifique. Cependant, d'un point de vue biologique, il a été démontré que (Barber et Stuckey, 1999) plus le nombre de compartiments est élevé, plus le contact entre les contaminants et la biomasse est grand, car le flux de liquide doit passer à plusieurs reprises à travers les lits de biomasse. Néanmoins, pour un temps de séjour fixe, plus on ajoute de compartiments, plus la vitesse d'écoulement augmente.

Par conséquent, parmi tous les paramètres on gardera la vitesse du flux ascendant comprise entre 0,3 m/s et 1 m/s comme paramètre à ne pas dépasser.

#### 3.2.1. Nomenclature et paramètres de dimensionnement des RAC :

L'utilisation de tous ces facteurs, lors de la conception d'une installation de traitement utilisant un RAC, peut paraître rébarbative et rendre le processus de conception difficile. Par conséquent, il est possible d'isoler quelques paramètres qui doivent être pris en compte.

La conception du RAC doit prendre en compte les paramètres de conception clés suivants:

Débit d'alimentation  
Temps de rétention hydraulique moyen  
Temps de rétention du solide (STR)  
Vitesse d'écoulement ascendant  
Nombre de compartiments  
Rapport longueur / largeur du compartiment  
Capacité de réserve

Les sous-sections suivantes développent l'effet de chacun de ces paramètres et propose des valeurs repères basés sur la littérature. Il existe d'autres paramètres tels que le ratio de surface ascendante-descendante concernant le RAC classique qui ne sera pas abordé dans ce guide.

- Débit d'alimentation ( $Q$ ) :

Le débit des stations d'épuration est basé sur le nombre d'habitants et le type d'activité (résidence, commerce et industrie) qui l'approvisionnent en eaux usées. Outre la situation existante, il est important de prendre en compte le taux de croissance de la population et des changements éventuels d'activité économique. En effet, Un facteur de sécurité devrait être appliqué lors de la conception d'une station d'épuration des eaux usées afin d'éviter l'inondation du système.

Ce facteur de sécurité tiendra compte de la croissance de la population et de toute utilisation accrue des ressources en eau.

Habituellement, il faut estimer le nombre de personnes et le traduire en nombre d'équivalents habitants (EH) en fonction des habitudes de consommations ou en fonction de la législation pour déterminer le débit journalier. Il faut également dans cette estimation prendre en compte les débits de pointe.

- Temps de rétention hydraulique (TRH) :

Comme décrit dans la section 3.1 (Les paramètres critiques de fonctionnement et dimensionnement du RAC), le temps de rétention hydraulique moyen affecte le temps de contact dans lequel le traitement des eaux usées peut se produire, et indirectement, la vitesse ascensionnelle qui contrôle la rétention des solides / boues. C'est aussi le paramètre qui dicte la taille du réacteur et qui a donc un effet significatif sur le coût en capital du système.



De nombreux auteurs indiquent qu'une bonne élimination de la DCO et une élimination substantielle des agents pathogènes peuvent être obtenues à tous les temps de rétention allant de deux à quatre jours. Des études microbiologiques ont montré que des temps de séjours plus longs permettent l'établissement d'une biomasse active plus riche, ce qui indique que les conditions microbiologiques sont fondamentalement meilleures. Les micro-organismes méthanogènes à croissance lente ont en effet besoin d'un temps de rétention long pour se multiplier et s'organiser en granulats.

Grace au débit journalier, il est possible d'estimer le volume de la future installation en fixant le temps de séjour hydraulique TRH. Celui-ci correspond au temps que les eaux usées passeront dans l'installation. Il varie en fonction du type d'eaux usées à traiter et de la température. Une valeur TRH pour un RAC varie de quelques heures à 4 jours. Pour des eaux usées provenant de ménages du milieu rural marocain, le temps de séjour sera compris entre 48h et 96h. Ensuite, il suffit de multiplier le temps de séjour exprimé en jours par le débit journalier pour obtenir le volume de l'installation qui prendra en charge la phase liquide. TRH peut être calculé comme indiqué ci-dessous.







$$TRH=V/Q$$

Avec :

Q : Débit volumétrique journalier (m<sup>3</sup>/jour)  
V : Volume du réacteur (m<sup>3</sup>)  
TRH : Temps de séjour hydraulique (jour)

- Volume hydraulique du réacteur (V) :

Le volume du réacteur peut être déterminé sur la base du débit et un TRH défini. Inversement, le TRH peut être déterminé sur la base d'un volume de réacteur défini, en fonction de l'application. Ce calcul de volume décrit le volume minimum nécessaire pour que le réservoir puisse gérer le flux entrant d'eaux usées. Le Volume de rétention hydraulique (Vh) du réacteur peut être calculé comme indiqué ci-dessous.

$$Vh=Q \times TRH$$

Avec :

Vh : Volume de rétention hydraulique (m<sup>3</sup>)  
Q : Débit volumétrique journalier (m<sup>3</sup>/jour)  
TRH : Temps de séjour hydraulique (jour)

- Volume nécessaire à l'accumulation des boues et de l'écume :

Temps de rétention du solide (SRT):

Dans les réacteurs infiniment mélangés, sans recyclage des matières solide en suspension (MES), le TRS et le TRH se confondent. En effet, le temps de séjour des eaux usées et des MES est équivalent. Un avantage majeur d'un RAC est que les bactéries poussent sur des surfaces fixes à l'intérieur du réacteur. La phase solide reste donc plus longtemps dans le réacteur que la phase liquide, ce qui permet des SRT très élevés. Cela permet donc de séparer le TRH et le SRT et de réduire significativement le volume du réacteur. Le temps de rétention des matières solides peut être déterminé en divisant la masse de boue dans le réacteur par le taux d'élimination de la boue du réacteur. Le TRS peut être calculé comme indiqué ci-dessous.

$$SRT=(V \times Xv)/(Qw \times Xw)$$

Où

Qw : Débit volumétrique des déchets solides du système (m<sup>3</sup>/jour)  
Xw : Concentration de MES dans Qw (kg/m<sup>3</sup>)  
V : Volume du réacteur (m<sup>3</sup>)  
Xv : Concentration moyenne de solide en suspension volatile (VSS) dans le réacteur (kg/m<sup>3</sup>)

Par approximation, le premier compartiment sera considéré comme fosse principale de stockage du solide. Avec un volume minimum de 200 litres par habitant.

- Vitesse ascensionnelle :

Lors de la conception du RAC, il est important de prendre en considération la vitesse ascensionnelle. Celle-ci correspond à la vitesse à laquelle les eaux usées mobilisent les boues de chaque compartiment. Sur la base d'un temps de rétention hydraulique donné, la vitesse du flux ascendant augmente de manière proportionnelle à la hauteur du réacteur. La hauteur du réacteur, par conséquent, ne peut pas être utilisée comme paramètre variable pour atteindre le TRH requis. Un débit élevé, se traduit par de grands réservoirs peu profonds.

La vitesse ascensionnelle affecte les caractéristiques de rétention des boues car plus la vitesse ascensionnelle est faible, plus la quantité de boue retenue dans chaque compartiment sera importante. Inversement, plus la vitesse ascensionnelle est élevée, plus le lessivage des boues sont important. Il est recommandé d'utiliser une vitesse ascensionnelle comprise entre 0,3 m/h et 0,6 m/h pour permettre la croissance de la biomasse active.

Pour un volume de compartiment fixe, la vitesse d'écoulement ascendante peut être modifiée en variant le rapport hauteur / volume d'écoulement du compartiment. Un compartiment bas et large aura une vitesse d'écoulement plus faible qu'un compartiment étroit et haut ayant le même volume. Il est aussi possible de prendre la surface des compartiments comme variable d'ajustement en utilisant la formule suivante :

$$S_{comp} = Q_{max} / V_{asc}$$

Où :

Q<sub>max</sub> : Débit maximum (m<sup>3</sup>/jour)  
V<sub>asc</sub> : Vitesse ascensionnelle choisie (avec 0.5m/h comme valeur recommandée)  
S<sub>comp</sub> : Surface de chaque compartiment en dehors du premier (m<sup>2</sup>)

- Choix du temps de séjour hydraulique et performance de traitement :

Aucune technique d'assainissement ne permet d'atteindre un traitement à 100% avec une élimination complète de toute

trace de polluants. Il est toutefois possible de s'en approcher en tenant compte des réalités du terrain et des moyens disponibles et des valeurs limites de rejet. Malgré tout, il est impossible d'éliminer la DCO non dégradables avec un traitement biologique. La performance du traitement sera donc définie comme le rapport entre l'élimination de la DCO obtenue et l'élimination maximale possible. En réalité, la digestion anaérobie seule ne permettra jamais d'éliminer la DCO en théorie, car la performance de traitement diminue à mesure que la concentration de substrat diminue selon la cinétique de Monod. De plus, un temps de séjour raisonnable ne permettra pas la dégradation de la DCO peu biodégradable. En effet rappelons ici que le volume de l'installation et donc son coût financier est proportionnel au temps de séjour hydraulique (Foxon & al. 2006).

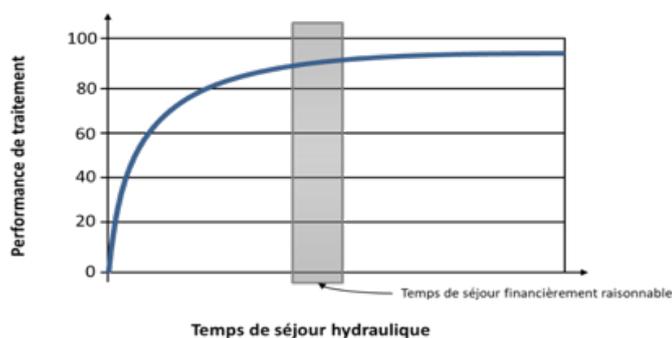


Figure 8 : Choix du temps de séjour en fonction des normes de rejet et des moyens disponibles. (Modifié d'après Foxon & al. 2006)

Compte tenu du lien entre assainissement et santé publique, il faut toujours garder à l'esprit l'élimination des organismes pathogènes comme indicateurs privilégiés. Dans ce contexte, comme la réduction de la DCO, l'élimination complète de tous les agents pathogènes n'est pas complète. Il faudra donc prendre en compte l'utilisation des effluents traités en fonction des normes correspondantes.

Enfin, La digestion anaérobie ne permet pas la réduction des nutriments tels que l'azote et le phosphore. Il sera donc nécessaire d'avoir recours à un traitement tertiaire si la réutilisation de l'effluent traité n'est pas possible.

Dans ce cas, il conviendra de prendre en compte lors du dimensionnement du RAC des caractéristiques du processus de traitement secondaire.

- Nombre de compartiments :

Le nombre de compartiments affecte la vitesse interne du liquide dans le réacteur, et ainsi la capacité de rétention des solides de chaque compartiment. Un grand nombre de compartiments

se traduit par le développement de populations microbiennes hautement efficaces qui sont acclimatées de manière optimale aux conditions du compartiment. Des auteurs (Grobicki & al. 1992) ont montré que ces populations séparées résistent aux chocs toxiques comme l'utilisation de désinfectant. Mais la réduction de la surface par compartiment augmente la vitesse ascensionnelle et rend la biomasse plus sensible aux chocs des charges hydrauliques. A contrario, moins de compartiments pour le même volume de réacteur entraînera moins de spécialisation de la biomasse et moins de contacts entre les lits de boues et les eaux usées, mais de meilleures caractéristiques de rétention des boues.

Au-delà des performances, il faut signaler que le nombre de compartiments affectera également le coût financier du réacteur.

- Rôles et dimensions des différents compartiments :

Le premier compartiment sert de réservoir tampon et permet une accumulation importante de solides organiques. Ceux-ci peuvent aussi s'accumuler dans le deuxième compartiment. Cette accumulation dans le deuxième compartiment sera d'autant plus importante que le premier compartiment est sous dimensionné. Ainsi, le premier compartiment peut être surdimensionné pour prendre en compte l'accumulation de solides inertes. Les 2 premiers compartiments retiennent donc les solides et permettent une hydrolyse grâce au maintien de grandes populations bactériennes hydrolysantes.

Dans ce contexte, le premier compartiment occupera environ un tiers du volume total. Il pourra aussi être remplacé par une fosse septique, notamment si l'habitation en est déjà équipé.

Les compartiments suivants, possèdent de la biomasse active granulaire et jouent le rôle de petites unités UASB. Ces compartiments effectuent une digestion anaérobie des composants solubles et en suspension. Au-delà de quatre compartiments, la quantité de biomasse active a tendance à diminuer de l'entrée à la sortie du réacteur. Les compartiments ultérieurs ne semblent pas présenter de spécialisation particulière en termes de composition microbienne.

Les auteurs recommandent par conséquent la conception de RAC à 5 compartiments.

- Dimension des compartiments :

Comme signalé plus haut, les dimensions des compartiments du réacteur auront un effet sur la vitesse ascendante. De plus, des zones mortes et des chemins préférentiels apparaîtront si les



compartiments sont trop larges ou trop longs.

Afin d'éviter l'apparition de ces défauts, Il est recommandé d'utiliser des rapports longueur / largeur compris entre 1: 3 et 1: 4, en fonction de l'espace disponible sur le site d'installation.

Le tableau ci-joint regroupe les paramètres de conception critique du RAC.

Débit Typique	Paramètres de conception critiques		
Batch (alimentation discontinue) Réacteurs « infiniment mélangés »	Temps de Rétenion	Vitesse Ascensionnelle	Nombre de Compartiment
	de 48 à 72 heures	inférieure à 0,6 m/h	de 3 à 6

Tableau 3 : Paramètres de conception critiques

### 3.2.2. Collecte et utilisation du biogaz :

Étant donné que le biogaz constitue un danger potentiellement explosif et une nuisance environnementale, tout en étant une source d'énergie facilement exploitable, un système de biogaz devrait être inclus dans la conception du RAC et devrait être conçu selon des normes de conception appropriées.

Afin de qualifier l'efficacité de la digestion anaérobie d'un déchet et la production en méthane qui en découle, il faut se référer au rendement en biogaz. Dans le cas du RAC, la production de méthane dépend essentiellement de l'élimination de la DCO et du temps de séjour.

Le méthane produit dans un processus anaérobie est proportionnel à la quantité de substrat enlevé et au potentiel méthanogène du substrat. Le taux de production de méthane est donné par l'équation suivante. La production de méthane peut être calculée comme indiqué ci-dessous (Sasse, 2009) :

$$Q_m = 0,7 \times Q \times M \times (DCO_0 - DCO_e) \times E$$

$Q_m$  : Débit volumétrique de CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup>/jour)  
 $DCO_0$  : DCO totale à l'entrée du RAC (kg/m<sup>3</sup>)  
 $DCO_e$  : DCO totale à la sortie du RAC (kg/m<sup>3</sup>)  
 $M$  : Volume de CH<sub>4</sub> produit par unité de DCO enlevé = 0,35 m<sup>3</sup>/kg  
 $Q$  : Débit volumétrique journalier d'eaux usées (m<sup>3</sup>/jour)  
 $E$  : Facteur d'efficacité = 0,5

Par la suite, le système de collecte et d'utilisation du biogaz ne sera pas inclus dans les directives de conception, bien que le potentiel de production d'énergie du biogaz ait été démontré.

### 3.2.3. Calcul des consommations de biogaz :

Il faut prévoir les consommations en gaz susceptibles d'être comblées par les productions en biogaz du RAC. Il faut donc calculer le nombre d'appareils à biogaz, leur consommation spécifique et leur utilisation journalière. En effet, si la production de biogaz dépasse les besoins du ménage, il risque de s'échapper dans l'atmosphère et de contribuer au réchauffement climatique. Il faut aussi que les utilisateurs soient conscients du potentiel énergétique de leur installation.

Les consommations spécifiques des appareils adaptés au biogaz augmentent avec la pression du biogaz, le diamètre du gicleur et l'ouverture des vannes de réglage.

Une production de 3,4 m<sup>3</sup> de biogaz par jour peut alimenter par exemple chaque jour :

- Un réfrigérateur durant 24 h par jour
- Un four à pain de 200 l, durant 2 heures
- Un petit bec de cuisinière durant 5 heures
- Un grand bec durant un peu plus de 1 heure

Les consommations moyennes sont indiquées dans le tableau suivant :

TYPE D'APPAREIL	CONSOMMATION (litres biogaz par heure)
réfrigérateur 180 litres	50 l/h
lampes	100 l/h
cuisinière à 3 becs petit bec	120 l/h
moyen bec	200 l/h
grand bec	300 l/h
gros Brûleur (25 cm)	500 l/h
four (200 l) partie Grill	600 l/h
partie Four	600 l/h
partie Four	1200 l/h
four à pain (540 l) partie Grill	1300
Moteur diesel de 10 CV	1500l/h

Tableau 4 : Consommations moyennes de biogaz de différent appareil

### 3.2.4. Calcul des tuyauteries de biogaz :

Selon le terrain et le nombre d'appareils à biogaz, il faut calculer le nombre de tubes galvanisés, tés, manchons, vannes, coudes, raccords-unions, bouchons, et colliers Atlas pour couvrir la distance du RAC aux appareils à biogaz et placer les pièges à eau, le compteur et le manomètre. L'étanchéité de la tuyauterie doit être parfaite et tous les raccords doivent être

munis de téflon.

- Le manomètre est placé à l'intérieur et à vue. Il est fabriqué à l'aide d'une planche de 0,2 m x 1 m
- (Peinte et graduée), d'attache-fils et d'un tuyau transparent de 8 -12 mm (diamètres intérieur et extérieur) rempli d'eau (colorée par de l'encre ou un colorant).
- Pour raccorder les appareils à biogaz (et le manomètre) à la tuyauterie galvanisée, il faut placer des raccords mixtes et des têtes de 8 mm pour y fixer des tuyaux transparents de 8 mm à l'aide de colliers de serrage.
- Le diamètre de la tuyauterie dépend des distances et du débit en biogaz nécessaires à l'alimentation des Appareils :
- Jusqu'à une distance de 40 mètres et pour l'alimentation d'une cuisinière, d'un réfrigérateur et d'un four à pain, un tuyau de 1/2» est suffisant.
- Au-delà, il faut utiliser des diamètres de 3/4» à 1» (alimentation de moteurs ou grandes distances). Ceci afin d'éviter des pertes de charge (diminution de la pression) trop importantes.

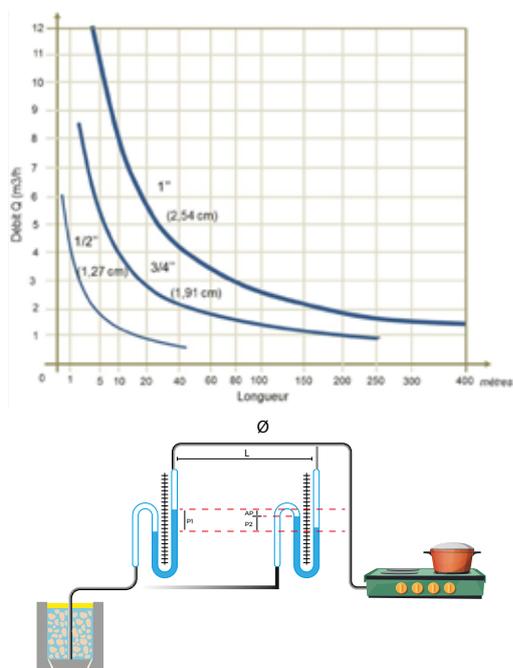


Figure 9 a : Pertes de charge dans les conduites de biogaz.

Le débit disponible diminue avec la longueur du tuyau. La pression est plus faible à la cuisine qu'à la sortie du digesteur

### 3.3. Dimensionnement pour adaptation / valorisation du biogaz :

#### 3.3.1. Stockage et pression du biogaz :

Au cours de la digestion anaérobie, du biogaz est produit et peut être récupéré et valorisé pour la cuisson des aliments ou, plus généralement, comme alternative à l'utilisation d'énergies fossiles pour la production d'électricité, d'énergie mécanique ; pour le chauffage de l'air ou de l'eau ; pour le séchage de produits ...

Par ailleurs, l'étape du processus de biométhanisation qui se déroule dans chaque compartiment dépend du substrat qu'il reçoit. En effet, les différentes étapes de la biométhanisation sont réparties de manière hétérogène d'amont en aval. De ce fait, les microorganismes responsables de chaque étape de la biométhanisation sont séparés et résident dans le compartiment qui rassemble les conditions optimales à leur développement. Dans les faits, chaque compartiment n'abrite pas une seule population bactérienne homogène qui ne s'occuperait que d'une étape du processus de méthanisation. Les bactéries de chaque compartiment se développent en fonction du substrat disponible et des conditions environnementales spécifiques.

Il est donc possible de suivre schématiquement le processus de biométhanisation du premier au dernier compartiment. C'est dans les premières chambres que l'hydrolyse est la plus intense puisqu'elles reçoivent les macromolécules non traitées. Dans les chambres intermédiaires, aura lieu une grande partie de l'acidogénèse et, enfin, la méthanogénèse aura principalement lieu dans les derniers compartiments. La concentration en méthane et le volume de gaz, auront tendance à varier de la première à la dernière chambre.

Le biogaz est un mélange gazeux résultant de l'activité bactérienne en milieu anaérobie (à l'abri de l'air). Cette activité permet de transformer la matière organique en une série de produits simples, en méthane et en gaz carbonique. Ce mélange gazeux est facilement inflammable si la teneur en méthane dépasse 30 à 50 % du volume. Mais le biogaz est constitué également d'autres éléments à des proportions variables selon la matière d'origine et les conditions de digestion. Le biogaz produit par les eaux usées se compose généralement des gaz suivants :

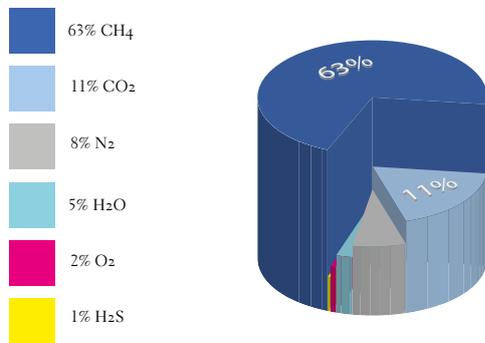


Figure 9 b : Exemple de la composition du biogaz à la Station de Ben Sergao

- Installation tuyauterie de gaz :

La tuyauterie de gaz doit être installée par un plombier professionnel. Lors de l'installation, il faut veiller à ce que les purges à eau (voir plan des conduites de biogaz) soient installées au niveau des points bas de la tuyauterie. De même, les points de connexion (coudes, vannes) doivent être étanchéifiés à l'aide de téflon. Un manomètre à eau est à prévoir avant les points d'utilisation.

Le sulfure d'hydrogène donne l'odeur désagréable du biogaz (ce qui permet de repérer aisément les fuites), mais elle disparaît dans les flammes.

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du biogaz (contenant 60% de méthane) s'élève à 21.500 kJ par m<sup>3</sup> ou 5.140 kCal/m<sup>3</sup>, c'est-à-dire 6 kWh/m<sup>3</sup>. La masse spécifique de ce biogaz est légèrement inférieure à celle de l'air: 1,2 kg/m<sup>3</sup>. Ainsi, il ne stagnera pas à la surface du sol et les risques d'asphyxie et d'explosion sont très réduits, si le gaz peut sortir par le haut des locaux.

Afin d'empêcher les fuites de biogaz et l'entrée d'air dans la cuve de digestion, les parois du RAC doivent être étanches aux gaz. En effet, il faut pouvoir stocker le biogaz sous le toit du RAC et dans les gazomètres à membrane lorsqu'il n'est pas utilisé. De plus, les bactéries responsables de la digestion des bouses sont très sensibles à la présence d'oxygène et leur activité ralentit ou cesse totalement en présence d'air.

### 3.3.2. Matériaux :

Il existe de nombreux matériaux qui peuvent être utilisés dans la construction d'un RAC. Le métal, le béton et le plastique sont principalement utilisés en fonction des dimensions et des disponibilités. Le béton armé est un matériau de construction rentable et facilement disponible. La construction en brique moins chère constitue aussi une bonne option. Néanmoins, pour les endroits éloignés et difficilement accessibles, le coût de transport peut-être considérable. Les plastiques et les métaux tels que les alliages, les aciers inoxydables et les métaux revêtus sont plus chers, mais permettent de réduire les besoins en espace et en terrain. En outre, des RAC construits dans ces matériaux peuvent être construits hors site et transportés sur le lieu d'implantation.

## Chapitre 4 : Mode et critères de construction d'une installation

### 1. Critères du choix du site de construction :

- Climat : Il est possible d'installer des réacteurs anaérobies compartimentés sous tout type de climat, et ce bien que leur efficacité diminue dans les régions où le climat est plus froid. Les RAC n'étant pas efficaces pour éliminer les nutriments et les agents pathogènes, leurs effluents nécessitent généralement un traitement complémentaire (tertiaire) ou une réutilisation en agriculture avec précautions (Foxon & al ; 2004).
- Proximité : En règle générale, l'installation RAC doit être placée le plus proche possible de l'habitation. Il faut veiller à ce que l'ensemble des eaux usées soit collecté, et que les eaux pluviales soient exclues de la filière de traitement d'eaux usées. Un réacteur anaérobie compartimenté (semi-) centralisé est approprié s'il existe une technologie de transport pour les effluents sortants, comme un égout simplifié.
- Accessibilité : La fosse et le RAC étant souvent enterrée, cette technologie est adaptée aux habitations et endroits où la surface de terrain disponible est faible. Toutefois, un camion de vidange doit pouvoir accéder à l'emplacement, car les boues doivent être régulièrement soutirées (en particulier depuis la partie de décantation). Il faut donc que l'espace soit suffisant et qu'il existe une voie d'accès pour l'installation et les vidanges.
- Le niveau du sol : Le dénivelé minimum entre le point où l'ensemble des eaux usées sont rassemblées et l'exutoire doit être de 2%. La Figure 10 est donné à titre d'exemple.

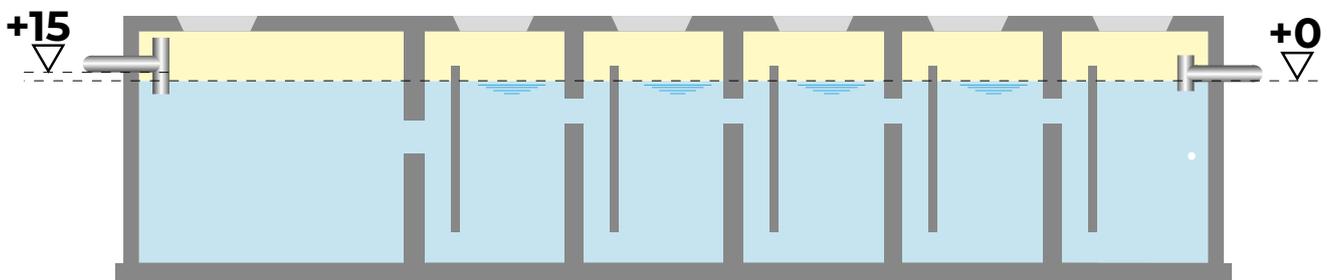


Figure 10 : Niveaux entrée et sortie d'un RAC

### 2. Mode de construction de quelques modèles :

#### 2.1. Modèle de RAC classique de 100 EH (modèle « DEWATS » 17 m<sup>3</sup>) :

La figure suivante présente une vue générale d'une installation RAC classique. Voir Annexe 3 (figure 45 : Vue de profil, figure 46 : Coupe frontale A du premier compartiment, figure 47 : Coupe frontale B compartiment à flux ascendant, figure 48 : Coupe frontale C compartiment à flux ascendant du RAC (d'après DEWAT)).

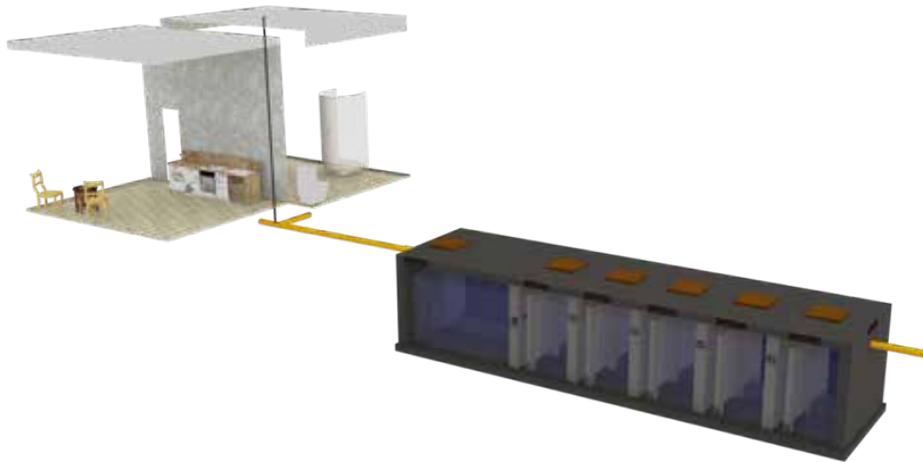


Figure 11 : Vue générale d'une installation RAC classique

### 2.1.1. Emplacement et préparation des excavations :

Pour ce faire il faut respecter les instructions suivantes :

- Vérifier la topographie des lieux : l'emplacement du RAC doit se situer en aval de la sortie des eaux usées pour qu'elles puissent s'écouler par gravité (sinon prévoir une pompe de relevage) ;
- Prévoir une pente le long du parcours des eaux dans le RAC : La sortie doit se situer à 10 – 15 cm plus bas que l'entrée ;
- Délimiter les limites du futur RAC au moyen de cordes ;
- Creuser un trou rectangulaire dans le sol de 2,2 m de profondeur, de dimensions au sol : 9,15 m x 1,6 m (voir figure 12 et 13)
- Stabiliser le fond de la fosse creusée avec une épaisseur d'approximativement 20 cm d'hérissonnage (empierrement par des moëllons).



Figure 12: Limites de l'excavation vue de haut



Figure 13: Limites de l'excavation vue de profil



- Poser les armatures et les coffrages en respectant les normes et l'état de l'art. Pour plus d'information, voir la section 5.2.1 « Structure en béton armé » du guide de dimensionnement et de construction d'un digesteur parallélépipédique.
- Réaliser le radier et les voiles selon les figures 46 et 47, Annexe 3)
- Placer les tuyauteries (buses d'entrée et de sortie en PVC de diamètre 110mm) qui doivent passer à travers le voile aux emplacements indiqués sur les plans (Figure 46, Annexe 3).
- Creuser une tranchée de 40cm, y déposer une couche de sable et y placer la tuyauterie et recouvrir de sable. Pour assurer la prise et l'étanchéité du joint entre le tuyau et le béton, réaliser une couche d'accroche autour du tuyau à l'aide de colle PVC et de sable sec. Il est aussi possible de placer un joint hydrogonflant ou de souder des « ailettes » perpendiculaire au tuyau.

### 2.1.2. Imperméabilisation :

Poser soigneusement 2 couches de 2 mm d'enduit imperméabilisant (mortier + 1kg de Sikalite par 50Kg de ciment) sur toutes les surfaces intérieures du digesteur (y compris le fond) et dans les coins, après les avoir bien humidifiées à la main.

La partie supérieure du RAC (au-dessus du niveau du liquide) doit être couverte à l'intérieur par 3 couches de goudron à peindre.

### 2.1.3. Dimensions de construction simplifiées :

Le Tableau 11, Annexe 2 regroupe les dimensions correspondant à la construction de RAC classiques.

Ce tableau est notamment basé sur des valeurs de température de 20°C correspondant à la plaine proche de la côte marocaine. Les habitants disposent de l'eau courante et le RAC est alimenté par toutes les eaux usées. De plus, ces valeurs ne tiennent pas compte de l'évolution du nombre d'habitants.

Dans les régions où les hivers sont rigoureux avec des températures des eaux à traiter régulièrement inférieures à 15°C, Il est nécessaire d'augmenter le TRH. Si les températures sont basses, il est donc nécessaire d'augmenter le volume de

l'installation et donc son coût.

Ce tableau simplifié est destiné à aider le dimensionnement d'un RAC sans calculs et ne prend pas en compte les particularités de chaque projet Il est donc conseillé de dimensionner le RAC en suivant les informations retranscrites dans le chapitre 3 afin d'obtenir des dimensions conformes à la réalité du terrain. (Voir tableaux 12, 13 de l'annexe 3)

## 2.2. Autres modèles et alternatives de conception / construction :

Le modèle de base présenté précédemment est un système performant et économique. Cependant, certaines modifications peuvent en améliorer le rendement, augmenter les possibilités de valorisation des effluents et/ou diminuer les coûts de construction et d'installation.

### 2.2.1. Modèle du RAC classique à compartiment descendant tubulaire :

La première alternative de conception consiste au remplacement des compartiments descendant par des tuyaux PVC (figure 14). La vue de profil est présentée dans la figure 49, Annexe 3. Cette variation de construction permet de diminuer le nombre de mur de séparation et d'augmenter la surface des compartiments ascendants pour un volume total donné.

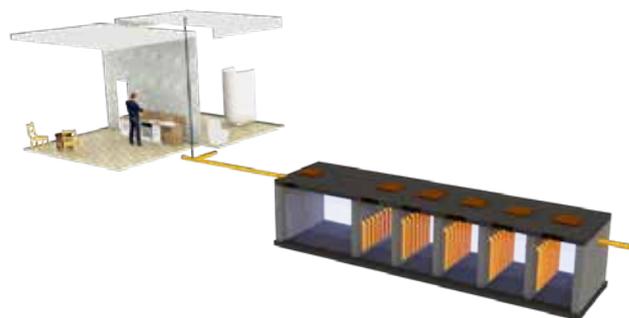


Figure 14 : Vue générale d'une installation RAC classique à compartiment descendant tubulaire

Les ouvertures entre les compartiments sont traversées de tuyaux PVC de section de 125 mm. Ces tuyaux sont espacés de 15 cm et sont disposés selon les figures 15 et 16.



### 2.2.1.1. Emplacement et préparation des excavations :

Pour ce faire il faut respecter les mêmes instructions utilisées pour le RAC classique de 100 EH (modèle « DEWATS » 17 m<sup>3</sup>) citées au niveau de la section 2.1.1. « Emplacement et préparation des excavations », en tenant compte des modifications suivantes :

- Creuser un trou rectangulaire dans le sol de 2,2 m de profondeur, de dimension au sol de 8,65 m x 1,6 m (voir figure 15 et 16).

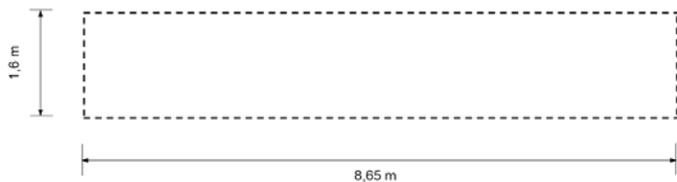


Figure 15 : Limites de l'excavation vue de haut

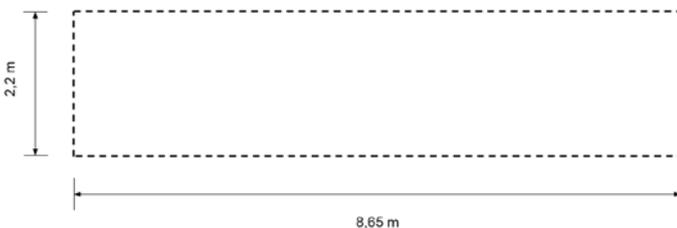


Figure 16 : Limites de l'excavation vue de profil

- Réaliser le radier et les voiles selon la figure 49, Annexe 3.
- Placer les tuyauteries (buses d'entrée et de sortie en PVC de diamètre 110mm) qui doivent passer à travers le voile aux emplacements indiqués sur les plans Figure 50 et 51, Annexe 3.

### 2.2.1.2. Imperméabilisation :

Poser soigneusement 2 couches de 2 mm d'enduit imperméabilisant (mortier + 1kg de Sikalite par 50Kg de ciment) sur toutes les surfaces intérieures du digesteur (y compris le fond) et dans les coins, après les avoir bien humidifiées à la main

### 2.2.1.3. Dimensions de construction simplifiées :

Le Tableau 12, Annexe 3 regroupe les dimensions correspondant à la construction de RAC classique à compartiment descendant tubulaire. Comme pour le tableau 11, ce tableau est basé sur

des valeurs de température de 20°C et est destiné à aider le dimensionnement d'un sans calculs et ne prend pas en compte les particularités de chaque projet. (Voir tableaux 14 et 15 de l'annexe 3).

### 2.2.2. Modèle RAC simplifié tubulaire :

Contrairement aux RAC en béton (ou en maçonneries) adaptés à des installations collectives de plus ou moins grandes tailles, cette variante de conception est particulièrement adaptée aux petites installations. Voir la configuration linéaire (vue générale) de ce RAC dans la figure 52, l'annexe 3. Ce modèle présente la particularité de remplacer les différents compartiments par une série de tube de diamètre variable (figure 17, figure 18). Les matériaux sont légers et l'aspect modulaire de ce modèle permet un agencement qui s'adapte au manque d'espace. La principale contrainte est de conserver une vitesse ascensionnelle inférieure à 0.6 m/h et d'éviter les excavations trop profondes.

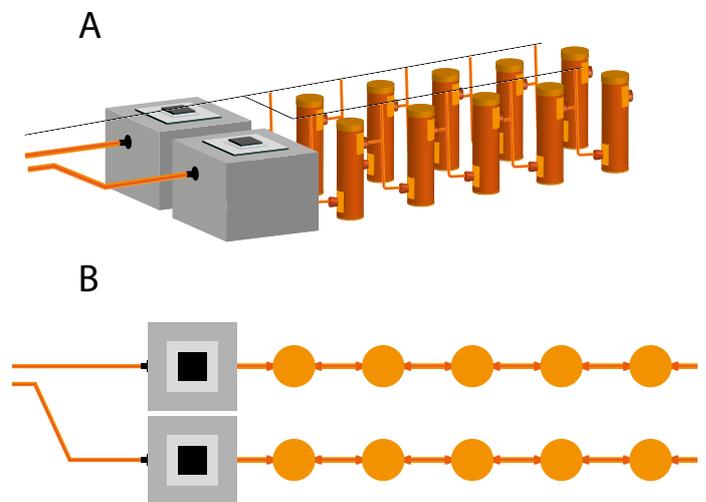


Figure 17: Agencement linéaire d'un RAC simplifié de 10 EH.

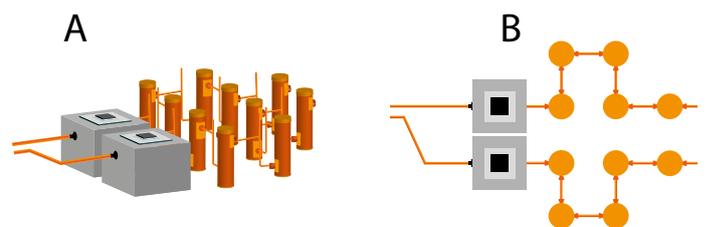


Figure 18: Agencement compact d'un RAC simplifié de 10 EH.

### 2.2.1.1. Construction par étapes d'un RAC simplifié tubulaire de 1,5 m<sup>3</sup> :



Figure 19 : Vue générale d'une installation RAC simplifié tubulaire

**a. Principe de fonctionnement :**

Le but de ce modèle est de remplacer les matériaux de construction classique comme le béton par des modules en PVC plus léger pour réduire le prix du transport et permettre une mise en place plus facile.

Le décanteur du RAC est ici remplacé par un cubitainer. Des tubes PVC de 90 mm et de 300 mm sont utilisés pour remplacer respectivement les compartiments descendant et les compartiments ascendant.

**b. Emplacement et préparation des excavations :**

- Vérifier la topographie des lieux : l'emplacement du RAC doit se situer en aval de la sortie des eaux usées pour qu'elles puissent s'écouler par gravité (sinon prévoir une pompe de relevage) ;
- Prévoir une pente le long du parcours des eaux dans le RAC. La sortie doit se situer à 10 – 15 cm plus bas que l'entrée ;
- Délimiter les limites du futur RAC au moyen de cordes ;
- Creuser un trou carré de 1.2 m de côté et de 1.25m de profondeur. Cette excavation est prolongée par un trou rectangulaire de 1,7 m de profondeur et de dimension au sol de 4.5 m x 0.4 m ;
- Stabiliser le fond de la fosse creusée avec une épaisseur d'approximativement 20 cm d'hérissonnage (voir figure 20, 21)

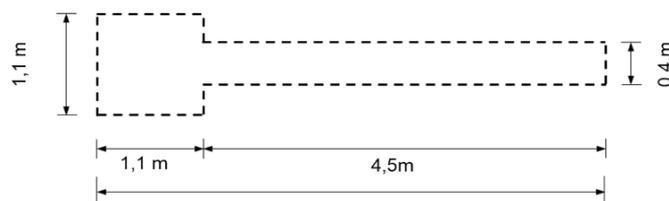


Figure 20 : Limites de l'excavation vue de haut

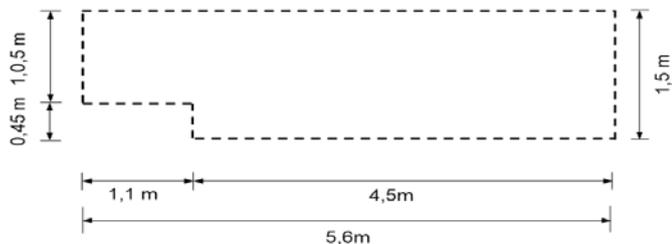


Figure 21 : Limites de l'excavation vue de profil

### c. Construction de la fosse de décantation :

- Convertir un cubitainer de 1000 litres en chambre de décantation (voir figure 22).

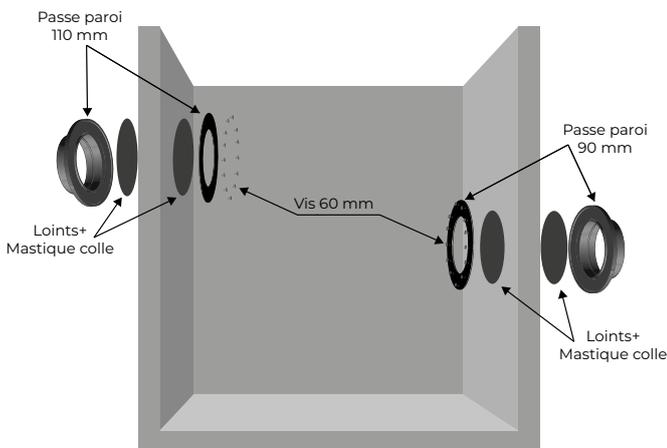


Figure 22 : Cubi 1m<sup>3</sup> converti en décanteur (vue profil) : assemblage des passes paroi

- Réaliser une ouverture carrée de 50 cm sur 50 cm dans la paroi supérieure du cubi pour avoir accès à l'intérieur de celui-ci.
- Effectuer une ouverture à l'aide d'une scie cloche de 110 mm pour l'entrée et de 90 mm pour la sortie.
- Placer ensuite les passes parois correspondants comme indiqué sur la figure 23. Les passe-parois sont collés et vissés pour assurer l'étanchéité. Des tés seront ensuite fixés sur les passe-parois à l'intérieur du cubi.

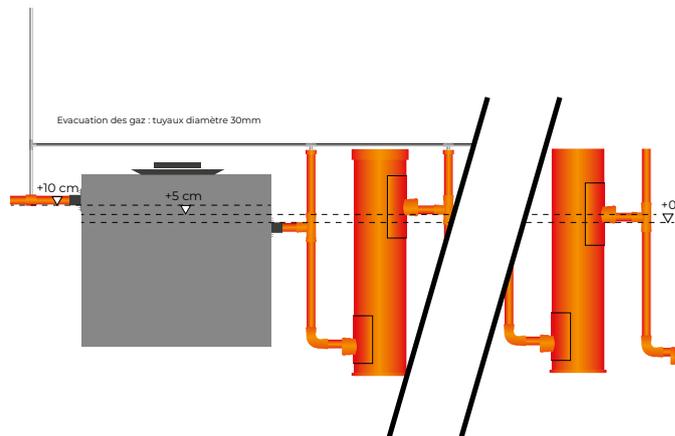


Figure 23 : RAC simplifié: Configuration linéaire (vue profil)

### d. Assemblage des compartiments ascensionnels :

- Forer aux entrées et sorties des tuyaux principaux (300 mm) des ouvertures de 90 mm à l'aide d'une scie cloche.
- Ensuite, assembler chaque compartiment comme décrit sur la figure 22 et vérifier l'étanchéité.
- Remplir d'eau jusqu'au niveau de sortie du compartiment. Et vérifier l'absence de fuite.
- En cas de fuite, vider le compartiment et colmater les à l'aide de colle siliconée.

### e. Placement des compartiments :

Recouvrir le fond de l'excavation de stabilisé sur une hauteur de 10 cm et y placer les différents éléments enfoncés de 5cm dans le stabilisé et placer du mortier sur une hauteur de 5cm dans chaque compartiment ascensionnels. Les différents compartiments sont disposés selon les figures 53 et 54, Annexe 3.

### f. Dimensions de construction simplifiées :

Le Tableau 13 regroupe les dimensions correspondant à la construction de RAC classique à compartiment tubulaire. Comme pour le tableau 11, ce tableau est basé sur des valeurs de température de 20°C et est destiné à aider le dimensionnement d'un sans calculs et ne prend pas en compte

les particularités de chaque projet. (Voir tableaux 16 et 17 de l'annexe 3).

### 2.2.3. Modèle du RAC adapté à la production de biogaz :

Lorsque l'installation est suffisamment importante, la production de biogaz produit peut être valorisée si le RAC a été adapté au stockage et l'utilisation du biogaz. Cette adaptation consiste en une étanchéité plus importante, un espace de stockage réservé au biogaz et des composants de tuyauterie et de control de pression décrits à la section 3.2 et 3.3.

#### 2.2.3.1. Emplacement et préparation des excavations :

- Vérifier la topographie des lieux : l'emplacement du RAC doit se situer en aval de la sortie des eaux usées pour qu'elles puissent s'écouler par gravité (sinon prévoir une pompe de relevage).
- Prévoir une pente le long du parcours des eaux dans le RAC. La sortie doit se situer à 10 – 15 cm plus bas que l'entrée.
- Délimiter les limites du futur RAC au moyen de cordes ;
- Réaliser les excavations (suivant les figures 24 et 25) et stabiliser le fond de la fosse creusée avec une épaisseur d'approximativement 20 cm d'hérissonnage



Figure 24 : Limites de l'excavation vue de haut



Figure 25 : Limites de l'excavation vue de profil

Poser les armatures et les coffrages dans le respect des normes et de l'état de l'art. Pour plus d'information, voir la section 5.2.1 « Structure en béton armé » du guide de dimensionnement et de

construction d'un digesteur parallélépipédique.

- Réaliser le radier et les voiles selon les figures 55 et 56.
- Placer les tuyauteries (buses d'entrée et de sortie en PVC de diamètre 110mm) qui doivent passer à travers le voile aux emplacements et être équipés de tés (voir Figures 57 et 58 ci-dessous).
- Creuser une tranchée de 40cm, y déposer une couche de sable et y placer la tuyauterie et recouvrir du même sable. Pour assurer la prise et l'étanchéité du joint entre le tuyau et le béton, réaliser une couche d'accroche autour du tuyau à l'aide de colle PVC et de sable sec. Il est aussi possible de placer un joint hydrogonflant ou de souder des « ailettes » perpendiculaire au tuyau.

#### 2.2.3.2. Dimensions de construction simplifiées :

Le Tableau 14, Annexe 3 regroupe les dimensions correspondant à la construction RAC adapté à la production de biogaz. Comme pour le tableau 11, ce tableau est basé sur des valeurs de température de 20°C et est destiné à aider le dimensionnement d'un sans calculs et ne prend pas en compte les particularités de chaque projet. (Voir tableau 18 de l'annexe 3).

##### a. Imperméabilisation :

Veuillez consulter la « section 2.2.1 » relative au RAC classique à compartiment descendant tubulaire.

Après séchage, appliquer également 3 couches d'une pâte imperméabilisante à base de goudron (Flinkote) sur le tiers supérieur des parois intérieures des voiles ainsi que sur l'intérieur de la dalle supérieure de la cuve et dans les coins (la partie au-dessus du niveau des buses et jusqu'au niveau du couvercle) et ce, jusqu'à couvrir la couronne au-dessus du couvercle. Une attention et précaution particulière doit être apportée à cette étape cruciale.

##### b. Couvercles :

- Réaliser les couvercles des ouvertures de vidange du RAC à l'aide d'un moule métallique (voir Figure 26) fabriqué sur place qui permettra de reproduire le couvercle facilement.

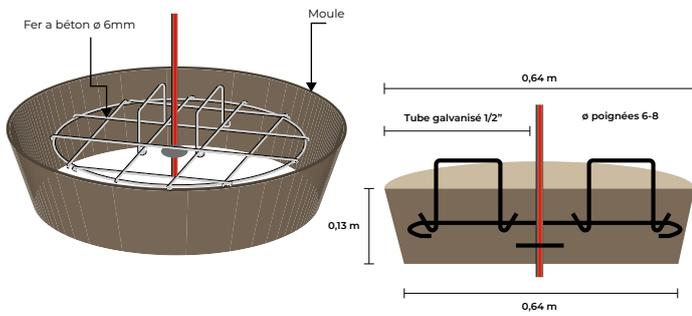


Figure 26 : Fabrication du couvercle de la couronne en brique

Les regards seront également dotés d'un couvercle, dont la réalisation est schématisée à la Figure 27.

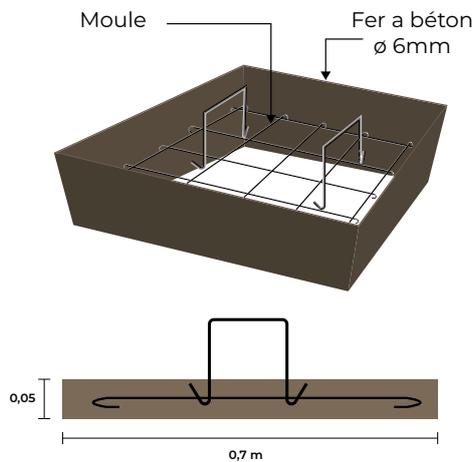


Figure 27 : Fabrication du couvercle des regards

- Monter les parois de la couronne au-dessus de l'ouverture en briques, comme indiqué sur le détail de la Figure 28.

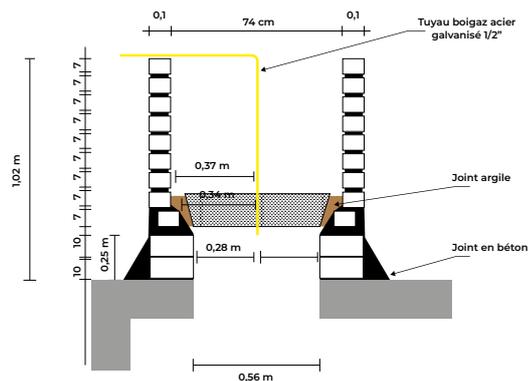


Figure 28 : Construction de la couronne au-dessus de l'ouverture dans la cuve du digesteur.

- Les briques servant à sa fabrication devraient être plaines, de dimensions 10x20x7 cm. Le mur circulaire doit avoir une hauteur de 1,02m, un diamètre intérieur de 74cm sur les 0,77 premiers cm et de 56 cm sur les 25 cm inférieurs.

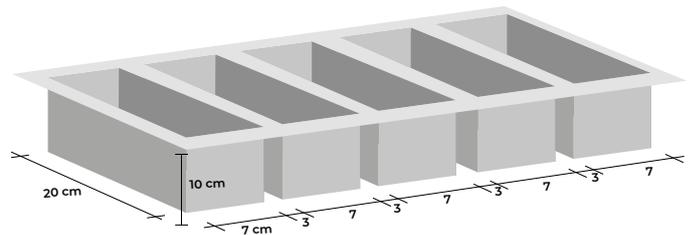


Figure 29 : Façonnage des briques pleines

- Démouler le couvercle et poser dans la couronne sur un joint de 2 cm d'argile.

#### c. Abri pour gazomètre :

- Préparer l'armature et le coffrage de l'abri qui accueillera le gazomètre en géomembrane, aux dimensions indiquées sur le plan aux Figures 30 et 31.

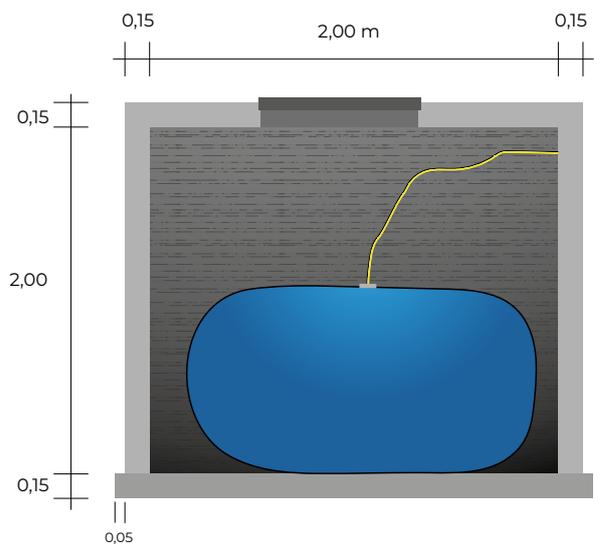


Figure 30 : Abri pour gazomètre : vue de profil

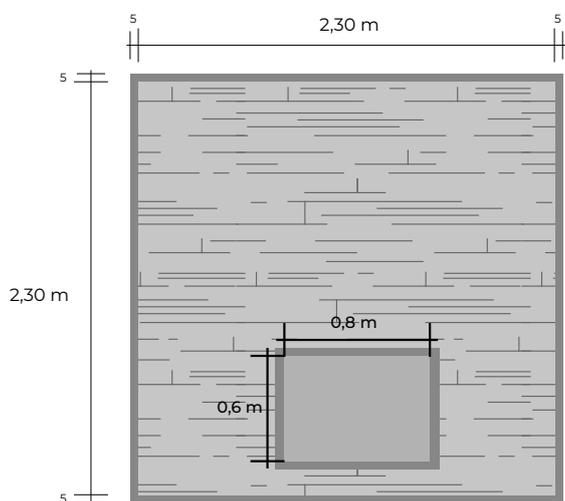


Figure 31: Abri pour gazomètre : vue de de haut

#### d. Soupape à eau :

En raison des risques de surpression au niveau du gazomètre, il est nécessaire d'installer une soupape de sécurité. La Figure 32 indique la manière de construire une telle soupape à eau et la Figure 33 représente cette dernière dans son environnement.

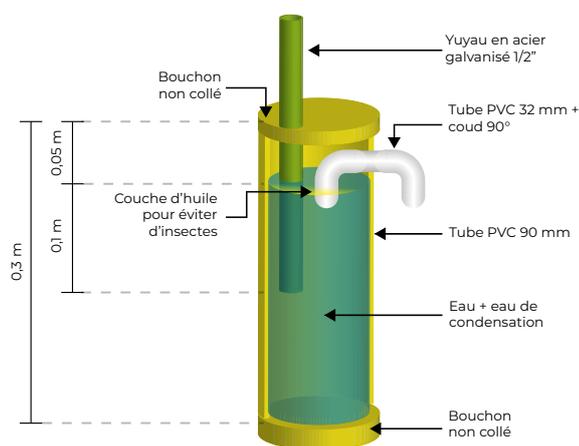


Figure 32 : Schéma d'une soupape à eau – vue en plan

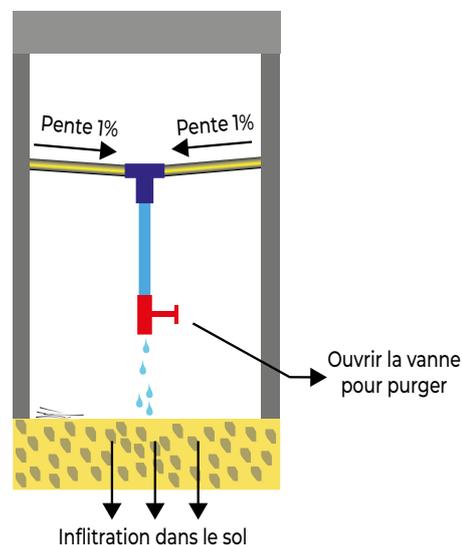


Figure 33 : Purge d'eau

#### e. Entretien des conduites de biogaz

Le biogaz contient de la vapeur d'eau qui peut se condenser et s'accumuler dans la tuyauterie. Les accumulations d'eau peuvent obstruer les conduites et empêcher une bonne combustion du biogaz. Dans ce contexte, la tuyauterie de gaz est placée en pente douce afin d'acheminer l'eau vers les points les plus bas où se situent les pièges à eau qui servent à évacuer l'eau condensée (voir figure 35 ci-dessous).

L'eau qui s'accumule dans le système doit être purgée quotidiennement par ouverture de la vanne de quelques secondes. En dehors des purges, la vanne doit rester fermée.

### 2.3. Tests d'étanchéité de l'installation :

#### 2.3.1. Etanchéité à l'eau :

Ce test consiste au remplissage en eau du RAC jusqu'à ce que l'eau commence à déborder par le tuyau de sortie.

Marquer le niveau d'eau et laisser pendant 24 heures. Ensuite vérifier le niveau de ce dernier. Une différence de niveau dépassant 3 cm montre la présence d'une fuite. Dans ce cas, il faut vider le RAC et remédier au problème. Le test doit être répété jusqu'à ce que le résultat soit positif.

#### 2.3.2. Etanchéité au gaz :

Avant le remplissage du digesteur en substrat, le test d'étanchéité au gaz doit être effectué. Pour le réaliser, il faut d'abord installer et étanchéifier le couvercle. Ensuite :



- fermer la vanne située près du couvercle
- ouvrir la vanne de la cuisine
- débrancher le tuyau transparent de la cuisinière
- injecter de l'air à la bouche dans ce tuyau et faire monter la pression au manomètre jusqu'à 90 cm CE (colonne d'eau)
- replacer le tuyau sur la cuisinière tout en le pliant pour maintenir la pression
- vérifier le maintien de la pression sur le manomètre durant 10 minutes
- si la pression baisse, repérer l'endroit de la fuite en mettant de l'eau savonneuse (mousse) sur les différents raccords et pièces de la tuyauterie
- réparer la pièce défectueuse et effectuer à nouveau le test.
- La plus grande partie de la tuyauterie galvanisée doit être enterrée sous plus de 15 cm de terre.
- Les tuyaux aériens sont les plus exposés aux risques de chocs. Si nécessaire, il faudra les protéger par de petits murs.
- Les tuyaux transparents alimentant les appareils doivent être écartés des flammes et des zones trop chaudes.

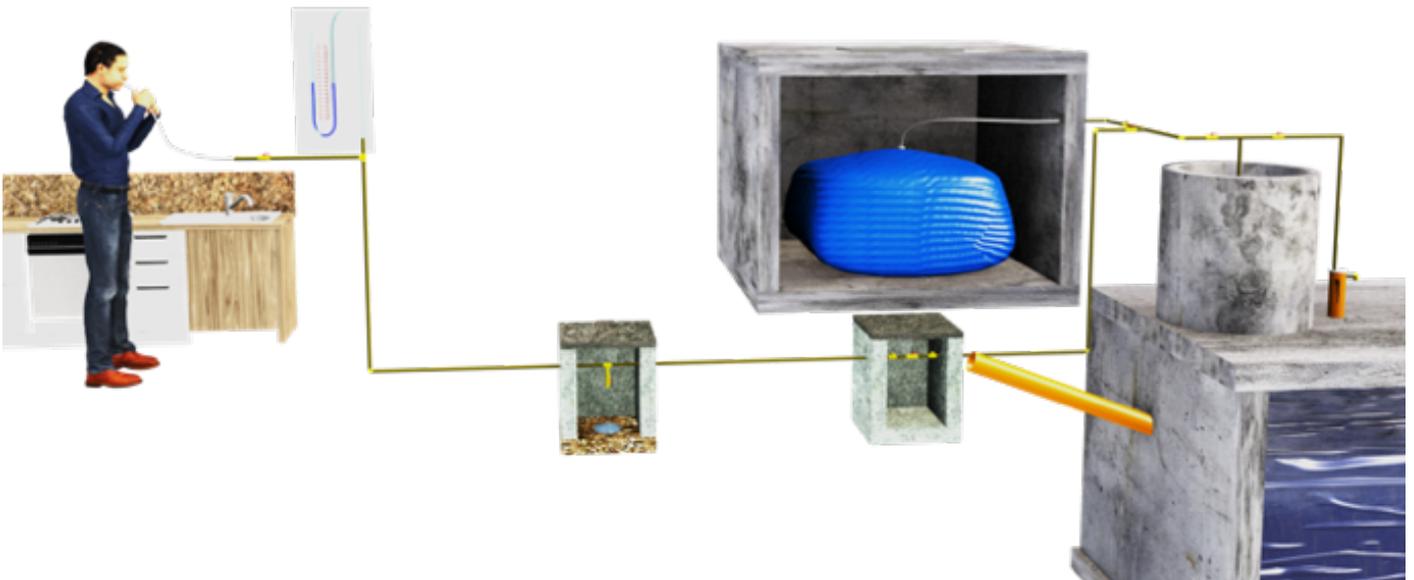


Figure 36 : Test d'étanchéité au biogaz





## Chapitre 5 : Maintenance du RAC et quelques propositions d'amélioration et de gestion

### 1. Utilisation et maintenance :

La performance du traitement dépend de la disponibilité de la masse bactérienne active. L'inoculation avec des boues anaérobies actives (contenant les microorganismes responsables de la digestion anaérobie) provenant par exemple de fosses septiques permet d'accélérer le démarrage des RAC. En principe, il est conseillé de démarrer avec un débit faible (un quart du débit journalier) qui sera augmenté progressivement sur trois mois, ce qui permet aux bactéries de proliférer suffisamment pour traiter la matière en suspension et éviter son accumulation. Le RAC de même que les autres technologies seront donc à éviter en temps de crise, lorsqu'il y a un besoin urgent et rapide de traitement des eaux usées.

Le point d'attention principal de ce type de technologie, est le contrôle régulier de l'étanchéité de l'installation. Du point de vue fonctionnement, les niveaux de flottants et de boue devraient être surveillés et des vidanges régulières doivent être prévues. La fréquence des vidanges est, comme pour les fosses septiques, d'environ d'un à quatre ans. Celles-ci doivent être effectuées de préférence par un camion vidangeur pour réduire les risques sanitaires. Lors de la vidange des réservoirs, il est important de laisser dans chacun des compartiments environ 5% à 20 % de la boue active pour garantir la reprise d'un processus de traitement rapide et stable.

### 2. Amélioration du fonctionnement de l'installation RAC :

#### 2.1. Rétention des matières en suspension :

Dans l'objectif d'amélioration de la rétention des matières en suspension dans le dernier compartiment, il est possible de le convertir en un bioréacteur à membrane anaérobie. Pour ce faire, il faut ajouter dans ce compartiment un support non putrescible par exemple du gros gravier qui permet la croissance d'un biofilm et fournit une filtration supplémentaire de l'effluent et par conséquent, une rétention accrue de la biomasse (Tilche et Yang ; 1987).

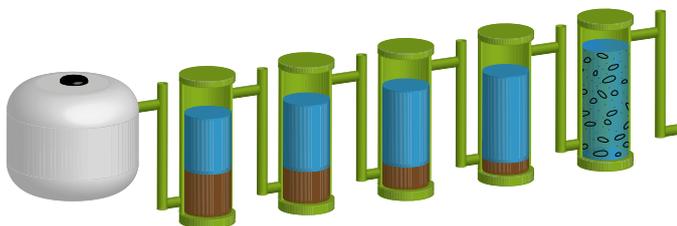


Figure 34 : RAC simplifié avec support de biomasse

#### 2.2. Dispositif de vidange avec lits de séchage des boues :

Le RAC, comme la plupart des technologies d'assainissements, produit des boues qui doivent être vidangé régulièrement et traitées. Or, certaines régions en zones montagneuses sont inaccessibles pour des camions vidangeur. Dans ces conditions, et si le terrain le permet, il est possible de modifier le RAC pour rendre possible une vidange régulière et sûre.

Des tuyaux situés sous chaque compartiment du RAC conduisent les boues vers un lit de séchage situé sous le niveau de sortie du RAC. Les boues sont donc « poussées » par les eaux usées contenue dans le RAC et s'écoule de manière gravitaire vers le lit de séchage à chaque purge (une purge de quelques minutes par semaine) et s'écoule gravitairement vers le lit de séchage (voir figure 47). Ces purges de boues doivent être courte (quelques minutes) et régulière pour permettre la dessiccation et l'évacuation des boues traitées.

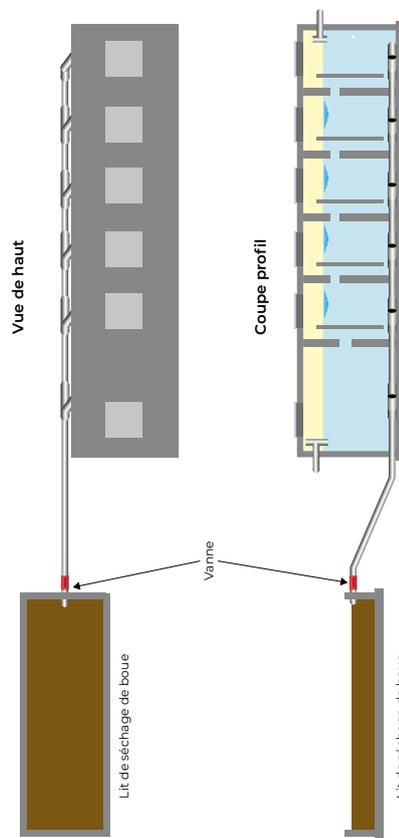


Figure 35 : Rac avec dispositif de vidange avec lits de séchage des boues







## ANNEXE 1

### Rappel du principe de fonctionnement des fosses septiques traditionnelles

#### 1. Fosse septique :

Etant donné la charge polluante (biologique et chimique) contenue dans les eaux noires (toilettes) et grises (ménagères et d'hygiène) produites dans une habitation, il est nécessaire de faire subir à celles-ci un traitement minimum avant rejet. Par ailleurs, la fosse septique peut être installée en amont d'un traitement secondaire qui nécessite une décantation préalable. Ce traitement minimum (ou première étape) est constitué par la mise en place d'une fosse septique qui constituera le traitement primaire des eaux usées. Le présent chapitre constitue une description générale des fosses septiques ; pour plus de détails, se reporter au document spécifique.

En aval d'une toilette à chasse d'eau manuelle ou mécanique, la fosse septique consiste en un réservoir enterré où transitent les eaux usées pendant une durée de 24h à 72 h. Durant leur séjour, les eaux usées subissent une digestion anaérobie partielle puis s'évacuent pour être collectées ou subir un traitement supplémentaire (égout ou solution décentralisée). En effet, le traitement par fosse septique n'est pas complet. Une grande partie des sédiments est stockée sous forme de boues peu stabilisées qui doivent être vidangées périodiquement (1-4 ans). Outre les boues de sédimentation, la fosse septique retient aussi les flottants. Un dispositif de type paroi siphonide doit donc être mis en place. En général, un té placé sur les tuyaux d'entrée et de sortie permet de retenir les flottants. Ce té permet également l'évacuation des gaz qui peuvent s'accumuler dans les tuyaux. En effet, le processus de digestion anaérobie, bien que partiel, produit des gaz qui doivent être évacués. A cet effet, un tuyau de ventilation (évent) sera érigé à une hauteur suffisante pour éviter les nuisances. Il est par ailleurs possible de placer 2 éventails pour créer un courant d'air. Cela permet le développement de bactéries aérobies en surface qui éliminent le H<sub>2</sub>S et donc les mauvaises odeurs.

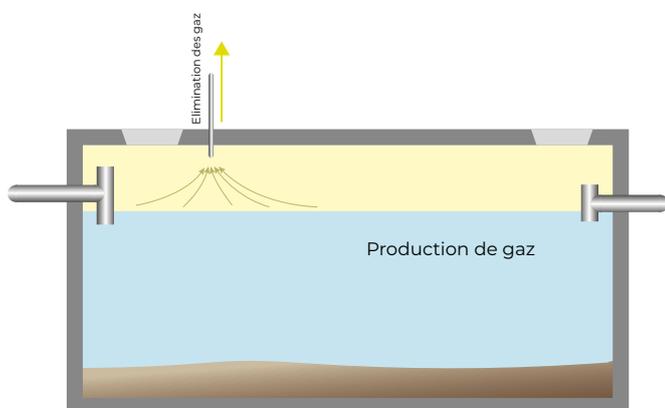


Figure 37 : Digestion anaérobie ; Production et élimination des gaz d'une fosse septique

#### 2. Généralités sur les fosses septiques :

Une fosse septique comprend une cuve étanche dans laquelle les eaux usées subissent une décantation de la phase solide ainsi qu'une dégradation partielle et une liquéfaction des matières organiques solides par digestion bactérienne anaérobie.

Le système est composé de conduites d'adduction des eaux usées, d'une cuve de traitement (avec trappe de maintenance et évent) et de conduites d'évacuation des eaux traitées (voir schéma de la figure 37).

La cuve peut être construite en brique et béton ou en matériaux synthétiques type plastique, PVC, fibre de verre. Sur base du choix initial, elle possèdera 2 ou 3 compartiments successifs communiquant entre deux et dans lesquels les eaux usées transiteront de manière unidirectionnelle pendant 2 à 5 jours en routine.

Les eaux usées ménagères arriveront dans la fosse septique par simple gravité et écoulement dans les conduites d'évacuation des eaux grises et par chasse d'eau (flushing) pour les eaux noires. L'usage et le bon fonctionnement d'une fosse septique est donc conditionné à la disponibilité locale en eau. Après passage dans la fosse septique, les eaux traitées seront évacuées naturellement par une conduite et dispersées (infiltrées) dans le sol par drains ou bien elles subiront un traitement secondaire (réseau de collecte, biométhanisation, filtre planté) avant d'être infiltrées.

La décantation continue d'une phase solide et l'apparition de flottants impliqueront une vidange périodique de 1 à 4 ans de la fosse.

Une fosse septique constitue un traitement primaire efficace pour les ménages et collectivités jusque 200 EH.

#### 3. Dimensionnement :

Les fosses septiques préfabriquées sont disponibles dans des volumes standards calculés sur base des volumes d'eaux usées à traiter ou des équivalents habitants (EH) produisant ces eaux.

Pour les fosses construites sur site, les recommandations de volumes (utiles) suivantes sont d'application :

- i. Pour un ménage de 3 à 5 personnes (EH) : 3 m<sup>3</sup> (= 3.000 l).
- ii. Ajout de 0,6 m<sup>3</sup> (600 l) par personne (EH) de 5 à 10 EH, avec un minimum de 3 m<sup>3</sup> pour 5 EH.
- iii. Ajout de 0,35 m<sup>3</sup> (350 l) par personne (EH) de 10 à 20 EH avec un minimum de 6 m<sup>3</sup> pour 10 EH.
- iv. Ajout de 0,25 m<sup>3</sup> (250 l) par personne (EH) de 21 à 50 EH avec un minimum de 7 m<sup>3</sup> pour 20 EH.
- v. Ajout de 0,18 m<sup>3</sup> (180 l) par personne (EH) de 51 à 200 EH avec un minimum de 12 m<sup>3</sup> pour 50 EH.

Hauteur intérieure de la fosse (Ht) : 1,5 m à 1,8 m  
 Profondeur utile (Hu) de la fosse (correspondra au niveau maximum de remplissage par les eaux usées) (= Ht - 0,3 m) : 1,2 m à 1,5 m  
 Largeur de la fosse : 1 m  
 Longueur des compartiments (sur base du volume utile ou de la longueur utile (Lt)) :

- vi. 2 compartiments : 1er = 66%, 2nd = 34%
- vii. 3 compartiments : 1er = 50%, 2nd = 25%, 3ème = 25%

#### Remarque

la longueur du plus court des compartiments ne doit pas être inférieure à 0,6 m afin d'en laisser un accès minimum pour la vidange et d'éventuelles interventions de manutention. Pour ce faire il peut être nécessaire de réduire la largeur de la cuve. La canalisation de sortie des eaux traitées doit se situer 0,1 à 0,15 m sous le niveau de la canalisation d'entrée des eaux usées.

Dans une situation où le nombre d'EH dépasserait massivement et d'une manière permanente la capacité de traitement de la fosse (agrandissement massif de la famille), l'ajout d'une fosse devra être réalisée en parallèle de la première et non pas en série. Ceci maintiendra un flux des eaux usées suffisamment faible pour maintenir une efficacité optimum de la dégradation biologique.

#### 4. Démarrage, fonctionnement et entretien :

Après le placement de la fosse, il est nécessaire de réaliser un test d'étanchéité. En cas de fuite, la fosse doit être vidée et réparée. Le démarrage de la fosse (réception des premières eaux usées) devra être réalisé après avoir rempli la fosse d'eau à 2/3 de sa hauteur utile.

En fonctionnement routinier, la surveillance se limitera à une ouverture de la fosse tous les 6 mois pour effectuer une inspection visuelle des flottants et du niveau atteint par les eaux usées.

L'entretien de la fosse consistera en une vidange périodique (1 an à 4 ans) fonction de son utilisation réelle, des quantités d'eaux usées qu'elle réceptionne et des conditions climatiques locales.

Lors de la vidange périodique, on veillera à laisser environ 5-10% des boues dans la fosse. Ceci permet de garder une population bactérienne suffisante pour relancer son fonctionnement de manière rapide et efficace. On ajoutera de l'eau à cette sauvegarde de boues jusqu'au 2/3 de la hauteur utile de la fosse comme en phase de démarrage.

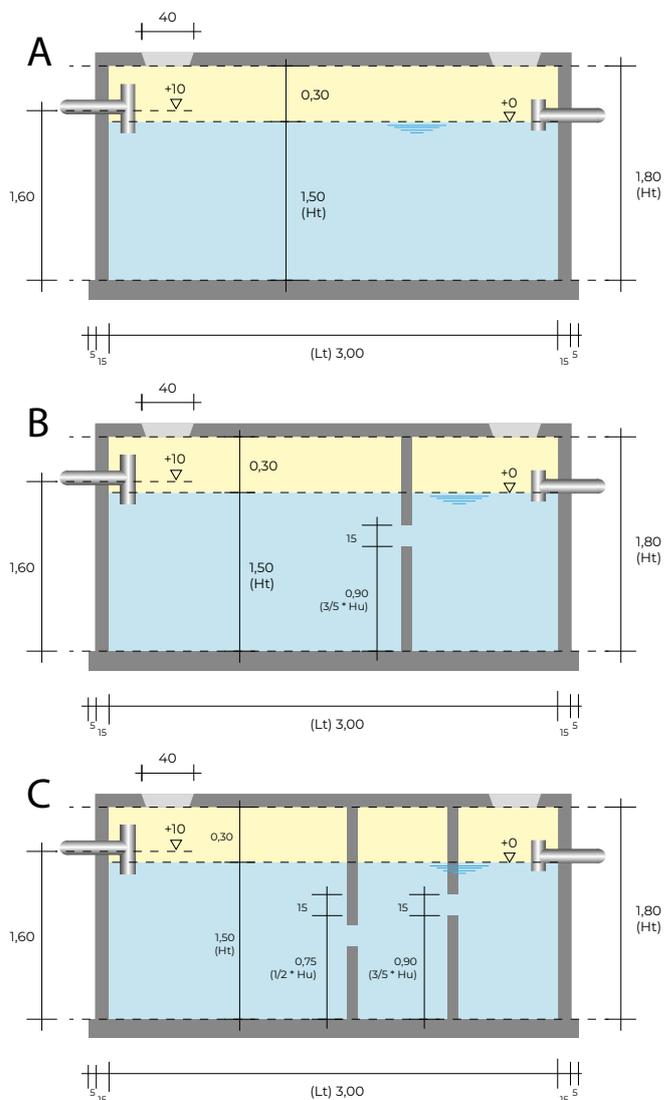


Figure 38 : Exemple de fosse septique.

a) fosse septique traditionnelle à 1 seul compartiment (a), deux compartiments (b) ou trois compartiments (c)

#### 5. Précautions particulières :

La fosse devra être installée en contrebas du lieu d'émission des eaux usées ou suivant une ligne de pente pour bénéficier au mieux de l'effet de chasse nécessaire à l'évacuation des eaux noires.

La fosse ne pourra être installée dans un sol où la nappe phréatique est à faible profondeur ou en zone inondable.

La fosse devra être installée à proximité d'une voirie (et pas sous voirie) de sorte à permettre à un véhicule spécialisé de s'en approcher et d'en effectuer la vidange périodique.

Hormis son inspection et sa vidange, et de sorte à prévenir les accidents, la fosse devra être maintenue fermée en permanence et son ouverture sécurisée par un/des cadenas empêchant(s) l'ouverture de la/des trappes d'entretien.

Si l'ouverture de la fosse est à plus de 20 cm en dessous du niveau du sol, il est nécessaire d'installer une rehausse.

L'usage de puissants produits désinfectants, de produits chimiques et de médicaments spécifiques (antibiotiques, anticancéreux de chimiothérapie) passant dans les urines et

fèces peut fortement impacter la microflore de la fosse. Les conséquences peuvent aller d'une diminution temporaire de son efficacité jusqu'à son arrêt de fonctionnement par l'éradication complète de sa faune bactérienne nécessitant sa vidange totale, son nettoyage et sa relance.

avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peut être construite et réparée avec des matériaux locaux.</li> <li>- Longue durée de vie. (15 à 30 ans)</li> <li>- Aucun problème réel de mouches ou d'odeurs si utilisée correctement.</li> <li>- Faible coût d'investissement; frais d'exploitation modérés (en fonction des coûts pour la vidange).</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiert une source permanente d'eau pour la chasse.</li> <li>- L'effluent de la fosse septique et les boues nécessitent un traitement secondaire et/ou une mise en décharge ou traitement adapté.</li> <li>- Produit du biogaz qui n'est pas capturé et contribue aux émissions des gaz à effet de serre (méthane et CO<sub>2</sub>).</li> <li>- Le gaz est malodorant et doit être, de préférence, conduit au-dessus du niveau des toits des habitations.</li> <li>- Haut risque de contamination des eaux souterraines à moins que le niveau de la nappe soit très bas ou qu'un traitement secondaire élimine les pathogènes et les nitrates.</li> <li>- Risque sanitaire pour les personnes impliquées dans la vidange de la fosse septique.</li> </ul>

Tableau 5 : Avantages et inconvénients des fosses septiques

### Rappel : Le digesteur anaérobie à flux ascendant (UASB) :

#### 1. Principe de fonctionnement

C'est une technologie mise au point dans les années 1970 à l'Université de Wageningen au Pays-Bas. Le digesteur anaérobie à flux ascendant (UASB) met en suspension les boues. Les eaux usées sont amenées sur le fond du réacteur à l'aide d'un système de distribution. Cela permet de mobiliser les boues et de mettre en contact les eaux usées et la biomasse active des boues. L'eau traverse le lit de boues de bas en haut et les organismes anaérobies transforment les polluants présents dans les eaux usées en biogaz. A l'intérieur du digesteur se trouve un lit de boues composé de microorganismes anaérobies traversé de bas en haut par le flux d'eaux usées. Lors de la dégradation anaérobie, se forme du biogaz composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone. Dans la partie supérieure du réacteur se trouve un système de « cloches » ou déflecteurs qui permettent de séparer l'eau, la boue et le gaz. La boue monte et descend selon le débit d'eaux usées

#### 2. Caractéristiques du digesteur anaérobie à flux ascendant (UASB) :

- Il est de loin le système anaérobie à haut rendement le plus largement utilisé pour le traitement de grands volumes d'eaux usées à forte charge polluante.
- Ce réacteur est particulièrement adapté au traitement à grande échelle des eaux agro-industrielles. Cette technologie a toutefois été adaptée des eaux usées domestiques pour des villages à forte densité de population.
- L'UASB est capable d'éliminer jusqu'à 90% de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) en un temps de séjour hydraulique (TRH) inférieur à 1 jour.

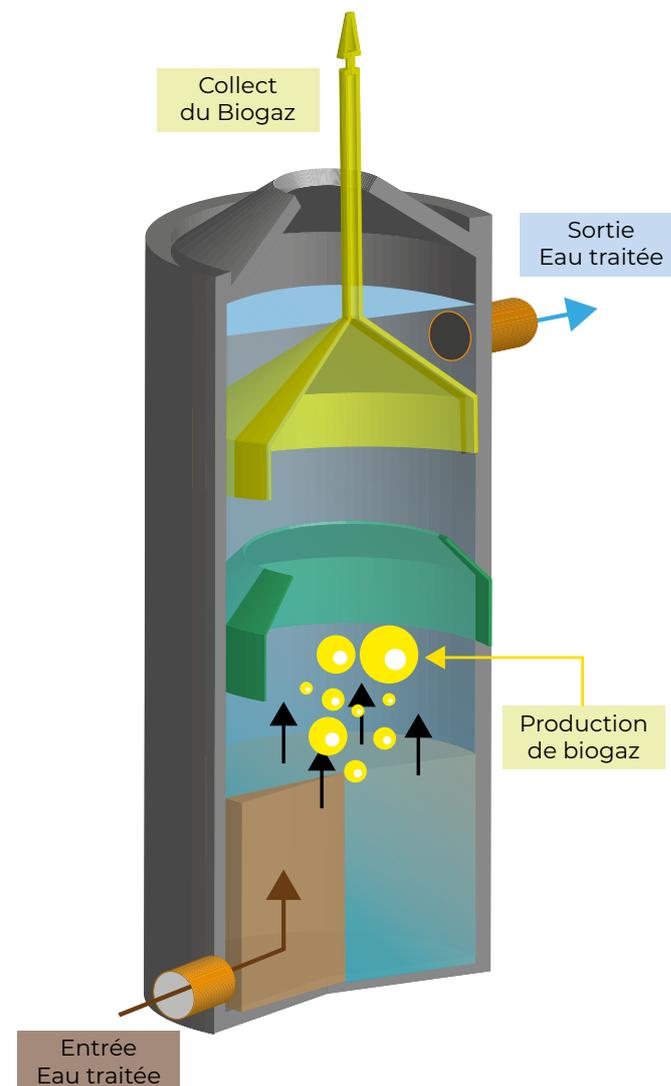


Figure 39 : Principe de fonctionnement d'un UASB

## Remarque préalable :

La feuille de calcul et les formules sont citées ci-dessous. Elles ont été élaborées sur les recommandations incluses dans le ouvrage « Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays en Voie de Développement » (Sasse ; 2009). Son utilisation requiert la compréhension et le respect du fonctionnement suivant :

0° Des valeurs de références et contraintes de minimum ou maximum à respecter sont fixées pour certains paramètres. Il s'agit des :

- Quantité d'eaux usées produite par EH chaque jour = 100 l (arbitraire dans cet exemple)
- Période de réception des eaux usées = 12 h pour une habitation ou 24 h pour un établissement qui serait ouvert 24h sur 24
- TRH dans la fosse : minimum 1,5 h
- Rapport des solides en suspension sur la DCO contenue = 0,4
- Température la plus basse dans le digesteur : considérée à 25 °C en plaines côtières et à 10 - 20 °C en montagne (de plus de 1500 m à 1000 m d'altitude)
- Intervalle d'évacuation des boues : de 24 mois à 48 mois
- Vitesse ascensionnelle des eaux dans les chambres du digesteur : maximum de 0,6 m/h

1° Des données de bases doivent être intégrées par l'opérateur dans le tableur. Ces données sont relatives à la qualité des eaux usées entrantes, à des paramètres environnementaux ou concernent des conditions d'exploitations. Elles sont le résultat de dénombrements, d'analyses chimiques ou de références bibliographiques relatives à des facteurs particuliers (police noire dans le tableau)

3° Le tableur traite les données initiales rentrées en 0°) et 1°) et fournit des résultats concernant la cuve de décantation.

4° Sur base de l'étape 3°, l'opérateur encode/propose des dimensions de fosse qui respectent au mieux ses chiffres et sont adaptés à une mise en œuvre la plus simple possible à la construction de la fosse.

5° L'opérateur propose des paramètres de dimensionnement de la partie digesteur du RAC

6° Le tableur calcule des propositions de dimensionnement du digesteur

7° L'opérateur évalue ces résultats et les incorpore directement ou après adaptation pour établir une configuration finale de la partie digesteur du RAC.

8° Le tableur fournit sur base de 7° les résultats finaux du dimensionnement du digesteur ainsi que les charges de DCO en sortie et la production de Biogaz

Dans les exemples ici décrits, les informations à compléter dans le tableau sont reprises en gras ; les résultats de calcul automatique du tableur restent en caractères conventionnels.

Dans la suite, et pour les deux études de cas, la durée d'alimentation de la fosse d'une habitation privée est fixé (convention de dimensionnement) à 12 heures par jour (cellule B5).

## Remarque

Si nous étions dans la situation d'un commerce ou d'un service qui serait ouvert 24 heures sur 24, nous utiliserions une durée d'alimentation horaire permanente, soit 24

## 1. Etude de Cas N°1 :

Dans le cas d'une petite collectivité dont tous les habitants sont raccordés au système de distribution d'eau et dont les toilettes sont équipées de chasse d'eau, le volume d'eaux usées produites par jour et par habitant (Equivalent-Habitant = EH) est par convention fixé à 100 l/EH. J

Soit une habitation de 5 personnes dont les eaux usées doivent être traitées. Le choix est fait pour la construction d'un RAC dont les dimensions sont à définir à l'aide de la feuille de calcul ici reprise.

Tableau 6 : Feuille de calcul pour réacteur anaérobie compartimentée avec décanteur intégré

flux journalier eaux usées	durée du flux principal	débit de pointe	DCO entrée	DBO5	rapport DCO/ DBO5	rapport MES / DCO	température, mini digesteur	intervalle vidange des boues	TRH dans décanteur (abs. de décanteur TRH = 0)	abattement. DCO dans décanteur
				<b>entrée</b>						
m <sup>3</sup> /d	H	m <sup>3</sup> /h	mg/l	mg/l	ratio	mg/l	°C	mois	heures	%
0,5	12	0,04	861	382	2,25	0,4	20	24	1,5	21,67%
Données de traitement										
Abattement DBO5 dans le décanteur	entrée dans le RAC (partie compartimentée)		Rapport DCO/ DBO après décanteur	facteurs pour le calcul de l'abattement de la DBO					Abattement théorique calculé	DBO sortie
calcul.	DCO	DBO5	calcul.	données tirées des graphes					0,8040	calcul
%	mg/l	mg/l	mg/l/mg/l	f-Surcharge DCO	f-charge DBO5	f-temp	f-compartiment	f- TRH	DCO en sortie (mg/l)	mg/l
22,97%	674,45	294,27	2,292	1,000	0,87	0,91	1,02	1,0000	80,28%	58,029
1,06										1,0269
Dimensions du décanteur										
taux d'abattement DBO5 total	taux d'abattement DCO total	DCO sortie	dimensions internes choisies selon volume requis		Taux d'accumulation des boues	Longueur du décanteur	Longueur du décanteur	Vitesse ascensionnelle max	Nombre compartiment à flux ascensionnels	profondeur à la sortie
calcul.	calcul.	calcul.	Largeur	hauteur	calcul.	calcul.	choisie	choisie	choisi	choisie
%	%	mg/l	m	m	l/gCOD	m	m	m/h	No.	m
84,809%	82,587%	149,93	0,6	1,5	0,00332	0,19	0,6	0,4	5	1,5
Dimensions des compartiments								Status and GP		
Longueur des chambres (ne doit pas dépasser la moitié de la profondeur)	Surface de la partie ascendante d'une chambre	Largeur des compartiments à flux ascendant	Largeur des compartiments à flux ascendant	Vitesse ascendante calculée	Largeur des parties descendantes	volume réel du RAC	Temps de rétention hydraulique (TRH) dans le RAC	Charge en DCO	Production de Biogaz	
calcul.	choisis	calcul.	calcul.	choisis	calcul.	choisis	calcul.	calcul.	calcul.	
m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> .d	m <sup>3</sup> /d
0,75	0,4	0,10 !!!	0,26042	0,2	0,520833	0,25	0,975	44,571	0,692	0,100

Le réacteur anaérobie compartimenté et ses variantes : Guide de dimensionnement et de construction (2018-03-05- Id-boufker, khiyati

– version provisoire)

### Explications et Commentaires :

- La famille produira 500 l d'eaux usées par jour ; soit 0,5 m<sup>3</sup>/j (cellule A5) (Tableau 6)
- Par convention de dimensionnement on fixe une durée d'alimentation de la fosse d'une habitation privée) à 12 heures par jour (cellule B5).
- Le tableur calcule (cellule C5) que le débit moyen horaire d'eaux usées serait de 0,5 m<sup>3</sup>/12h, soit 0,04m<sup>3</sup>/h
- Des analyses ou des tables de références établissent que la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO5) sont respectivement de 861 mg/l (cellule D5) et 382 mg/l (cellule E5) (d'après Boutayeb & al, 2012). Le rapport entre les matières en suspension et la demande chimique en oxygène (cellule G5) est mesuré à 0,4.
- Le tableur calcul le rapport DCO/DBO à 2,25 (cellule F5)
- En fonction des conditions de terrain on considère que la température minimum dans le digesteur atteindra 20 °C pour une installation située en plaine proche des côtes marocaines (cellule H5)
- En pleine exploitation, un entretien régulier avec vidange devra être effectué tous les 2 ans, soit tous les 24 mois (cellule I5)
- Le temps de rétention hydraulique (temps de passage des eaux usées dans le décanteur) sera de 1,5 heures (cellule J5).
- Les taux de diminution de diminution de la DCO totale (cellule K5) et de la DBO totale (cellule A11) sont calculés automatiquement par le tableur sur base du temps de rétention hydraulique préalablement fixé (cellule J5). Le rapport entre les taux de diminution de la COD et de la BOD est calculé directement (cellule A12) (d'après Boutayeb & al, 2012).
- Les éléments repris de la cellule E11 à K11 sont des facteurs de performances du réacteur anaérobie compartimenté. Ceux-ci sont déterminés d'après les graphiques suivant :

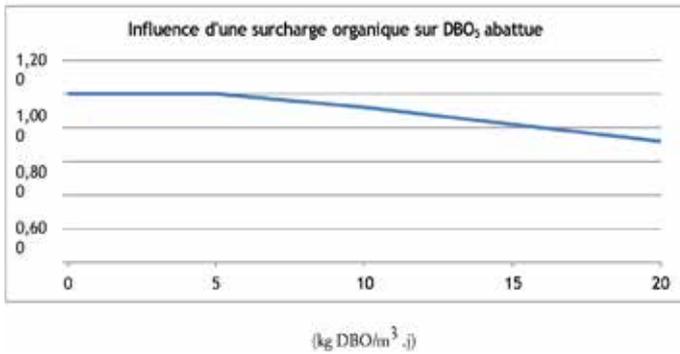


Figure 40 : Abattement de la DBO dans le cas de surcharge organique des RAC.

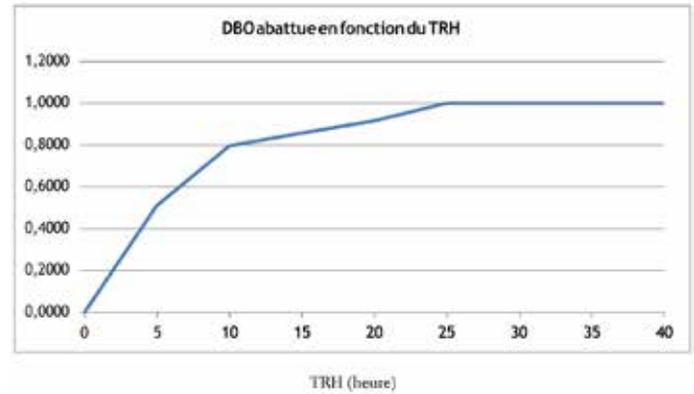


Figure 44 : Abattement de la DBO par rapport au TRH dans les réacteurs anaérobie compartimentés.

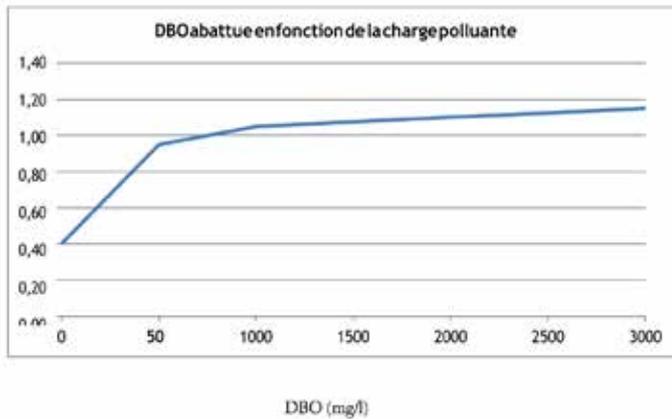


Figure 41 : Abattement de la DBO par rapport à la concentration dans des RAC

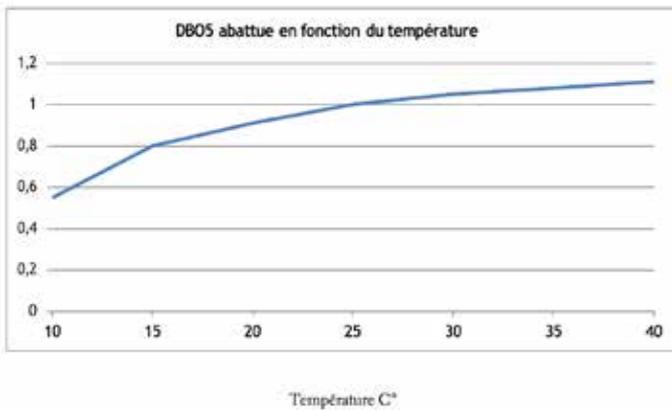


Figure 42 : Effet de la température sur le taux d'abattement de la DBO dans des RAC.

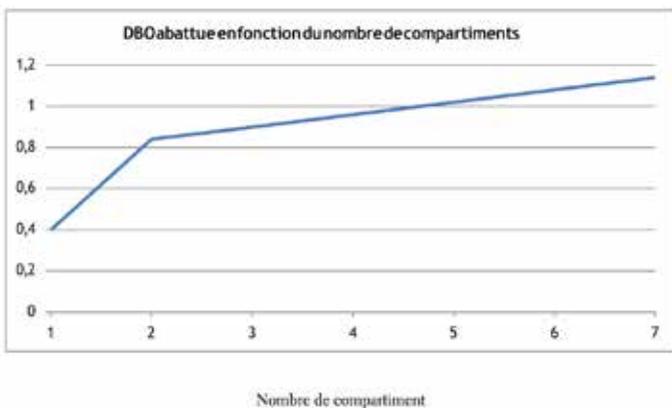


Figure 43 : Effet du nombre des compartiments sur le taux d'abattement de la DBO5.

Les cellules J9, K12 ; A17 à C17 ; F17 et G17 sont calculées détaillées au point 3. (Liste des formules de dimensionnement) et représentent les paramètres relatifs aux rendements de rétention de la BOD et COD obtenus dans le premier compartiment (fosse de décantation du réacteur) ainsi que dans les compartiments du digesteur du RAC et le taux d'accumulation de boues.

Les valeurs intégrées dans les cellules D17, E17 et H17 dimensionnent de manière arbitraire la partie fosse de décantation de sorte à ce qu'elle ait une capacité de réception permettant de recevoir un volume quotidien d'eaux usées de 0,5 m<sup>3</sup> (cf. cellule A5) et lui assurer une durée de rétention hydraulique (TRH) de 1,5 heures (cf. cellule J5) avec une capacité de stockage pour les boues. Il faut, de plus, prendre en compte une ouverture de minimum 0,6 sur 0,6 m pour l'entretien et les vidanges. Ceci est respecté en attribuant à la fosse un volume de 0,54 m<sup>3</sup> avec des dimensions utiles (mesures intérieures) de 1,5 m de hauteur, 0,6 m de largeur et 0,6 m de longueur.

#### Remarque importante

Tant pour la partie fosse que pour les compartiments du réacteur, il est nécessaire de permettre un accès de manutention minimum pour l'entretien et d'éventuelles réparations. Des dimensions minimums de 0,6 m de largeur et de 0,6 m de longueur de la fosse et des compartiments du RAC doivent par conséquent être respectés. Cette contrainte fera que pour un RAC construit en maçonnerie, le volume sera largement surdimensionné pour des installations de capacité de 5 EH à 20 EH. Une alternative permettant d'éviter ce surdimensionnement sera de délaissier une construction globale en maçonnerie du RAC (fosse + digesteur) au profit d'une construction où seule la fosse sera en maçonnerie et les compartiments du digesteur constitués de cuves tubulaires en PVC plus proches des dimensions obtenues par calcul et moins surdimensionnées (voir section 2.2.1. Chapitre 5)

- La vitesse ascensionnelle doit être au maximum 0,6 m/h, ici nous considérerons 0,4 m/h par prudence (cellule I17). Dans ce cas, le nombre de compartiment est fixé à 5 chambres (J17) et la profondeur à 1,5 m (K17).
- Ces dimensionnements fixés a priori seront confrontés aux résultats obtenus par calcul en F23.
- La longueur des chambres est au maximum la moitié de la hauteur, nous choisirons pour notre faible débit une longueur de 40 cm (cellule B23 = 0,40 m), la surface

libre de liquide de chaque compartiment (cellule C23 = 0,1 m<sup>2</sup>) et la largeur des compartiments (cellule D23 = 0.26 m) représentent les mesures minimums que les compartiments du digesteur doivent avoir sur base de la profondeur choisie pour ceux-ci en K17.

- Bien que les valeurs obtenues respectent la vitesse ascendante maximum recommandée, les compartiments seraient largement surdimensionnés afin de respecter le minimum de largeur de 0,2 m (cellule E23) (cf. Remarque importante ci-avant). Le volume du réacteur (cellule H23) est de 0,975 m<sup>3</sup>. Une alternative à ce surdimensionnement excessif serait de diminuer la hauteur des compartiments du réacteur et/ou de diminuer le nombre de ses compartiments tout en respectant les conditions de vitesse ascendante < 0,6 m/h, de largeur de compartiment > 0,6 m et des rendements désirés de diminution de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> supérieurs à 80 % (cellules A17 et B17)

Tableau 7 : Valeurs recommandées par le calcul initial :

Longueur des chambres (ne doit pas dépasser la moitié de la profondeur)		Surface de la partie ascendante d'une chambre	Largeur des compartiments à flux ascendant		Vitesse ascendante calculée	Largeur des parties descendantes	volume réel du RAC	Temps de rétention hydraulique (TRH) dans le RAC	Charge en DCO	Production de Biogaz
calcul.	choisis	calcul.	calcul.	choisis	calcul.	choisis	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.
m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> .d	m <sup>3</sup> /d
0,75	0,4	0,10	0,26042	0,2	0,520833	0,25	0,975	44,571	0,692	0,100

Tableau 8 : Variante avec 0,6 m de largeur de compartiment :

Longueur des chambres (ne doit pas dépasser la moitié de la profondeur)		Surface de la partie ascendante d'une chambre	Largeur des compartiments à flux ascendant		Vitesse ascendante calculée	Largeur des parties descendantes	volume réel du RAC	Temps de rétention hydraulique (TRH) dans le RAC	Charge en DCO	Production de Biogaz
calcul.	choisis	calcul.	calcul.	choisis	calcul.	choisis	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.
m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> .d	m <sup>3</sup> /d
0,75	0,6	0,10	0,17361	0,6	0,115741	0,25	3,825	174,857	0,176	0,100

- Alternative n° 1 : modification du nombre de compartiments (5 => 4).
- Dans ce cas, cette solution ne permet pas de conserver un traitement suffisamment efficace d'après les calculs.
- Alternative avec n°2 diminuer la hauteur des compartiments (1,5 m => 1 m) avec la même longueur et largeur de compartiment (0,6 m)

Tableau 9 : Solution retenue :

Longueur des chambres (ne doit pas dépasser la moitié de la profondeur)		Surface de la partie ascendante d'une chambre	Largeur des compartiments à flux ascendant		Vitesse ascendante calculée	Largeur des parties descendantes	volume réel du RAC	Temps de rétention hydraulique (TRH) dans le RAC	Charge en DCO	Production de Biogaz
calcul.	choisis	calcul.	calcul.	choisis	calcul.	choisis	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.
m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> .d	m <sup>3</sup> /d
0,5	0,6	0,10	0,17361	0,6	0,115741	0,25	2,55	116,571	0,264	0,100

Cette dernière alternative limite l'augmentation du volume total du réacteur à 2,55 m<sup>3</sup> et autorise des rendements de diminution de la DCO et DBO<sub>5</sub> de 83,36 % et 85,44 %.

Le volume de biogaz produit apparait cependant comme relativement faible avec 0,112 m<sup>3</sup>/jour (cellule K23)

La production de Biogaz par EH et la consommation de Biogaz par des équipements courants (cf. 5.1.3. chapitre 3, Calcul des consommations de biogaz) indiquent qu'une utilisation du biogaz produit n'est pas à envisager en dessous d'une production quotidienne de 1 m<sup>3</sup>, soit pour un RAC traitant les eaux usées d'une collectivité de 50 EH.

Les résultats du calcul de réacteur anaérobie compartimenté pour cette habitation de 5 personnes sont regroupés dans le tableau 8 ci-joint.

Tableau 10 : Feuille de calcul pour réacteur anaérobie compartimentée avec décanteur intégré (finale)

flux journalier eaux usées	durée du flux principal	débit de pointe	DCO entrée	DBO5	rapport DCO/ DBO5	rapport MES / DCO	température, mini digesteur	intervalle vidange des boues	TRH dans décanteur (abs. de décanteur TRH = 0)	abattement DCO dans décanteur
m <sup>3</sup> /d	H	m <sup>3</sup> /h	mg/l	mg/l	ratio	mg/l	°C	mois	heures	%
0,5	12	0,04	861	382	2,25	0,4	20	24	1,5	21,67%
Données de traitement										
Abattement DBO5 dans le décanteur	entrée dans le RAC (partie compartimentée)		Rapport DCO/ DBO après décanteur	facteurs pour le calcul de l'abattement de la DBO					Abattement théorique calculé	DBO sortie
calcul.	DCO	DBO5	calcul.	données tirées des graphes					0,8040	calcul
• %	mg/l	mg/l	mg/l/mg/l	f-Surcharge DCO	f-charge DBO5	f-temp	f-compartiment	f-TRH	applied	mg/l
22,97%	674,45	294,27	2,292	1,000	0,87	0,91	1,02	1,0000	0,8028	58,029
1,06										1,0269
Dimensions du décanteur										
taux d'abattement DBO5 total	taux d'abattement DCO total	DCO sortie	dimensions internes choisies selon volume requis		Taux d'accumulation des boues	Longueur du décanteur	Longueur du décanteur	Vitesse ascensionnelle max	Nombre compartiment à flux ascensionnels	profondeur à la sortie
calcul.	calcul.	calcul.	Largeur	hauteur	calcul.	calcul.	choisie	choisie	choisi	choisie
%	%	mg/l	m	m	l/gCOD	m	m	m/h	No.	m
84,809%	82,587%	149,93	0,6	1	0,00332	0,28	0,6	0,4	5	1
Dimensions des compartiments								Status and GP		
Longueur des chambres (ne doit pas dépasser la moitié de la profondeur)	Surface de la partie ascendante d'une chambre	Largeur des compartiments à flux ascendant	Largeur des compartiments à flux ascendant	Vitesse ascendante calculée	Largeur des parties descendantes	volume réel du RAC	Temps de rétention hydraulique (TRH) dans le RAC	Charge en DCO	Production de Biogaz	
calcul.	choisis	calcul.	calcul.	choisis	calcul.	choisis	calcul.	calcul.	calcul.	
m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> .d	m <sup>3</sup> /d
0,5	0,5	0,10	0,17361	0,6	0,115741	0,25	2,55	116,571	0,264	0,100

## 2. Etude de cas N °2 :

Soit une collectivité de de 100 personnes dont les eaux usées doivent être traitées. Le choix est fait pour la construction d'un RAC dont les dimensions sont à définir à l'aide de la feuille de calcul ici reprise.

### Explications et Commentaires :

Pour cette étude, les données de traitement ainsi que les résultats de calcul du réacteur anaérobie compartimenté, sont regroupés au niveau du tableau 8.

- La production totale d'eau usée sera de 100 l/EH. J multiplié par 100 EH ; soit 10 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour (cellule A5)
- Le tableur calcule (cellule C5) que le débit moyen horaire d'eaux usées serait de 10 m<sup>3</sup>/12, soit 0,83m<sup>3</sup>/h
- Des analyses ou des tables de références établissent que la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO5) sont respectivement de 861 mg/l (cellule D5) et 382 mg/l (cellule E5) (d'après Boutayeb & al, 2012). Le rapport entre les matières en suspension et la demande chimique en oxygène (cellule G5) est mesuré à 0,4.
- A partir de ces données, le tableur calcule le rapport DCO/DBO à 2,25 (cellule F5)
- En fonction des conditions de terrain, on considère que la température minimum dans le digesteur atteindra 20 °C pour une installation située en plaine proche des côtes marocaines (cellule H5).

- En pleine exploitation, un entretien régulier avec vidange devra être effectué tous les 2 ans, soit tous les 24 mois (cellule I5).
- Le temps de rétention hydraulique (TRH) (temps de passage des eaux usées dans le décanteur) sera de 1,5 heures (cellule J5).
- Les taux de diminution de la DCO totale (cellule K5) et de la DBO totale (cellule A11) sont calculés automatiquement par le tableur sur base du temps de rétention hydraulique préalablement fixé (cellule J5). Le rapport entre les taux de diminution de la COD et de la BOD est calculé directement (cellule A12).
- Les éléments repris de la cellule E11 à K11 sont des facteurs de performances du réacteur anaérobie compartimenté. Ceux-ci sont déterminés d'après les figures (16, 17, 18, 19,20) ci-haut.
- Les cellules J9, K12 ; A17 à C17 ; F17 et G17 sont calculées détaillées au point 3. (Liste des formules de dimensionnement) et représentent les paramètres relatifs aux rendements de rétention de la BOD et COD obtenus dans le premier compartiment (fosse de décantation du réacteur) ainsi que dans les compartiments du digesteur du RAC et le taux d'accumulation de boues.
- Les valeurs intégrées dans les cellules D17, E17 et H17 dimensionnent de manière arbitraire la partie fosse de décantation de sorte à ce qu'elle ait une capacité de réception permettant de recevoir un volume quotidien d'eaux usées de 10 m<sup>3</sup> par jours (cf. cellule A5) et lui assurer une durée de rétention hydraulique (TRH) de 1,5 heures (cf. cellule J5) avec une capacité de stockage pour les boues. Il faut, de plus, prendre en compte une ouverture de minimum 0,6 sur 0,6 m pour l'entretien et les vidanges. Ceci est respecté en attribuant à la fosse un volume de 3.45 m<sup>3</sup> avec des dimensions utiles (mesures intérieures) de 1.5 m de hauteur (cellule E18), 1 m de largeur (cellule D18) et 2.3 m de longueur (cellule H18).
- La vitesse ascensionnelle doit être au max. de 0.6 m/h (cellule I17). Dans ce cas, le nombre de compartiment est fixé à 5 chambres (J17) et la profondeur à 1.5 m (K17).
- Ces dimensionnements fixés a priori seront confrontés aux résultats obtenus par calcul en F23.
- La longueur des chambres est au maximum la moitié de la hauteur, soit 0.75m (cellule A23). Les cellules C23 et D23 représentent respectivement les surfaces et les largeurs minimums que les compartiments du digesteur doivent avoir sur base de la profondeur choisie pour respecter une vitesse ascensionnelle inférieure à 0.6 m/h.
- Sur base de ces données, la longueur et la largeur des compartiments sont choisis. Dans ce cas, la largeur est de 2 m (cellule E23) et la longueur est de 0.75 m (cellule B23).
- Les cellules A17 et B17 indiquent les performances épuratoire du RAC. Dans ce cas, elles sont de 84,89% pour la DBO5 (cellule A17) et de 82,73% pour la DCO (cellule B17).
- Les performances épuratoire sont liées à : la nature des eaux à traiter, la température, au TRH et au nombre de compartiment. Pour un type d'eau usée et à une température donnée, il est possible d'améliorer les performances épuratoire du RAC en augmentant le TRH (augmentation du volume des compartiments) ou en augmentant le nombre de compartiments à flux ascendant.
- Le volume de biogaz produit apparaît cependant comme relativement faible avec 0,112 m<sup>3</sup>/jour (cellule K23).
- La production de Biogaz par EH et la consommation de Biogaz par des équipements courants (cf. 5.1.3 Chapitre 3, Calcul des consommations de biogaz) indiquent qu'une utilisation du biogaz produit n'est pas à envisager en dessous d'une production quotidienne de 1 m<sup>3</sup>, soit pour un RAC traitant les eaux usées d'une collectivité de 50 EH.

flux journalier eaux usées	durée du flux principal	débit de pointe	DCO entrée	DBO5	rapport DCO/ DBO5	rapport MES / DCO	température, mini digesteur	intervalle vidange des boues	TRH dans décanteur (abs. de décanteur TRH = 0)	abattement. DCO dans décanteur
m <sup>3</sup> /d	H	m <sup>3</sup> /h	mg/l	mg/l	ratio	mg/l	°C	months	heures	%
10	12	0,83	861	382	2,25	0,42	20	24	1,5	22,75%
Données de traitement										
Abattement DBO5 dans le décanteur	entrée dans le RAC (partie compartimentée)		Rapport DCO/ DBO après décanteur	facteurs pour le calcul de l'abattement de la DBO					Abattement théorique calculé	DBO sortie
calcul.	COD	BOD5	calcul.	Données tirées des graphes					0,8013	calcul.
%	mg/l	mg/l	mg/l	f-Surcharge DCO	f-charge DBO5	f-temp	f-compartiment	f-TRH	applied	mg/l

24,12%	665,12	289,88	2,294	1,000	0,86	0,91	1,02	1,0000	80,09%	57,72
1,06	<- COD/ BOD removal factor			COD/BOD removal factor ->	1,03					1,0269
Dimensions du décanteur							Compartment			
taux d'abattement DBO5 total	taux d'abattement DCO total		dimensions internes choisies selon volume requis		Taux d'accumulation des boues	Longueur du décanteur	Longueur du décanteur	Vitesse ascensionnelle max	Nombre compartiment à flux ascensionnels	profondeur à la sortie
calcul.	calcul.	calcul.	Largeur	Hauteur	calcul.	calcul.	choisis	choisis	choisis	choisis
%	%	mg/l	m	m	l/gCOD	m	m	m/h	No.	m
84,89%	82,73%	148,67	1	1,5	0,00332	2,30	2,3	0,60	5	1,5
Dimensions des compartiments							Status and GP			
Longueur des chambres (ne doit pas dépasser la moitié de la profondeur)	Surface de la partie ascendante d'une chambre	Largeur des compartiments à flux ascendant		Vitesse ascendante calculée	Largeur des parties descendantes	volume réel du RAC	Temps de rétention hydraulique (TRH) dans le RAC	Charge en DCO	Production de Biogaz	
calcul.	choisis	calcul.	calcul.	choisis	calcul.	choisis	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.
m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> .d	m <sup>3</sup> /d
0,75	0,75	1,39	1,85	2	0,56	0,25	15	34,29	0,89	2,008

### Liste des formules de la feuille de calcul pour le réacteur anaérobie compartimenté :

- $C5=A5/B5$   $F5=D5/E5$
- $K5=G5/0,6*SI(J5<1;J5*0,3;SI(J5<3;(J5-1)*0,1/2+0,3;SI(J5<30;(J5-3)*0,15/27+0,4;0,55)))$
- $A11=K5*A12$
- $B11=D5*(1-K5)$
- $C11=E5*(1-A11)$   $D11=B11/C11$
- $E11 =SI(J23<6;1;1-(J23-6)*0,28/14$

La formule se réfère à la Fig. 41.

- $F11=SI(C11<150;C11*0,37/150+0,4;SI(C11<300;(C11-150)*0,1/150+0,77;SI(C11<500;(C11-300)*0,08/200+0,87;SI(C11<1000;(C11-500)*0,1/500+0,95;SI(C11<3000;(C11-1000)*0,1/2000+1,05;1,15))))))$

• La formule se réfère à la Fig. 42.

- $G11=SI(H5<15;(H5-10)*0,25/5+0,55;SI(H5<20;(H5-15)*0,11/5+0,8;SI(H5<25;(H5-20)*0,09/5+0,91;SI(H5<30;(H5-25)*0,05/5+1;(H5-30)*0,03/5+1,05))))$

• La formule se réfère à la Fig. 43.

- $H11=SI(J17=1;0,4;SI(J17=24;0,7;SI(J17=3;0,9;(J17-3)*0,06+0,9)))$

La formule se réfère à la Fig. 44.

- $I11=SI(I23<5;I23*0,51/5;SI(I23<10;(I23-5)*0,31/5+0,51;SI(I23<25;(I23-12)*0,18/15+0,82;1)))$

La formule se réfère à la Fig.11.

- $J9=E11*F11*G11*H11*I11$
- $J11=SI(J9<0,8;J9;SI(J9*(1-0,37*((J9)-0,8))<0,95;J9*(1-0,37*((J9)-0,8));0,95))$
- La formule limite l'efficacité du traitement à des valeurs réalistes
- $K11=(1-J11)*C11$
- $A12=SI(K5<0,5;1,06;SI(K5<0,75;(K5-0,5)*0,065/0,25+1,06;SI(K5<0,85;1,125-(K5-0,75)*0,1/0,1,-1,025)))$

Facteur lié à l'abattement de la DBO5 en fonction de la DCO dans le décanteur.

- $K12=SI(A17<0,5;1,06;SI(A17<0,75;(A17-0,5)*0,065/0,25+1,06;SI(A17<0,85;1,125-(A17-0,75)*0,1/0,1,-1,025)))$

Facteur lié à l'abattement de la DBO5 en fonction de la DCO dans le RAC.

- $A17=1-K11/E5$
- $B17=A17/K12$

- $C17=(1-B17)*D5$
- $F17=0,005*SI(I5<36;1-15*0,014;SI(I5<120;0,5-(15-36)*0,002;1/3))$
- $G17=SI(A1>0;SI(F17*(E5-C11)/1000*30*15*A5+J5*C5<2*J5*C5;2*J5*C5;F17*(E5-C11)/1000*30*15*A5+J5*C5);0)/D17/E17$

La formule tient compte du fait que le volume des boues ne doit pas dépasser la moitié du volume total et autorise que l'on se passe de décanteur.

$$A23=K17*0,5 \quad C23=C5/I17$$

$$D23=C23/B23$$

$$F23=C5/B23/E23$$

$$H23=(G23+B23)*J17*K17*E23 \quad I23=H23/(A5/24)/105\%$$

$$J23=C11 * C5 * 24 / H23 / 1000$$

$$K23=(D5-K11) * A5 * 0,35 / 1000 / 0,7 * 0,5$$

La réduction d'1 kg de la DCO entraîne la production de 350 litres de méthane.

3. a. Figures et profils relatifs à la construction des modèles d'installation du RAC :

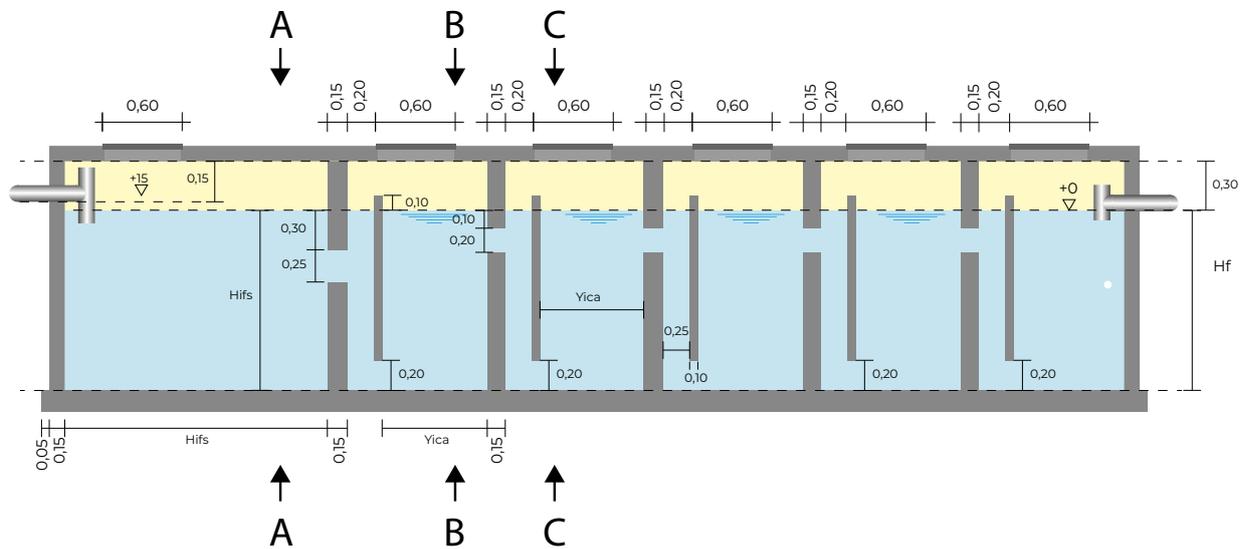


Figure 45 : RAC (d'après DEWAT) : Vue de profil

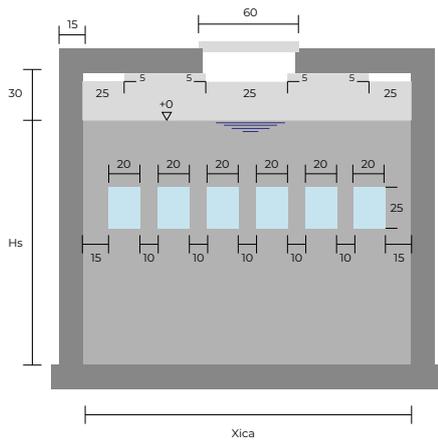


Figure 46 : RAC (d'après DEWAT) : coupe frontale A du premier compartiment

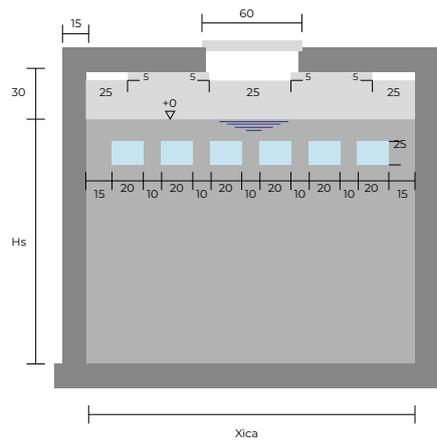


Figure 47 : RAC (d'après DEWAT) : coupe frontale B compartiment à flux ascendant

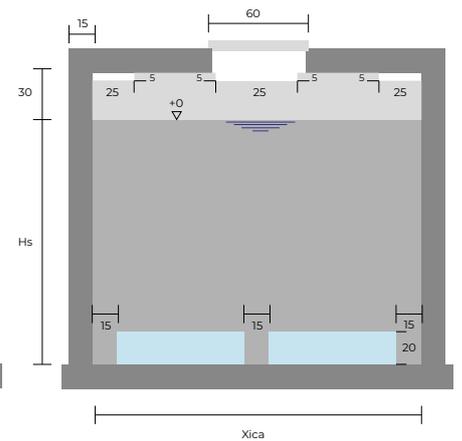


Figure 48 : RAC (d'après DEWAT) : coupe frontale C compartiment à flux ascendant

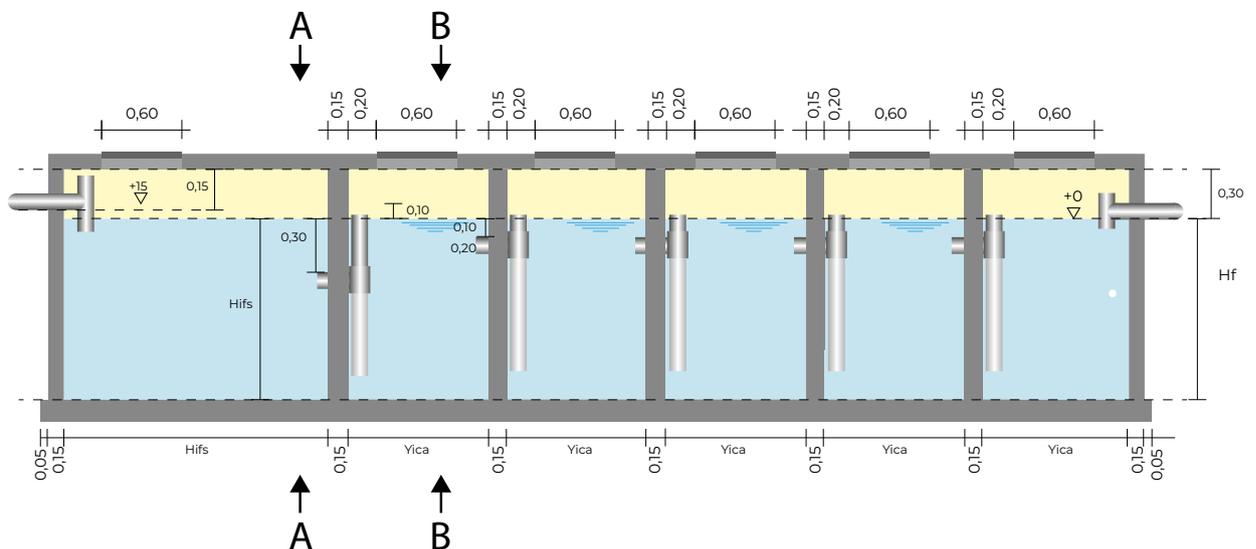


Figure 49 : RAC à compartiment descendant tubulaire : Vue de profil

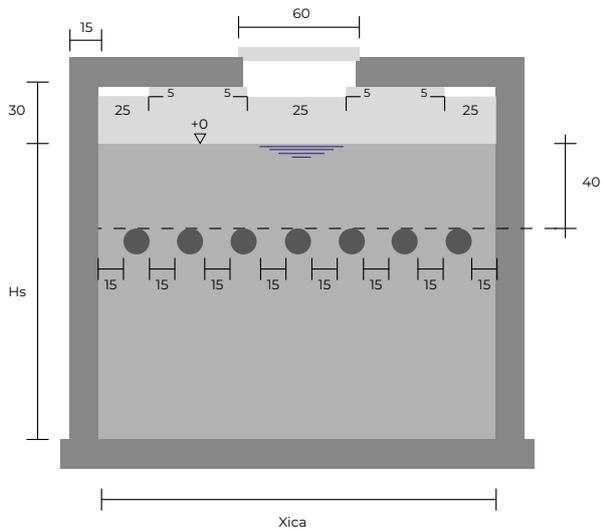


Figure 50 : RAC à compartiment descendant tubulaire : coupe frontale A compartiment à flux ascendant

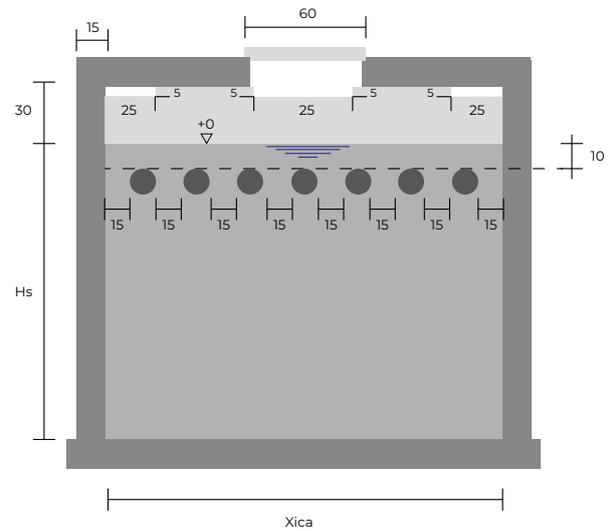


Figure 51 : RAC à compartiment descendant tubulaire : coupe frontale C compartiment à flux ascendant

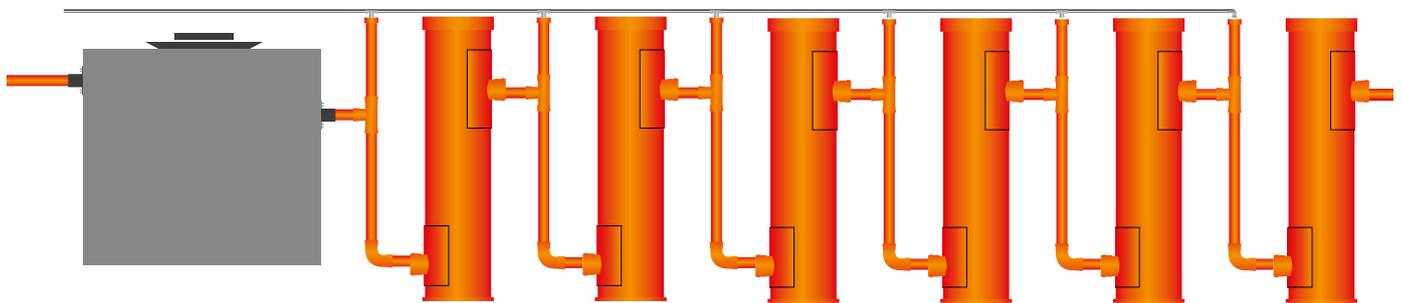


Figure 52 : RAC simplifié: Configuration linéaire (vue générale)

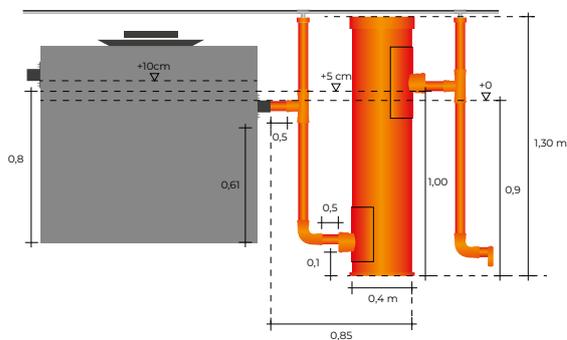


Figure 53 : Dimensions des éléments à flux ascendant

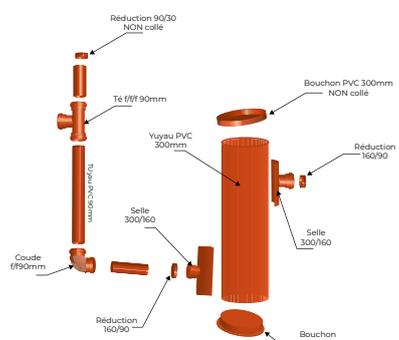


Figure 54 : Assemblage des éléments à flux ascendant

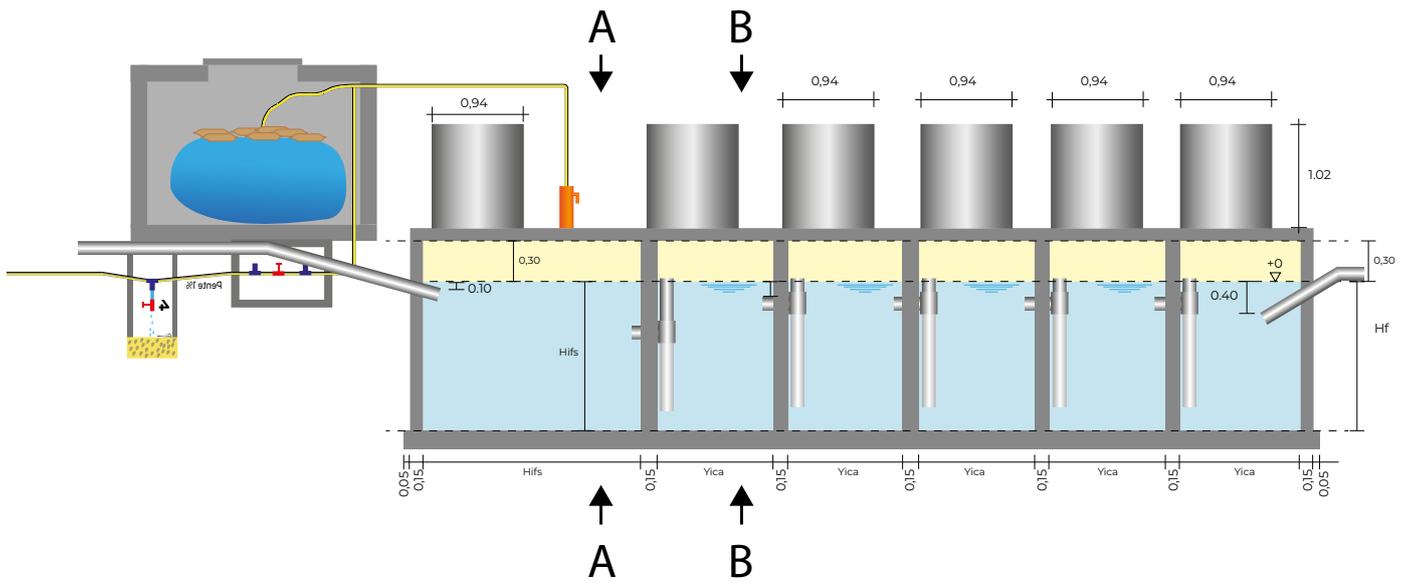


Figure 55

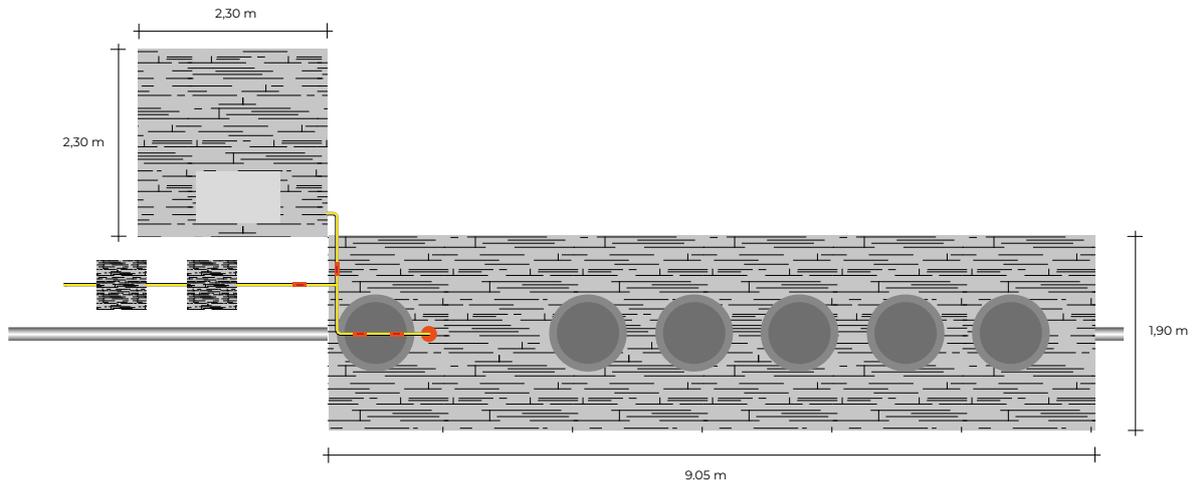


Figure 56

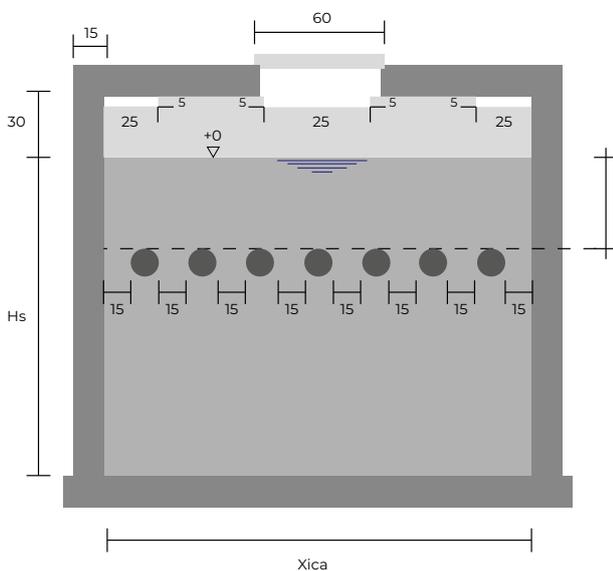


Figure 57 : RAC adapté à la production de biogaz : coupe frontale A compartiment à flux ascendant

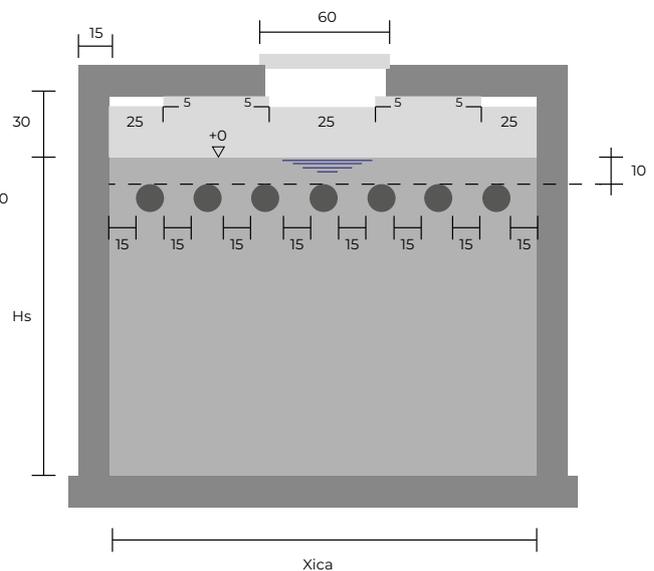


Figure 58 : RAC adapté à la production de biogaz : coupe frontale B compartiment à flux ascendant

### 3. b. Tableaux relatifs aux dimensions de construction des modèles RAC :

Tableau 12 : Correspondances entre les dimensions de construction simplifiées (tableau 12) et la Feuille de calcul (tableau 10)

	EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	Performance épuration (DBO5)	Largeur du décanteur	Hauteur du décanteur	Longueur décanteur	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	Longueur des compartiments à flux ascendant	Largeur des compartiments à flux ascendant	Surface par compartiment à flux ascendant	Volume total des compartiments à flux ascendant	TRH des compartiments à flux ascendant
Dimensions de construction				Xifs	Hifs	Yifs		Hs	Xica	Yica			
	Nbre	m³/d	mg/l	m	m	m	Nbr	m	m	m	m2	m³	h
Cellules correspondant es dans Feuille de calcul pour réacteur anaérobie		A5	A17	D17	E17	H17	J17	K17	B23	E23	B23 X E23	H23	I23

Tableau 13 : Dimensions de construction simplifiées d'un RAC (d'après Sasse 2009 ; DEWATS)

Nombre d' EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	Performance épuration (DBO5)	Largeur du compartiment 1	Hauteur du compartiment 1	Longueur compartiment 1	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	Longueur des compartiments à flux ascendant	Largeur des compartiments à flux ascendant	Surface par compartiment à flux ascendant	Volume total des compartiments à flux ascendant	TRH des compartiments à flux ascendant
			Xifs	Hifs	Yifs		Hs	Xica	Yica			
Nbre	m³/d	mg/l	m	m	m	Nbr	m	m	m	m2	m³	h
5	0,5	88,09%	1	1	1	5	1,00	0,3	0,50	0,47	1,375	63
10	1	88,09%	1	1	1	5	1,00	0,5	0,50	0,79	1,875	43
20	2	88,09%	1	1,2	1	5	1,20	0,5	0,50	1,57	2,25	26
30	3	88,09%	1,5	1,5	1	5	1,50	0,75	0,50	2,36	3,75	29
40	4	88,09%	1,5	1,5	1	5	1,50	0,75	1,00	0,75	7,5	43
50	5	88,09%	1,5	1,5	1,5	5	1,50	0,75	1,00	0,75	7,5	34
60	6	88,09%	1,5	1,5	1,5	5	1,50	0,75	1,00	0,75	7,5	29
70	7	88,09%	1,5	1,5	1,8	5	1,50	0,75	1,20	0,90	9	29
80	8	88,09%	1,5	1,5	2	5	1,50	0,75	1,50	1,13	11,25	32
90	9	88,09%	1,5	1,5	2,3	5	1,50	0,75	1,50	1,13	11,25	29
100	10	88,09%	1,5	1,5	2,5	5	1,50	0,75	1,50	1,13	11,25	26
110	11	86,14%	2	1,5	2	5	1,50	0,75	1,50	1,13	11,25	23
120	12	88,09%	2	1,5	2,5	5	1,50	0,75	2,00	1,50	15	29
130	13	88,09%	2	1,5	2,5	5	1,50	0,75	2,00	1,50	15	26
140	14	86,75%	2	1,5	2,5	5	1,50	0,75	2,00	1,50	15	24
150	15	88,09%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	2,50	1,88	18,75	29
160	16	88,09%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	2,50	1,88	18,75	27
170	17	88,09%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	2,50	1,88	18,75	25
180	18	86,38%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	2,50	1,88	18,75	24
190	19	88,09%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	3,00	2,25	22,5	27
200	20	88,09%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	3,00	2,25	22,5	26
210	21	86,75%	2	1,5	3	5	1,50	0,75	3,00	2,25	22,5	24
220	22	90,58%	2	1,5	3	6	1,50	0,75	3,00	2,25	27	28
230	23	90,58%	2	1,5	3	6	1,50	0,75	3,00	2,25	27	27
240	24	90,58%	2	1,5	3	6	1,50	0,75	3,00	2,25	27	26
250	25	89,35%	2	1,5	3	6	1,50	0,75	3,00	2,25	27	25

Tableau 14 : Correspondances entre les dimensions de construction simplifiées (tableau 12) et la Feuille de calcul (tableau 10)

	EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	Performance épuratoire (DBO5)	Largeur du décanteur	Longueur décanteur	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	Longueur des compartiments à flux ascendant	Largeur des compartiments à flux ascendant	Surface par compartiment à flux ascendant	Volume total des compartiments à flux ascendant	TRH des compartiments à flux ascendant
Dimensions de construction				Xifs	Yifs		Hs	Xica	Yica			
	Nbre	m³/d	mg/l	m	m	Nbr	m	m	m	m2	m³	h
Cellules correspondant es dans Feuille de calcul pour réacteur anaérobie		A5	A17	D17	H17	J17	K17	B23	E23	B23 X E23	H23	I23

Tableau 15 : Dimension de construction d'un RAC à compartiment descendant tubulaire

Nombre d' EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	Performance épuratoire (DBO5)	Largeur du décanteur	Longueur décanteur	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	Longueur des compartiments à flux ascendant	Largeur des compartiments à flux ascendant	Volume total des compartiments à flux ascendant	TRH des compartiments à flux ascendant
			Xifs	Yifs		Hs	Xica	Yica		
Nbre	m³/d	%	m	m	Nbre	m	m	m	m³	h
5	0,5	88,09%	0,7	1,00	5	1,00	0,55	0,50	1,375	63
10	1	88,09%	1	1,00	5	1,00	0,75	0,50	1,875	43
20	2	88,09%	1	1,00	5	1,20	0,75	0,50	2,25	26
30	3	88,09%	1,5	1,00	5	1,50	1	0,50	3,75	29
40	4	88,09%	1,5	1,00	5	1,50	1	1,00	7,5	43
50	5	88,09%	1,5	1,50	5	1,50	1	1,00	7,5	34
60	6	88,09%	1,5	1,50	5	1,50	1	1,00	7,5	29
70	7	88,09%	1,5	1,80	5	1,50	1	1,20	9	29
80	8	88,09%	1,5	2,00	5	1,50	1	1,50	11,25	32
90	9	88,09%	1,5	2,30	5	1,50	1	1,50	11,25	29
100	10	88,09%	1,5	2,50	5	1,50	1	1,50	11,25	26
110	11	86,14%	2	2,00	5	1,50	1	1,50	11,25	23
120	12	88,09%	2	2,50	5	1,50	1	2,00	15	29
130	13	88,09%	2	2,50	5	1,50	1	2,00	15	26
140	14	86,75%	2	2,50	5	1,50	1	2,00	15	24
150	15	88,09%	2	3,00	5	1,50	1	2,50	18,75	29
160	16	88,09%	2	3,00	5	1,50	1	2,50	18,75	27
170	17	88,09%	2	3,00	5	1,50	1	2,50	18,75	25
180	18	86,38%	2	3,00	5	1,50	1	2,50	18,75	24
190	19	88,09%	2	3,00	5	1,50	1	3,00	22,5	27
200	20	88,09%	2	3,00	5	1,50	1	3,00	22,5	26
210	21	86,75%	2	3,00	5	1,50	1	3,00	22,5	24
220	22	90,58%	2	3,00	6	1,50	1	3,00	27	28
230	23	90,58%	2	3,00	6	1,50	1	3,00	27	27
240	24	90,58%	2	3,00	6	1,50	1	3,00	27	26
250	25	89,35%	2	3,00	6	1,50	1	3,00	27	25

Tableau 16 : Correspondances entre les dimensions de construction simplifiées (tableau 14) et la Feuille de calcul (tableau 10)

	Nombre d' EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	Performance épuratoire (DBO5)	Hauteur à l'entrée du premier compartiment	Hauteur à la sortie du premier compartiment	Nombre de Cubi de 1 m3	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	Section du tube à flux ascendant	Nombre par rangées	Vitesse ascendante calculée	TRH des compartiments à flux ascendant
Dimensions de construction				Hefs	Hsfs	Yifs		Hs	Sta			
	Nbre	m³/d	mg/l	m	m	m	Nbre	m	m	Nbre	m/h	h

Cellules correspondant es dans Feuille de calcul pour réacteur anaérobie	A5	A17	Valeurs imposé par l'utilisation de cubitainer	Choisis pour respecter le temps de séjour	J17	K17	Valeurs standards	Choisis pour respecter une vitesse ascendante < 0,6 m/h en fonction du débit	123
--	----	-----	--	---	-----	-----	-------------------	--	-----

Tableau 17 : RAC Simplifié tubulaire : Dimensions et rendements

Nombre d' EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	Performance épuratoire (DBO5)	Hauteur à l'entrée du premier compartiment	Hauteur à la sortie du premier compartiment	Nombre de Cubi de 1 m3	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	Section du tube à flux ascendant	Nombre par segment	Vitesse ascendante calculée	TRH des compartiments à flux ascendant
			Hefs	Hsfs	Yifs		Hs	Sta			
Nbre	m³/d	mg/l	m	m	m	Nbre	m	m	Nbre	m/h	<b>h</b>
5	0,5	90,58%	0.8	0.61	1	6	1.2	0,3	1	0,59	<b>29</b>
10	1	90,58%	0.8	0.61	1	6	1,5	0,4	1	0,66	26
20	2	90,58%	0.8	0.61	2	6	1,5	0,4	2	0,66	26
30	3	85,14%	0.8	0.61	3	6	1,5	0,4	2	1,00	17
40	4	86,39%	0.8	0.61	4	6	1,5	0,4	3	0,88	19
50	5	87,13%	0.8	0.61	5	6	1,5	0,4	4	0,83	21
60	6	85,14%	0.8	0.61	6	6	1,5	0,4	4	1,00	17

Tableau 18 : RAC adapté à la production de biogaz ; dimensions et rendements

Nombre d' EH	Débit journalier d'eaux usées (Qj)	taux de diminution de la DBO totale	Largeur du premier compartiment	hauteur du premier compartiment	longueur compartiment 1	Nombre de compartiment à flux ascendant	Hauteur à la sortie	longueur des compartiments à flux ascendant	largeur des compartiments à flux ascendant	TRH des compartiments à flux ascendant	Production de biogaz
			Xifs	Hifs	Yifs		Hs	Xica	Yica		
Nbr	m³/d	%	m	m	m	Nbr	m	m	m	h	m³/d
100	10	88,09%	1,5	1,5	2,50	5	1,50	1	1,50	26	2,27
110	11	86,14%	2	1,5	2,50	5	1,50	1	1,50	23	2,48
120	12	88,09%	2	1,5	2,50	5	1,50	1	2,00	29	2,72
130	13	88,09%	2	1,5	2,50	5	1,50	1	2,00	26	2,95
140	14	86,75%	2	1,5	2,50	5	1,50	1	2,00	24	3,16
150	15	88,09%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	2,50	29	3,41
160	16	88,09%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	2,50	27	3,63
170	17	88,09%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	2,50	25	3,86
180	18	86,38%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	2,50	24	4,06
190	19	88,09%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	3,00	27	4,31
200	20	88,09%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	3,00	26	4,54
210	21	86,75%	2	1,5	3,00	5	1,50	1	3,00	24	4,74
220	22	90,58%	2	1,5	3,00	6	1,50	1	3,00	28	5,04
230	23	90,58%	2	1,5	3,00	6	1,50	1	3,00	27	5,27
240	24	90,58%	2	1,5	3,00	6	1,50	1	3,00	26	5,50
250	25	89,35%	2	1,5	3,00	6	1,50	1	3,00	25	5,70

## Bibliographiques

Foxon, K.M.; Pillay, S.; Lalbahadur, T.; Rodda, N.; Holder, F.; Buckley, C.A. (2004): The anaerobic baffled reactor (ABR)- An appropriate technology for on-site sanitation.. In: *Water SA* 30, 5.

Morel, A.; Diener, S. (2006): Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC). Overseas Research and Development Association (BORDA).

Tilley, E.; Luethi, C.; Morel, A.; Zurbrugg, C.; Schertenleib, R. (2008): Compendium of Sanitation Systems and Technologies. Duebendorf and Geneva: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG)

WANG, J.; HUANG, Y.; ZHAO, X. (2004): Performance and Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor. *Bioresource Technology* 93, 205–208.

Barber, W.P.; Stuckey D.C. The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: A review. *Wat. Res* 33, 7. (1999):

Franceys, Pickford J. & Reed R. *Guide de l'assainissement individuel*, Organisation mondiale de la santé. 1995

KM Foxon, CA Buckley, CJ Brouckaert, P Dama, Z Mtembu, N Rodda, M Smith, S Pillay, N Arjun, T Lalbahadur and F Bux. The evaluation of the anaerobic baffled reactor for sanitation in dense peri-urban settlements. WRC Report No 1248/01/06 february 2006.

William p. Barber and David c. Stuckey .The use of the anaerobic baffled reactor (abr) for wastewater treatment: a review *Wat. Res.* Vol. 33, No. 7, pp. 1559±1578, 1999

A. Grobicki and d. C. Stuckey. Hydrodynamic characteristics of the anaerobic baffled reactor. *Wat. Res.* Vol. 26, No 3, 1992

Rongrong Liu\*, Qing Tian and Jihua Chen. The developments of anaerobic baffled reactor for wastewater treatment: A review. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(11), pp. 1535-1542, 15 March, 2010. <http://www.academicjournals.org/AJB>

Manariotis ID, Grigoropoulos SG (2002) Low-strength wastewater treatment using an anaerobic baffled reactor. *Water Environ Res* 74(2):170–176

Langenhoff AAM, Intrachandra N, Stuckey DC (2000) The anaerobic treatment of dilute soluble and colloidal wastewater using an anaerobic baffled reactor; influence of hydraulic retention time. *Water Res* 34:1307–1317.

Fayza A. Nasr, Hala S. Doma, Hossam F. Nassar. Treatment of domestic wastewater using an anaerobic baffled reactor followed by a duckweed pond for agricultural purposes *Environmentalist* (2009) 29:270–279 DOI 10.1007/s10669- 008-9188-y

Sasse (1998) *Decentralized wastewater treatment in developing countries (DEWATS)*. BORDA publication

Mohammed Boutayeb, Abdelhamid Bouzidi & Mohammed Fekhaoui. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de cinq villes de la région de la Chaouia – Ouardigha (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 2012, n° 34 (2), p. 145-150.

Bassuney D.M., Ibrahim W.A., and Moustafa Medhat AE. Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR) during start-up period. *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)* Volume 1, Issue 4 (2013) ISSN 2320-4079; EISSN 2320–4087

Fernanda m. Ferraz; aline t. Bruni; vanildo l. Del bianchi. Performance of an anaerobic baffled reactor (abr) in treatment of Cassava wastewater. *Brazilian Journal of Microbiology* (2009) 40:48-53.

Shervin Jamshidi, Abbas Akbarzadeh, Kwang-Sung Woo and Alireza Valipour. Wastewater treatment using integrated anaerobic baffled reactor and Bio-rack wetland planted with *Phragmites* sp. and *Typha* sp. Jamshidi et al. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 2014, 12:131  
<http://www.ijehse.com/content/12/1/131>

Jason J. Plumb, Joanne Bell, And David C. Stuckey. Microbial Populations Associated with Treatment of an Industrial Dye Effluent in an Anaerobic Baffled Reactor *Applied And Environmental Microbiology*, July 2001, p. 3226–3235 Vol. 67, No. 7

Shirish Singh, Raimund Haberl, Otto Moog, Roshan Raj Shrestha, Prajwal Shrestha, Rajendra Shrestha. Performance of an anaerobic baffled reactor and hybrid constructed wetland treating high-strength wastewater in Nepal—A model for DEWATS.

Ecological Engineering 35 (2009) 654–660

Huong Nguyen, Scott Turgeon, Joshua Matte. The Anaerobic Baffled Reactor: A study of the wastewater treatment process using the anaerobic baffled reactor. WRC Report March 5, 2010





**Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau-AGIRE-**

Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie , des Mines de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau

**[www.water.gov.ma](http://www.water.gov.ma)**

